

**EDUARDO TADASHI YUGUE**

**Desafios e potenciais soluções para  
reciclagem de embalagens plásticas  
flexíveis pós-consumo no Brasil**

Sorocaba  
2020

**EDUARDO TADASHI YUGUE**

**Desafios e potenciais soluções para  
reciclagem de embalagens plásticas  
flexíveis pós-consumo no Brasil**

Dissertação apresentada como requisito para a  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Ambientais da Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho" na Área de  
Concentração Diagnóstico, Tratamento e  
Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini

Co-Orientador: Prof. Dr. José Arnaldo Frutuoso Roveda

**Sorocaba  
2020**

Y94d

Yugue, Eduardo Tadashi

Desafios e potenciais soluções para reciclagem de  
embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil /  
Eduardo Tadashi Yugue. -- , 2020

231 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
(Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,

Orientador: Sandro Donnini Mancini

Coorientador: José Arnaldo Frutuoso Roveda

1. Embalagens Flexíveis. 2. Multicamadas. 3. Reciclagem. 4.  
Plásticos. 5. Pós-consumo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da  
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Desafios e potenciais soluções para reciclagem de embalagens flexíveis pós-consumo no Brasil

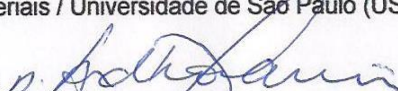
**AUTOR:** EDUARDO TADASHI YUGUE

**ORIENTADOR:** SANDRO DONNINI MANCINI

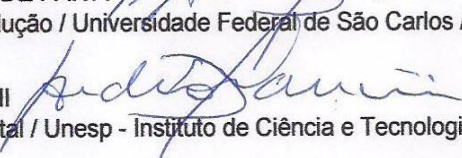
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. HELIO WIEBECK 

Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais / Universidade de São Paulo (USP)

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. JANE MARIA FAULSTICH DE PAIVA 

Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de São Carlos / Câmpus de Sorocaba

Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI 

Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia - Câmpus de Sorocaba

Sorocaba, 27 de março de 2020

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida, pelas minhas capacidades, pelas oportunidades, pelas alegrias e pelos desafios vencidos pelo caminho.

Aos meus pais Toshiyasu (in memoriam) e Sumiko (in memoriam), por todos ensinamentos, essenciais na formação do meu caráter e profissionalismo, e pelo incessante incentivo.

À minha família, minha esposa Patrícia e meu filho Enzo, pelo apoio incondicional, pela paciência, pelas horas de ausência para eu poder me dedicar a este trabalho de mestrado.

Ao meu irmão Ricardo, primeiro por me mostrar o caminho e abrir as portas para a universidade, e pelas discussões e orientações em relação à elaboração desta dissertação do mestrado.

Aos meus orientadores Sandro Donnini Mancini, por aceitar me orientar, e efetivamente por todas as orientações e pela dedicação com a revisão da dissertação; e ao José Arnaldo Frutuoso Roveda que desde o início acreditou na proposta deste trabalho, me incentivou e me orientou nos primeiros passos.

À Bruna de Mônaco Lopes, que me inspirou inicialmente para aceitar o desafio de fazer um mestrado em paralelo com todas as atividades profissionais, que é o que ela estava fazendo quando à conheci na Mondelez. Aí vi que seria possível. Daí, isso virou meta. E agora, meta atingida.

Aos meus ex-gestores e mentores: Fernando Von Zuben, Satio Umeda, Roberto Stefanini, Dan Rank, Anne Roulin e Emiliano Barelli. A todos o meu agradecimento por todo ensinamento e mentoria, importantes para na minha formação profissional. Especialmente ao Emiliano, por concordar e me incentivar a fazer o mestrado em paralelo às minhas atividades profissionais como gerente de embalagens da Pepsico.

A todos os meus mestres e gurus da área da embalagem no Brasil, em especial ao Fábio Mestriner, Lincoln Seragini, Antônio Cabral e Gizela Schulzinger. Pela inspiração, pelas idéias brilhantes, pela inovação em embalagem e por promover o valor da embalagem na sociedade brasileira.

Aos colegas da comunidade da Embalagem no Brasil: Assunta Camilo, Álvaro Azanha, Cristina Sartoretto, Aparecido Borghi, Paulo Pereira, Luciana Pelegrino, Eloisa Garcia, Claire Sarantópoulos, Liliam Benzi, Leda Coltro, Márcio Pinheiro, Inês Garcia, Isabella Salibe, Julio Cruz Lima Neto, Daniel Santi, Paulo Pazinato, Márcio Kimura, Marcos Palhares, Monica Telfser, Aldo Mortara, Ricardo Hiraishi, Sergio Bianchini e muitos outros, pela disponibilidade para troca de informações e conhecimentos.

Aos colegas da comunidade da Embalagem & Sustentabilidade Ailton Storolli, Bruno Pereira, Silvia Rolim, André Vilhena, Cristiani Vieira, Leda Coltro, Luis Gustavo Ortega, Ederson Munhoz Reis Matos, Fabiana Quiroga, Juliana Matos Seidel, Rogério Mani, Ricardo Guerreiro Mason, Ricardo Jamil Hajaj, Paula Pariz Lorenzoni, Guilherme Brammer, Cesar Sanches e Fábio Kùln por me ajudarem na minha formação e no desenvolvimento da minha consciência em sustentabilidade e por me apoiarem no desenvolvimento deste trabalho de mestrado.

A todos a minha eterna gratidão

*“Importante não é ver o que ninguém nunca viu,  
mas sim pensar o que ninguém nunca pensou  
sobre algo que todo mundo vê”*

*Arthur Schopenhauer*

## RESUMO

Este trabalho visa tratar da reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil, apresentando o panorama atual, os principais desafios e dificuldades para a reciclagem e, potenciais soluções tecnológicas disponíveis ou em desenvolvimento no Brasil e em outros países. Dados indicam que o volume de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo seguirá crescendo nos próximos anos no Brasil. Atualmente uma parte deste tipo de material está sendo descartado de forma inadequada em aterros sanitários ou então descartadas aleatoriamente em lixões à céu aberto, com impacto negativo ao meio ambiente. Ao não ser reciclado, há a necessidade de extração contínua de recursos naturais, para a continuidade do processo produção-consumo. É necessário estabelecer ações que permitam um ciclo em que recursos extraídos da natureza possam voltar à produção de novos bens ao final de cada ciclo, estabelecendo as bases da economia circular. O trabalho foi realizado a partir de revisão bibliográfica, leitura de artigos técnico-científicos, participação em reuniões, visitas, consultas, entrevistas e acesso a “sites” da internet envolvendo órgãos públicos, associações de classes e empresas pertencentes à cadeia de produção de plásticos, conversão de embalagem, coleta seletiva e à reciclagem de embalagens plásticas. Como resultados, este trabalho reporta a necessidade de aplicação do conceito de eco-design no projeto de novas embalagens, tecnologia para separação automática de materiais, delaminação de estruturas multicamadas, remoção da tinta de impressão, extrusão de filme moído e a aplicação de aditivo de reforço e compatibilizante de materiais. Este trabalho explora também a reciclagem química e energética. Na reciclagem química, apresenta resultado de estudos recentes, principalmente através do processo de pirólise de poliolefinas, considerando diferentes misturas de materiais na alimentação e em diferentes modelos de reatores.

**Palavras-chaves:** embalagens flexíveis, multicamadas, reciclagem, plásticos, pós-consumo.



## ABSTRACT

*This work aims to address the recycling of flexible post-consumer packaging in Brazil, presenting the current scenario, the main challenges and difficulties for recycling and potential technological solutions available or under development in Brazil and other countries. Data indicate that the volume of flexible plastic post-consumer packaging will continue growing in the coming years in Brazil. Currently, part of this type of material, mainly the multilayer ones, is being disposed of inappropriately in landfills or randomly disposed of in open dumps, with a negative impact on the environment. When it is not recycled, there is a need for continuous extraction of natural resources, for the continuity of the production-consumption process. It is necessary to establish actions that allow a cycle in which resources extracted from nature can return to the production of new goods at the end of each cycle, establishing the bases of the circular economy. The work was carried out through bibliographic review and technical-scientific articles review, participation in meetings, visits, consultations, interviews and access to internet sites involving public agencies, class associations and companies belonging to the plastics production chain, packaging conversion, selective collection and recycling of plastic packaging. As a result, this work reports the need to apply the concept of eco-design in the design of new packaging, technology for automatic separation of materials, delamination of multilayer structures, removal of printing ink, extrusion of ground film (flakes) and also the application of reinforcing additive and material compatibilizer. This work also explores chemical and energy recycling. In chemical recycling, it presents the result of recent studies, mainly through the process of polyolefin pyrolysis, considering different mixtures of materials in the feed and in different reactor models.*

**Key-works:** *flexible packaging, multilayer, recycling, plastic, post-consumer.*

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b>	Consumo de material de Embalagem no Brasil, pela aplicação final – excl. Caixa de papelão [toneladas]	<b>10</b>
<b>TABELA 2</b>	Processos de conversão de filmes e aplicações	<b>14</b>
<b>TABELA 3</b>	Estruturas típicas para embalagens plásticas flexíveis para as principais categorias de alimentos	<b>15</b>
<b>TABELA 4</b>	Panorama dos RSU no Brasil – SNIS-RS - 2018	<b>17</b>
<b>TABELA 5</b>	Massa de resíduos sólidos coletada pelo serviço de coleta seletiva de RSU dos municípios participantes do SNIS, segundo macroregião geográfica	<b>21</b>
<b>TABELA 6</b>	Panorama da coleta seletiva no Brasil nos municípios participantes do SNIS-RS- 2018	<b>22</b>
<b>TABELA 7</b>	Municípios com programa de coleta seletiva por faixa populacional – levantamento SNIS-RS- 2018	<b>23</b>
<b>TABELA 8</b>	Incidência de materiais recicláveis secos recuperados por tipo de material – SNIS-RS-2018	<b>24</b>
<b>TABELA 9</b>	Estimativa de massa total de materiais recicláveis secos recuperados – Brasil – SNIS-2018	<b>25</b>
<b>TABELA 10</b>	Panorama geral do setor de plásticos no Brasil (2018)	<b>31</b>
<b>TABELA 11</b>	Composição percentual gravimétrica e volumétrica da coleta seletiva de Sorocaba (filmes flexíveis) – estimativa de coleta diária em massa e volume	<b>35</b>
<b>TABELA 12</b>	Estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil em 2008	<b>36</b>
<b>TABELA 13</b>	Terminologia dos processos para reciclagem de plásticos	<b>41</b>
<b>TABELA 14</b>	Ações desenvolvidas por empresas brasileiras ligadas ao setor das embalagens plásticas flexíveis visando redução do impacto ambiental e aumento do índice de reciclagem	<b>56</b>
<b>TABELA 15</b>	Programas e sistemas de coleta de resíduos plásticos na Europa	<b>62</b>
<b>TABELA 16</b>	Taxa de destinações finais de plásticos pós-consumo na Europa em 2008, para as principais áreas de aplicação do plástico	<b>64</b>
<b>TABELA 17</b>	Tecnologias para reciclagem mecânica de filmes monocamada pós-industrial	<b>88</b>
<b>TABELA 18</b>	Soluções para reciclagem de resíduos de filme multicamada	<b>93</b>

## **LISTA DE TABELAS (continuação)**

<b>TABELA 19</b>	Os solventes comuns empregados na dissolução/reprecipitação dos principais polímeros utilizados em embalagens plásticas flexíveis multicamada	<b>100</b>
<b>TABELA 20</b>	Comparação geral da extração por solvente com recuperação mecânica primária	<b>102</b>
<b>TABELA 21</b>	Aditivos para processamento de plástico e respectiva função	<b>103</b>
<b>TABELA 22</b>	Localização de empresas do setor de reciclagem de material plástico, por região do Brasil (2016)	<b>107</b>
<b>TABELA 23</b>	Variantes do processo de pirólise	<b>113</b>
<b>TABELA 24</b>	Pirólise de PEAD e PEBD – Condições e resultados	<b>123</b>
<b>TABELA 25</b>	Resultado da pirólise de plásticos em diferentes misturas	<b>127</b>
<b>TABELA 26</b>	Comparação de algumas propriedades do óleo pirolítico de alguns polímeros com combustíveis líquidos padrão	<b>134</b>
<b>TABELA 27</b>	Políticas tributárias de incentivo à reciclagem do plástico no Brasil	<b>142</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Taxa de urbanização no Brasil	<b>5</b>
<b>FIGURA 2</b>	Projeção da ONU para tendência demográfica do Brasil para 2050	<b>6</b>
<b>FIGURA 3</b>	Consumo de resinas para embalagens plásticas flexíveis no Brasil em 2017	<b>11</b>
<b>FIGURA 4</b>	Percentual do consumo de resina para produção de embalagens plásticas flexíveis comparado com o total de plásticos transformados no Brasil em 2017	<b>12</b>
<b>FIGURA 5</b>	Embalagens plásticas flexíveis no Brasil (por setor) - 2017	<b>12</b>
<b>FIGURA 6</b>	Logística convencional e a logística reversa	<b>20</b>
<b>FIGURA 7</b>	Municípios brasileiros com coleta seletiva – Ciclosoft 2018	<b>24</b>
<b>FIGURA 8</b>	Coleta seletiva por região - Brasil - Ciclosoft 2018	<b>25</b>
<b>FIGURA 9</b>	Composição Gravimétrica dos RSU – Brasil – Cempre 2017	<b>26</b>
<b>FIGURA 10</b>	Composição Gravimétrica na coleta Seletiva – Ciclosoft 2018	<b>26</b>
<b>FIGURA 11</b>	Fluxo de resíduos comercializados diretamente entre as cooperativas e associações de catadores e a indústria recicladora	<b>28</b>
<b>FIGURA 12</b>	Simbologia utilizada para identificação de embalagens por tipo de material	<b>31</b>
<b>FIGURA 13</b>	Participação do plástico de ciclo de vida curto, por segmento de aplicação	<b>32</b>
<b>FIGURA 14</b>	Principais resinas consumidas no Brasil	<b>33</b>
<b>FIGURA 15</b>	Participação dos plásticos na composição gravimétrica na coleta Seletiva – Ciclosoft 2018	<b>33</b>
<b>FIGURA 16</b>	Economia linear	<b>36</b>
<b>FIGURA 17</b>	Diagrama representativo da economia circular	<b>38</b>
<b>FIGURA 18</b>	Extrusora de plásticos	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

<b>FIGURA 19</b>	Fluxograma simplificado da reciclagem mecânica de plásticos pós-consumo	<b>43</b>
<b>FIGURA 20</b>	Representação esquemática do ciclo da cadeia dos plásticos pós-consumo	<b>47</b>
<b>FIGURA 21</b>	Esquema do processo termoquímico da reciclagem energética	<b>48</b>
<b>FIGURA 22</b>	Volume de produção e de reciclagem de plásticos - Global	<b>65</b>
<b>FIGURA 23</b>	Peças plástica injetada – “galho”	<b>67</b>
<b>FIGURA 24</b>	Esquema de separação de materiais plásticos por diferença de densidade	<b>71</b>
<b>FIGURA 25</b>	Mistura de materiais no recebimento – Central de reciclagem da zona oeste de Sorocaba	<b>73</b>
<b>FIGURA 26</b>	Separação manual de materiais para reciclagem	<b>74</b>
<b>FIGURA 27</b>	“ <i>Trommel</i> ” – Separação de resíduos por tamanho	<b>74</b>
<b>FIGURA 28</b>	Sistema de separação pneumática de resíduos para reciclagem	<b>75</b>
<b>FIGURA 29</b>	Sistema de coleta e transporte à vácuo de papéis e filmes plásticos, separados na esteira de triagem para reciclagem	<b>76</b>
<b>FIGURA 30</b>	Triagem de materiais por espectrometria	<b>77</b>
<b>FIGURA 31</b>	2ª. Central mecanizada de triagem de material reciclável – Cidade de São Paulo (BR)	<b>78</b>
<b>FIGURA 32</b>	Resíduos de embalagens plásticas flexíveis, pós-industrial, para reciclagem mecânica – Ecological Reciclagem	<b>79</b>
<b>FIGURA 33</b>	Embalagens plásticas flexíveis após processo de moagem – Ecological Reciclagem	<b>80</b>
<b>FIGURA 34</b>	Tanque de lavagem de plásticos moído	<b>81</b>
<b>FIGURA 35</b>	Flocos de embalagens plásticas flexíveis após o processo de aglomeração – Ecological Reciclagem	<b>82</b>
<b>FIGURA 36</b>	Desenho de roscas usadas no processo de extrusão: convencional e com barreira	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

<b>FIGURA 37</b>	Reciclagem mecânica de embalagens plásticas flexíveis em BOPP multicamadas metalizadas – Material reciclado granulado -Ecological Reciclagem	<b>85</b>
<b>FIGURA 38</b>	Caminhos para a reciclagem de embalagens plásticas flexíveis monocamada	<b>87</b>
<b>FIGURA 39</b>	Esquema de reciclagem mecânica associada à remoção da tinta de impressão	<b>90</b>
<b>FIGURA 40</b>	Comparativo das propriedades óticas no material reciclado, com e sem aditivo compatibilizador	<b>96</b>
<b>FIGURA 41</b>	Comparativo das propriedades físicas no material reciclado, com e sem aditivo compatibilizador	<b>96</b>
<b>FIGURA 42</b>	Processo conjugado de delaminação e remoção de tintas de estrutura multicamadas	<b>98</b>
<b>FIGURA 43</b>	Desenho esquemático da técnica de dissolução/reprecipitação de polímeros	<b>101</b>
<b>FIGURA 44</b>	Peças e aplicações de madeira plástica	<b>104</b>
<b>FIGURA 45</b>	Evolução do consumo aparente e índice de reciclagem mecânica de embalagens e equiparáveis do setor de plástico no Brasil – 2014-2016	<b>108</b>
<b>FIGURA 46</b>	Benefícios sócio-ambientais da reciclagem de materiais plásticos	<b>109</b>
<b>FIGURA 47</b>	Aplicações do gás de acordo com o poder calorífico	<b>114</b>
<b>FIGURA 48</b>	Pirólise de biomassa em reator de leito fluidizado	<b>117</b>
<b>FIGURA 49</b>	Diagrama esquemático de reator pirolítico em leito de jorro	<b>118</b>
<b>FIGURA 50</b>	Reator pirolítico de forno rotativo	<b>119</b>
<b>FIGURA 51</b>	Produtos da pirólise de PEAD	<b>124</b>
<b>FIGURA 52</b>	Rendimento dos produtos da pirólise de amostras de RSU	<b>130</b>
<b>FIGURA 53</b>	Distribuição de plantas de incineração de RSU de acordo com a idade	<b>139</b>
<b>FIGURA 54</b>	Tratamento e destinação de RSU na Europa	<b>140</b>
<b>FIGURA 55</b>	Capacidade de incineração de RSU para vários países entre 1960 e 2015	<b>141</b>

## GLOSSÁRIO E ABREVIações

<b>ABIEF</b>	Associação Brasileira de Embalagens Flexíveis
<b>ABIPLAST</b>	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ABRE</b>	Associação Brasileira de Embalagem
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>ACV</b>	Avaliação de Ciclo de Vida
<b>ANCAT</b>	Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis
<b>ANVISA</b>	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>BOPP</b>	Polipropileno Biaxialmente Orientado
<b>BR</b>	Brasil
<b>CBSI</b>	Composto Bio Sintético Industrial
<b>CETEA</b>	Centro de Tecnologia de Embalagem
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>CHP</b>	Combined Heat & Power
<b>COMLURB</b>	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
<b>DSC</b>	<i>"Differential Scanning Calorimetry"</i> (Calorímetro Diferencial de Varredura)
<b>EGMA</b>	Etileno-Metacrilato Glicidil
<b>EVOH</b>	Copolímero de Etileno e Álcool Vinílico
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>FT-IR</b>	<i>"Fourier Transform - Infrared Spectroscopy"</i> (Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier)
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GT</b>	Grupo Técnico
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

## **GLOSSÁRIO E ABREVIações** (continuação)

<b>IMA</b>	Instituto de Macromoléculas – Universidade Federal do Rio de Janeiro
<b>INTERPACK</b>	Feira internacional de embalagem – Dusseldorf - Alemanha
<b>IPEA</b>	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
<b>LR</b>	Logística Reversa
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MBS</b>	Madeira Bio Sintética
<b>MAPE</b>	Polietileno Graftizado com Anidrido Maleico
<b>MAPP</b>	Polipropileno Graftizado com Anidrido Maleico
<b>MPT</b>	Movimento Plástico Transforma
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PAPCS</b>	Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis
<b>PA</b>	Poliamida
<b>PC</b>	Policarbonato
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PEAD</b>	Polietileno de Alta Densidade
<b>PEBD</b>	Polietileno de Baixa Densidade
<b>PELBD</b>	Polietileno Linear de Baixa Densidade
<b>PET</b>	Poli (Tereftalato de Etileno)
<b>PEV</b>	Ponto de Entrega Voluntária
<b>PLASTIVIDA</b>	Instituto Sócio Ambiental Plásticos
<b>PMGIRS</b>	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
<b>PNRS</b>	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
<b>PO</b>	Papelão Ondulado
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PRS</b>	Portal dos Resíduos Sólidos
<b>PS</b>	Poliestireno



## **GLOSSÁRIO E ABREVIACÕES** (continuação)

<b>PVC</b>	Policloreto de Vinila
<b>RDO</b>	Resíduos Domésticos
<b>REP</b>	Responsabilidade Estendida dos Produtos
<b>RPU</b>	Resíduos Públicos
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>SISNAMA</b>	Sistema Nacional do Meio Ambiente
<b>SMA</b>	Secretaria do Meio Ambiente
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
<b>SNIS - RS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento – Resíduos Sólidos
<b>SNVS</b>	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
<b>SP</b>	São Paulo
<b>SUASA</b>	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
<b>UFSCar</b>	Universidade Federal de São Carlos
<b>WPC</b>	“ <i>Wood Plastic Composite</i> ” – Compósito de plástico com madeira
<b>WtE</b>	“ <i>Waste-to-Energy</i> ”
<b>WWI</b>	“WorldWatch Institute”

## SUMÁRIO

<b>I</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
	<b>I.1 Perguntas norteadoras</b>	<b>3</b>
<b>II</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
	<b>II.1 Objetivo Geral</b>	<b>4</b>
	<b>II.2 Objetivos Específicos</b>	<b>4</b>
<b>III</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
	<b>III.1 Sociedade Urbanizada e de consumo</b>	<b>5</b>
	<b>III.2 As embalagens para bens de consumo</b>	<b>7</b>
	<b>III.2.1 Materiais de Embalagem</b>	<b>8</b>
	<b>III.2.2 Embalagens para alimentos</b>	<b>10</b>
	<b>III.2.3 Embalagens plásticas flexíveis</b>	<b>11</b>
	<b>III.3 Resíduos Sólidos Urbanos - RSU</b>	<b>16</b>
	<b>III.4 Logística Reversa</b>	<b>19</b>
	<b>III.4.1 Coleta seletiva no Brasil</b>	<b>20</b>
	<b>III.5 Plásticos – presença nos RSU</b>	<b>28</b>
	<b>III.6 Economia circular</b>	<b>36</b>
	<b>III.7 Reciclagem de Plásticos</b>	<b>38</b>
<b>IV</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>50</b>
<b>V</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>55</b>
	<b>V.1 Plásticos nos resíduos sólidos urbanos</b>	<b>57</b>
	<b>V.2 Aspectos, dados e condições relacionadas com a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis no Brasil</b>	<b>58</b>
	<b>V.2.1 Comportamento do consumidor</b>	<b>58</b>
	<b>V.2.2 Coleta Seletiva no Brasil</b>	<b>58</b>
	<b>V.2.3 Coleta seletiva de plásticos flexíveis em outros países</b>	<b>60</b>
	<b>V.2.3.1 Estados Unidos</b>	<b>60</b>
	<b>V.2.3.2 Comunidade Européia</b>	<b>61</b>
	<b>V.2.4 Separação nos centros de triagem</b>	<b>62</b>
	<b>V.3 Reciclagem de resíduo plástico pós-consumo</b>	<b>64</b>

<b>V.3.1</b>	Reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo	<b>66</b>
<b>V.4</b>	<b>Reciclagem mecânica de resíduos plásticos</b>	<b>67</b>
<b>V.4.1</b>	Reciclagem de resíduos em circuito fechado e circuito aberto	<b>68</b>
<b>V.4.2</b>	Processo de triagem	<b>69</b>
<b>V.4.3</b>	Processo de moagem, lavagem, aglutinação e secagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo	<b>78</b>
<b>V.4.4</b>	Processamento do material moído, aglutinado e seco - Extrusão	<b>82</b>
<b>V.4.5</b>	Especificidades da reciclagem mecânica de embalagens plásticas flexíveis monocamada	<b>86</b>
<b>V.4.5.1</b>	Remoção da tinta de impressão	<b>87</b>
<b>V.4.6</b>	Especificidades da reciclagem mecânica de embalagens plásticas flexíveis multicamadas	<b>91</b>
<b>V.4.6.1</b>	Aditivos compatibilizantes	<b>94</b>
<b>V.4.6.2</b>	Delaminação da estrutura multicamadas	<b>97</b>
<b>V.4.6.3</b>	Tecnologia para dissolução/re-precipitação	<b>98</b>
<b>V.4.6.4</b>	Aditivação do material na reciclagem / Madeira plástica	<b>103</b>
<b>V.4.6.5</b>	Compósito de termoplásticos com reforço	<b>105</b>
<b>V.4.7</b>	Reciclagem mecânica de embalagens plásticas pós-consumo no Brasil	<b>107</b>
<b>V.5</b>	<b>Reciclagem química</b>	<b>110</b>
<b>V.5.1</b>	Pirólise	<b>110</b>
<b>V.5.2</b>	Tipos de reatores de pirólise utilizados para tratamento de diferentes composições	<b>114</b>
<b>V.5.2.1</b>	Reatores de leito fixo e reatores de batelada	<b>115</b>
<b>V.5.2.2</b>	Reatores de leito fluidizado	<b>116</b>
<b>V.5.2.3</b>	Reatores de leito de jorro	<b>117</b>
<b>V.5.2.4</b>	Reatores de forno rotativo	<b>118</b>
<b>V.5.2.5</b>	Reatores assistidos por microondas	<b>119</b>
<b>V.5.2.6</b>	Reatores de plasma	<b>120</b>
<b>V.5.2.7</b>	Reatores solares	<b>121</b>

<b>V.5.3</b>	<b>Pirólise de materiais plásticos pós-consumo e produtos obtidos</b>	<b>121</b>
<b>V.5.3.1</b>	<b>Pirólise de PEAD e PEBD</b>	<b>122</b>
<b>V.5.3.2</b>	<b>Pirólise de PP</b>	<b>124</b>
<b>V.5.3.3</b>	<b>Pirólise de PET</b>	<b>125</b>
<b>V.5.3.4</b>	<b>Co-pirólise de mistura de resíduos domésticos – biomassa e resíduos plásticos</b>	<b>125</b>
<b>V.5.3.5</b>	<b>Pirólise de RSU</b>	<b>129</b>
<b>V.5.4</b>	<b>Produtos da pirólise e suas possíveis aplicações</b>	<b>132</b>
<b>V.5.4.1</b>	<b>Gás pirolítico</b>	<b>133</b>
<b>V.5.4.2</b>	<b>Óleo pirolítico</b>	<b>133</b>
<b>V.5.4.3</b>	<b>Carvão pirolítico</b>	<b>135</b>
<b>V.6</b>	<b>Reciclagem energética e incineração</b>	<b>137</b>
<b>V.7</b>	<b>Políticas fiscais e tributárias para reciclagem e materiais reciclados no Brasil</b>	<b>142</b>
<b>VI</b>	<b>COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÃO</b>	<b>144</b>
<b>VII</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>149</b>
<b>VIII</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>150</b>
<b>IX</b>	<b>APÊNDICES</b>	<b>175</b>
<b>IX.1</b>	<b>Apêndice I - Roteiro para identificação de desafios e dificuldades e, potenciais soluções para a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil</b>	<b>175</b>
<b>IX.2</b>	<b>Apêndice II - Roteiro de Entrevista _ Cooperativa de reciclagem</b>	<b>176</b>
<b>IX.3</b>	<b>Apêndice III - Roteiro de Entrevista _ Aterro Sanitário</b>	<b>181</b>
<b>IX.4</b>	<b>Apêndice IV - Roteiro de Entrevista / Reciclador – Reciclagem Mecânica</b>	<b>187</b>
<b>IX.5</b>	<b>Apêndice V - Roteiro Entrevista _ Reciclagem Química</b>	<b>189</b>
<b>IX.6</b>	<b>Apêndice VI – Calendário de reuniões, visitas, eventos e entrevistas</b>	<b>191</b>
<b>IX.7</b>	<b>Apêndice VII – Questionário Pesquisa _ Embalagem Plástica Flexível - Entendimento, comportamento e atitudes do consumidor</b>	<b>192</b>
<b>IX.8</b>	<b>Apêndice VIII - Resultado da pesquisa com consumidores</b>	<b>197</b>

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente a população brasileira vive em sua maioria na área urbana (IBGE, 2010) e junto com a característica de uma sociedade de consumo, ao menos para subsistência, tem com um dos resultados a geração de resíduos, que são tratados neste trabalho dentro do contexto dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU (domésticos e de limpeza pública). Estes podem ser caracterizados de uma maneira simplificada como sendo formados por uma fração úmida (matéria orgânica – basicamente restos de alimentos) e por uma fração seca (tendo as embalagens como um dos principais contribuintes) (MMA, 2008).

Do ponto de vista dos materiais, a fração seca dos RSU é composta principalmente por madeira, papel e derivados de fibra de celulose, vidro, alumínio, metal (latas) e plásticos de diversos tipos e formatos (CABRAL, 2010). Uma parte destes materiais são oriundos de fontes não-renováveis, tal como o plástico que, na sua maioria, é produzido a partir de derivados do petróleo.

Dentro do conceito de sustentabilidade do planeta, com foco em não poluir e de preservar os recursos naturais, busca-se minimizar nas embalagens a utilização destes materiais extraídos da natureza e ao mesmo tempo maximizar a reutilização ou a reciclagem delas após o consumo do produto embalado, praticando a economia circular.

Alguns materiais já apresentam uma solução implementada do ponto de vista da coleta e reciclagem das embalagens pós-consumo. É o caso das latas de alumínio que tem uma alta taxa de reciclagem no Brasil, e além de reduzir o impacto ambiental pelo descarte ou pela redução de extração de matéria-prima, ainda gera valor para a cadeia da reciclagem, tendo também um impacto positivo do ponto de vista social uma vez que gera empregos entre outros benefícios.

Dadas algumas características do plástico como durabilidade, leveza, moldabilidade e baixo custo, ele tem sido utilizado nas mais diversas aplicações em diversas áreas, passando pela área industrial, automobilística, construção civil, de saúde e até aeroespacial. E, em função das suas propriedades e benefícios, ele está presente no dia-a-dia dos cidadãos, e o seu consumo tem crescido ano-a-ano nas últimas décadas. Mas principalmente em itens descartáveis ou de vida curta, como é o caso das embalagens que, dependendo da maneira que são dispostos ao final da sua vida útil, podem causar um impacto negativo ao meio ambiente. Este

cenário de aumento de consumo e disposição inadequada, gera uma situação não sustentável, do ponto de vista ambiental. Adicionalmente, como o material plástico apresenta longa durabilidade, quando descartados em aterros sanitários ocupam muito espaço e por muito tempo, reduzindo a capacidade dos mesmos. Quando descartados erroneamente na natureza geram problemas de acúmulo, podendo impermeabilizar solos, ferir ou trazer danos aos animais e poluir oceanos.

O endereçamento da solução do problema começa a ser atacado inicialmente pela aplicação do conceito dos 3 R's: Reduzir, Re-utilizar e Reciclar. Esforços para redução tem o foco na minoração ou prevenção de material a ser descartado em aterros após o consumo. Neste contexto, pode ser viabilizado por exemplo através da redução de espessura e peso das embalagens, com consequente diminuição de consumo e disposição de material em aterros. A re-utilização é um tema bastante importante a ser considerado na fase da definição do "*design*" do produto, considerando a possibilidade da utilização da peça plástica, após o uso, com alguma outra finalidade. Exemplo é o uso de pote de sorvete como pote plástico para acondicionar alimentos ou outros produtos. Neste caso, além de dar uma nova utilidade à embalagem, ainda prolongou a vida útil da peça. Mas o principal tema deste estudo, é a reciclagem, com a recuperação e revalorização do material pós-consumo, reduzindo resíduos descartados em aterros.

Dentre todas as embalagens descartáveis, destaca-se as de plásticos flexíveis, em especial as normalmente utilizadas para acondicionar salgadinhos ("*snacks*"). Estas embalagens, geralmente multicamadas, são feitas de materiais tecnicamente recicláveis. Porém, elas praticamente não são recicladas no país, devido a uma série de fatores como a leveza e o fato de serem feitas de mais de um material, diferentes plásticos ou até mesmo metal. Baseada nas experiências prévias e atuais do autor, esta dissertação de mestrado visa fazer o levantamento de soluções para reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo para o Brasil, a partir do contexto nacional e do que outros países, em especial os desenvolvidos, fazem a respeito. Além deste levantamento, são apresentadas as barreiras e dificuldades encontradas atualmente pelos recicladores de plásticos, para viabilizar a implementação ou operacionalização de soluções já existentes. Ainda, são apresentadas soluções tecnológicas com o objetivo de ampliar o baixo índice de reciclagem destas embalagens observado atualmente no Brasil.

## I.1. Perguntas Norteadoras

Temas como sustentabilidade do planeta, tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e reciclagem de embalagem têm se tornado cada vez mais frequentes e relevantes em várias esferas de discussão tanto no meio empresarial, na gestão pública e também na área acadêmica. A atuação de 30 anos do autor na área de desenvolvimento e inovação de embalagem, como gestor da área em várias empresas multinacionais como Nestlé, Mondeléz e Pepsico, naturalmente o colocou em contato com tais temas, principalmente no que se refere à reciclagem das embalagens pós-consumo e à necessidade de se dar uma destinação correta às mesmas, evitando o descarte em aterros ou no pior dos casos, que sejam dispostas à céu aberto.

Dado interesse do autor pela reciclagem da embalagem, este participa de várias reuniões, associações e comitês, tais como comitê de sustentabilidade da ABRE, CEMPRE – GT-Flexíveis e Rede de Cooperação para o Plástico, que tem o foco na discussão e na promoção da reciclagem das embalagens no Brasil. Nestes fóruns, grupos específicos têm sido montados para discussão e busca de potenciais soluções para a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, que pelo relatado nestas entidades, não tem sido recicladas no Brasil, principalmente as de estrutura multicamadas, multi-materiais e metalizadas.

O desenvolvimento deste trabalho foi norteado baseado na busca de resposta para questões relacionadas à reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo tais como:

- Quais são os desafios para o desenvolvimento da cadeia de reciclagem?
- Quais são as dificuldades técnicas e operacionais para a reciclagem deste tipo de material?
- Quais são as potenciais soluções implementadas, ou em estudo, em outros países?

## **II. OBJETIVOS**

### **II.1. Objetivo Geral**

Análise do gerenciamento das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil, avaliando dificuldades, desafios e potenciais soluções tecnológicas para o aumento do índice de reciclagem das mesmas.

### **II.2. Objetivos Específicos**

**II.2.1.** Levantamento de dados e informações relacionados às embalagens plásticas, com foco nas flexíveis, especialmente as compostas de mais de um material, apresentando um panorama da produção, transformação, composição nos resíduos sólidos urbanos, tecnologias para reciclagem e índice de reciclagem no mercado brasileiro;

**II.2.2.** Levantamento de soluções tecnológicas desenvolvidas ou em desenvolvimento em outros países para destinação, tratamento ou reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo;

**II.2.3.** Identificar destinações já existentes no país que desviam esses resíduos dos aterros, ainda que em pequena escala, e avaliar as dificuldades para ampliar sua escala de processamento;

**II.2.4.** Avaliação de prós e contras das potenciais soluções para reciclagem, tratamento ou outras destinações adequadas para as embalagens plásticas flexíveis pós-consumo contidas nos resíduos sólidos urbanos nas cidades brasileiras

**II.2.5.** Identificação dos elementos envolvidos na cadeia da reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, e os desafios, tecnologias e ações de cada um deles para promover a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil.



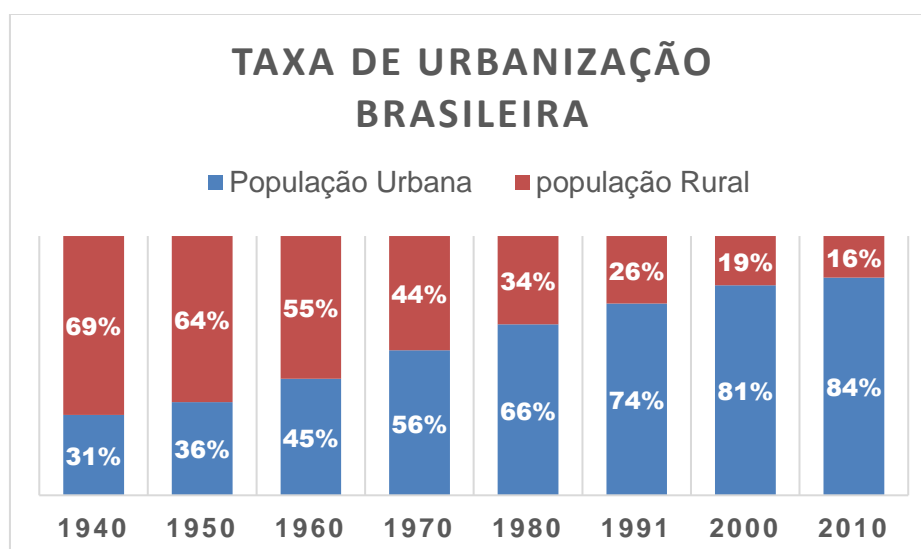
### III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### III.1- Sociedade urbanizada e de consumo

A partir dos anos 50, houve a intensificação do processo de industrialização no Brasil, como decorrência da Segunda Guerra Mundial, principalmente com foco na substituição da importação, com destaque para a política desenvolvimentista no governo do presidente Juscelino Kubistchek. Fruto deste processo, houve a criação de um diversificado mercado de trabalho na área urbana atraindo os habitantes da zona rural para as cidades que se encontravam em plena expansão (ALVES e MARRA, 2011).

Com a forte migração da população para os centros urbanos, formou-se uma massa de trabalhadores assalariados, que com poder aquisitivo, fomentaram o mercado interno, principalmente a comercialização de alimentos (MARTINE e MCGRANHAN, 2010).

**Figura 1 – Taxa de urbanização no Brasil**

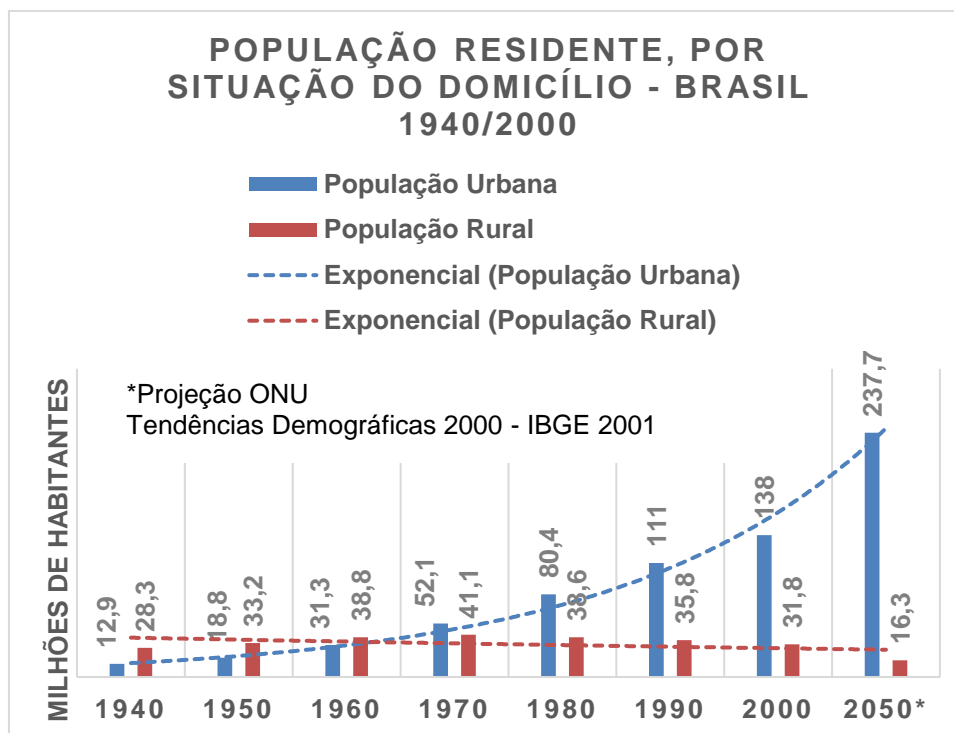


**Fonte:** Elaborado pelo Autor – Adaptado de IBGE, 2010

A Figura 1, com dados do Censo demográfico do IBGE, mostra que a população vivendo em área urbana é crescente desde os anos 1940 e que a partir de 1970, esta passou a ser maioria. Atualmente, mais de 80% da população brasileira vive em áreas urbanas, apresentando uma taxa de urbanização equivalente às encontradas em países desenvolvidos.

A Figura 2 apresenta a tendência demográfica do Brasil, que, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a projeção é de em 2050 a porcentagem da população brasileira que vive em centros urbanos deve chegar a 93,6%. Em termos absolutos, serão 237,751 milhões de pessoas morando nas cidades do país na metade deste século (IBGE, 2001).

**Figura 2** – Projeção da ONU para tendência demográfica do Brasil para 2050



**Fonte** Elaborado pelo Autor – Adaptado de IBGE, 2001

Para efeito deste estudo, fator importante referente à urbanização, diz respeito à situação em que os habitantes nos centros urbanos têm suas necessidades de consumo e que, na maioria dos casos, a origem ou fabricação de tais bens de consumo (ex: produtos industrializados) está distante do local onde o consumo em si é efetivado (DUBBELING, 2015).

Neste contexto, surge o elemento “Embalagem”. Este cumpre um papel importante como ferramenta para conter, preservar, proteger e viabilizar o transporte e estocagem de bens de consumo, atendendo às necessidades de uma sociedade cada vez mais demandante e crescente (ABRE, 2012). Seguindo o fluxo do consumo, após este se consumir, a próxima etapa diz respeito ao descarte do

que não foi consumido, gerando os resíduos sólidos urbanos, e dentre estes, as embalagens pós-consumo (ABRE, 2012).

As transformações nas cidades e na vida urbana se intensificaram na segunda metade do século XX, destacando do ponto de vista econômico, a expansão da industrialização, das atividades no comércio e a expansão do consumo, marcados pela utilização e pelo desperdício, com o descarte de sobras e embalagens. Neste contexto, as pessoas passaram a ser chamadas não mais de cidadãos, mas de consumidores (HARMAN e HORMAN, 1998).

Em 2008, a Portaria MMA nº 44, de 13 de fevereiro instituiu o Comitê Gestor de Produção e Consumo Sustentável, reunindo ministérios e parceiros do setor privado e da sociedade civil com a finalidade de realizar amplo debate e identificar ações que pudessem levar o Brasil, de forma planejada e monitorada, a buscar padrões mais sustentáveis de consumo e produção para os próximos anos. Isto se deu, após assumir um compromisso junto à Organização das Nações Unidas em 2007, ao aderir ao Processo de Marrakesh, que visa dar aplicabilidade e expressão concreta ao conceito de Produção e Consumo Sustentáveis (MMA, 2008).

### **III.2 As embalagens para bens de consumo**

Com a necessidade de se transportar produtos, em especial alimentos, das regiões produtoras para cidades, estas cada vez maiores e distantes, houve a necessidade de protegê-los e preservá-los. No caso dos alimentos, isto ocorreu através do desenvolvimento de técnicas para processamento e preservação dos mesmos, dando origem às embalagens, que tem como função primária a preservação dos alimentos até o seu momento do consumo (MESTRINER, 2002).

Atualmente as embalagens são utilizadas até para preservar alimentos em viagens aeroespaciais, tornando-as possíveis para os habitantes da terra. As embalagens são um dos elementos que viabilizam a vida nas cidades, especialmente nas grandes, pois facilitam o abastecimento e o consumo dos habitantes. Porém, há uma consequência que é a geração de resíduos destas embalagens (MESTRINER, 2002).

As embalagens são classificadas como primária, secundária ou terciária (JORGE, 2013). As primárias são as que tem contato direto com o produto embalado, as secundárias as que envolvem e agrupam várias embalagens

primárias, por exemplo as “caixas de papelão”, também conhecidas como “caixa de embarque”. Em algumas situações, as embalagens primárias individuais, são agrupadas em um cartucho (ex. cartucho de papel-cartão com 3 barras de cereais) ou em um display de papel-cartão (por exemplo, os que expõem várias embalagens de goma de mascar nos caixas ou balcões de bares e padarias). Neste caso, este display é considerado a embalagem secundária e se vários displays forem acondicionados em uma caixa de papelão ondulado, aí esta caixa passa a ser considerada embalagem terciária.

### III.2.1. Materiais de embalagem

Os materiais comumente utilizados nas embalagens são (TWEDE e GODDARD, 2009):

- Fibras celulósicas: Papel (rótulos, envoltórios, etiqueta, selos, ...), papel cartão (cartuchos, “*displays*”, embalagem promocional) e papelão ondulado (caixas, badeiras, separadores e divisórias)
- Metal: aço (latas, tampas, latas promocionais, ....) e alumínio (lata de bebidas, bisnagas, ....)
- Vidro: garrafas, frascos, potes, ampolas, ....
- Plástico: Rígido (potes, frascos, tampas, garrafas, utensílios descartáveis) ou flexível (bolsa plástica, rótulos, saco plástico, lacres, etiquetas adesivas, envoltórios, sachês e bisnagas).
- Madeira: caixas, embalagens promocionais, paletes
- Outros componentes
  - Adesivos (fechamento, agrupamento ou laminação)
  - Tintas de impressão
  - Aditivos para plásticos (deslizantes, anti-bloqueadores, anti-UV, ...)
  - Impermeabilizantes para papel, cartão ou papelão ondulado

O material é definido de acordo com as necessidades técnicas e mercadológicas requeridas pelo produto a ser embalado e protegido.

Parâmetros relacionados às necessidades técnicas dizem respeito principalmente à função de proteção requerida da embalagem, podendo ser esta mecânica ou de barreira à gases, umidade, aroma etc. Por exemplo, produtos frágeis como utensílios de vidro, alguns equipamentos eletro-eletrônicos, ovo de páscoa etc vão requerer proteção mecânica (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2009).

Já alguns alimentos, vão necessitar de proteção em relação à oxigênio, para diminuir ou evitar o processo de oxidação ou rancificação. Outros alimentos necessitam de manutenção da crocância do produto, o que requer uma embalagem com barreira à umidade (JORGE, 2013).

Outro aspecto a ser considerado também é em relação ao manuseio, armazenamento e transporte do produto. Há produtos que precisam ser armazenados e transportados em ambiente refrigerado e outros que são armazenados e distribuídos em região de alta umidade, como a região amazônica, o que requer embalagem com resistência à umidade (MÄHLMANN et al., 1999).

Também devem ser considerados os aspectos mercadológico e de marketing, através de formatos diferenciados e comunicação gráfica, quando a embalagem pode agregar valor ao produto destacando-o na gôndola, e ao consumidor ao informar-lhe benefícios nutricionais, forma de abertura e re-fechamento e modo de preparo do produto. Do ponto de vista estético, pode se oferecer formatos diferenciados e efeitos gráficos (exemplo, impressão brilhante, holografia, tinta fluorescente ou fotocromática, etc) (MESTRINER, 2002).

Aspecto também importante é relacionado ao meio ambiente. Sempre que possível, a escolha do material deve ser realizada pensando nos 3 R's, com a redução do consumo de material, que a embalagem possa ser reutilizada e em último caso, que o material possa ser reciclado através da infraestrutura e tecnologias disponíveis (NASCIMENTO, 2010).

No caso das embalagens plásticas flexíveis, estas são destacadas pelo aspecto da flexibilidade do material, independentemente do formato da embalagem e pela espessura máxima dada como inferior à 250 $\mu$ m. Essas embalagens têm como uma das principais características a relação otimizada entre massa de material de embalagem por quantidade de produto embalado (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

### III.2.2. Embalagem para alimentos

De acordo com o Datamark, em 2016, as embalagens para alimentos representaram 29,4% do total de embalagens consumidas no Brasil (excluindo caixas de papelão ondulado), conforme está apresentado na Tabela 1. Esta mesma tabela indica que em 2016, 11,3% das embalagens eram de filmes plásticos flexíveis.

**Tabela 1: Consumo de Material de Embalagem no Brasil, pela aplicação final [tons] – Excl. caixa de papelão**

	Flexíveis	Metais	Papel	Plásticos	Vidro	Total	
<b>Alimentos</b>	266644	315544	352276	787466	257307	1979237	<b>29,4%</b>
<b>Bebidas</b>	362792	499979	53997	808600	1104279	2829647	<b>42,0%</b>
<b>Não alimentos</b>	134629	503264	453388	695077	142093	1928451	<b>28,6%</b>
	<b>764065</b>	<b>1318787</b>	<b>859661</b>	<b>2291143</b>	<b>1503679</b>	<b>6737335</b>	
	<b>11,3%</b>	<b>19,6%</b>	<b>12,8%</b>	<b>34,0%</b>	<b>22,3%</b>		

**Fonte:** Elaborado pelo autor – Adaptado de Datamark, 2017 (excluído consumo de papelão ondulado)

A embalagem tem a função de assegurar a qualidade e a integridade do produto desde o momento da produção (empacotamento) até o momento do consumo. Aspectos como barreira à luz, umidade, à gases, à perda de aroma, e microrganismos, entre outros são importantíssimos visando garantir a qualidade do produto e satisfação do consumidor no momento do consumo (LANDIM et al., 2015).

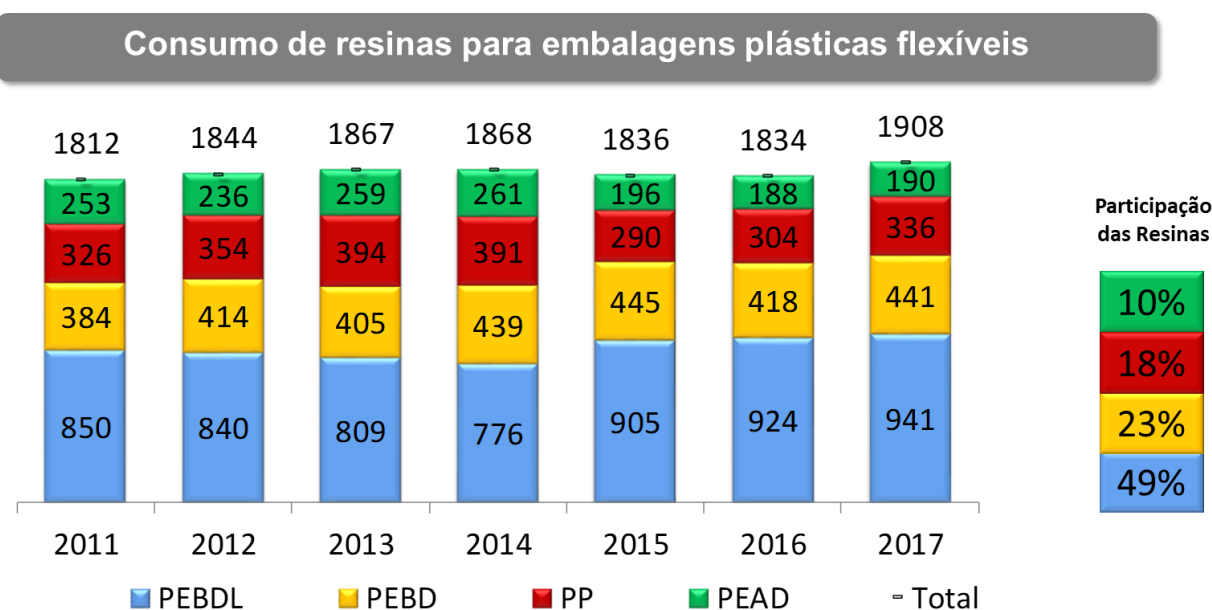
Com todas as propriedades necessárias, a embalagem passa a exercer um importante papel em relação à sustentabilidade do planeta, uma vez que atua efetivamente na redução de desperdício de alimentos (LANDIM et al., 2015), desde o campo (agricultura e pecuária) até o momento do consumo. Neste mesmo contexto da sustentabilidade do planeta, a embalagem exerce um papel importante na medida em que, através dela, é possível estender a vida útil dos produtos, viabilizando a alimentação da população urbana e a distribuição de nutrição aos povos distantes que atualmente apresentam alta taxa de mortalidade por questão de desnutrição (JORGE, 2013).

### III.2.3. Embalagens plásticas flexíveis

Em relação à estrutura do material de uma embalagem flexível há duas situações: estrutura monocamada e estrutura multicamada. Normalmente a monocamada é constituída de polietileno, polipropileno, PET ou PVC. Já na estrutura multicamadas, estas podem ser formadas pela mistura de camadas de materiais como polietileno, polipropileno, PET e PA. Além de material plástico, pode ainda haver combinação com papel, folha de alumínio ou metalização.

De acordo com o relatório da Maxiquim (MAXIQUIM, 2018) sobre a indústria brasileira de embalagens plásticas flexíveis em 2017, a produção naquele ano foi de 1.908 mil toneladas, com um crescimento de 4% comparado com 2016. Conforme a Figura 3, as principais resinas consumidas no Brasil em embalagens flexíveis foram PEBDL, PEBD, PP e PEAD, nesta ordem. Nesta mesma figura, observa-se que o consumo de cada uma destas resinas cresce ano-a-ano no período de 2011 a 2017.

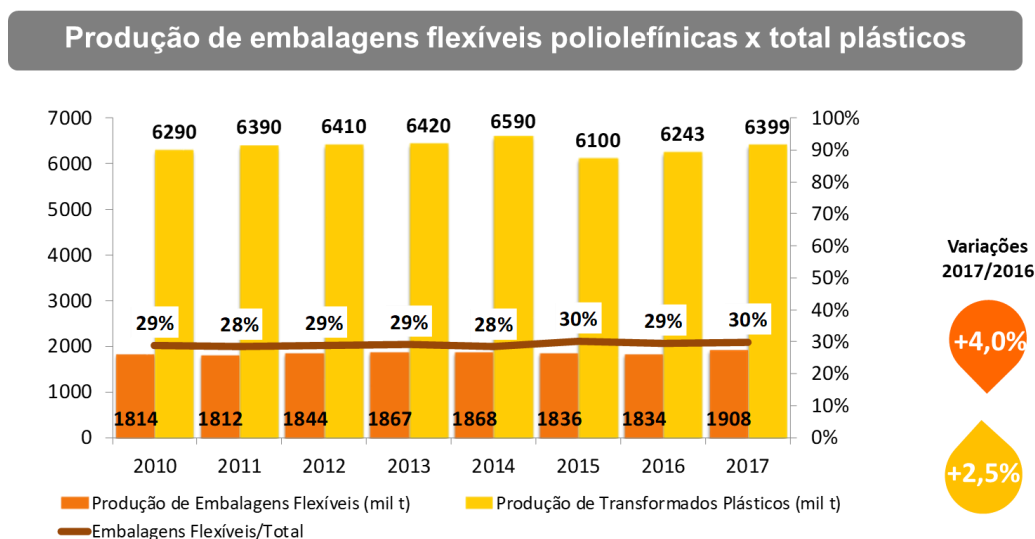
**Figura 3** – Consumo de resinas para embalagens plásticas flexíveis no Brasil em 2017



**Fonte:** MAXIQUIM, 2018

O consumo de material para produção de embalagens plásticas flexíveis representou 30% do total de plásticos transformados (que viraram produtos) no Brasil em 2017. Conforme a Figura 4, historicamente, este percentual variou de 28% a 30% entre 2010 e 2017 (MAXIQUIM, 2018).

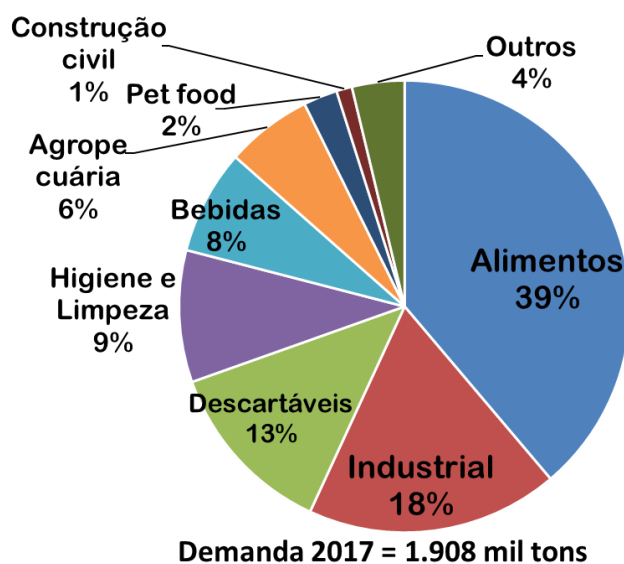
**Figura 4:** Percentual do consumo de resina para produção de embalagens plásticas flexíveis comparado com o total de plásticos transformados no Brasil em 2017



Fonte: MAXIQUIM, 2018

Pelo detalhamento do consumo de embalagens plásticas por setor, Figura 5, a maioria (39%) das embalagens plásticas flexíveis foram utilizadas no setor de alimentos, que cresceu 0,8% de 2016 para 2017 (MAXIQUIM, 2018).

**Figura 5 – Embalagens plásticas flexíveis no Brasil (por setor) – 2017**



Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de MAXIQUIM, 2018

Os principais tipos de plásticos e as principais estruturas utilizadas nas embalagens plásticas flexíveis são (ANYADIKE, 2009):

- I. Estrutura mono-material: pode ser monocamada ou multicamadas, normalmente pode se encontrar estruturas em PEBD, PEAD, PP, BOPP, PET



e PVC. Exemplo de mono-material é o saco de arroz, que é produzido somente por PE ou então algumas estruturas de salgadinhos que são multicamadas, porém somente de BOPP (TECNOVAL, 2019). Há filmes multicamadas mono-material produzidas também pelo processo de co-extrusão, sendo o mesmo material base, com diferentes aditivações nas camadas, ou até, utilizando material reciclado em uma delas. Exemplo seria filmes de PE, com diferentes com camadas aditivadas para melhoria as propriedades de resistência a rasgos, furos, impacto, ou pigmentos, antiestático, antichamas, anti-UV, com bactericida, com biocida, com fungicida, entre outros, aplicados como envoltórios de paletes, filme termo-encolhível, envelope com camada negra, etc... (EMBALAGEM IDEAL, 2020).

- II. Estrutura com diferentes materiais: neste caso são estruturas multicamadas e, normalmente para embalagens de alimentos no Brasil utiliza-se composição com até 3 materiais poliméricos diferentes, desde BOPP/PE, ou PET/BOPP/PE, ou PET/PE, etc, laminados por adesivo (TECNOVAL, 2019). Pelo processo de co-extrusão, é possível produzir estruturas com as camadas em diferentes materiais para melhorar a selabilidade (camada interna), barreira à oxigênio (PA ou EVOH), barreira a gases e a aromas e alta resistência mecânica à abrasão, perfuração, impacto, flexão, boa resistência térmica, boa resistência a óleos, gorduras e produtos químicos (PA) (CRIPPA, 2006). Normalmente são encontrados no mercado estruturas com 3, 5 e 7 camadas, para aplicação em embalagem de produtos laticínios e carnes (ZAPAROLLI, 2007).

As estruturas das embalagens plásticas flexíveis monocamada ou multicamadas podem ter espessura variando normalmente de 15µm a 200 µm. É possível produzir filmes multicamadas de 2 até 17 camadas usando tecnologias modernas e a principal aplicação é na produção de embalagens primárias (WAGNER JR, 2016). Conforme listado na Tabela 2, há várias tecnologias para a produção de filmes plásticos. A escolha da estrutura do filme, do melhor processo e da melhor tecnologia depende principalmente da aplicação final do filme. Aproximadamente 17% da produção de filmes plásticos no mundo é para produção de estruturas multicamadas (TARTAKOWSKI, 2010).

**Tabela 2 - Processos de conversão de filmes e aplicações**

Estrutura	Processo de Fabricação	Tecnologia	Exemplos
Monocamada	Extrusão	Extrusão tubular	Embalagens plásticas flexíveis, agricultura, rótulos, construção civil, filme esticável, filme termo-encolhível, etc
		Extrusão plana	Embalagens plásticas flexíveis, envoltório para flores, substratos de revestimentos, etc
Multi-camadas	Co-Extrusão	Extrusão tubular	Embalagem para alimentos e produtos químicos
		Extrusão plana	Embalagens em geral
		Revestimento "Coating"	Envoltório para doces e embalagem para salgadinhos
		Laminação	Embalagem para produtos médicos, condimentos, sopas, salgadinhos
	Laminação	Adesivo	Embalagem para alimentos e salgadinhos

**Fonte:** Elaborado pelo autor – Adaptado de HORODYTSKA, 2018

A Tabela 3 apresenta estruturas típicas de embalagens plásticas flexíveis utilizadas no Brasil para acondicionar alimentos, variando desde estruturas simples, monocamada, com baixos requerimentos em termos de barreira, até estruturas mais complexas, multicamadas, com barreira à umidade, ou à oxigênio ou à luz, por exemplo. No caso das estruturas multicamadas, estas são normalmente formadas a partir de laminação de dois ou mais filmes, com a junção delas através de adesivos base solvente ou base d'água ("solventless"). Ainda integram as estruturas, tinta de impressão, metalização e outros aditivos (TECNOVAL, 2019).

**Tabela 3:** Estruturas típicas para embalagens plásticas flexíveis para as principais categorias de alimentos em que são aplicadas e correspondentes composição padrão de mercado

Principais aplicações em alimentos	Estrutura Padrão	% Polímero na estrutura massa/massa	% Tinta de impressão	% Adesivo	% Outros aditivos
Açúcar / Farinha 1,0 kG	Poliétileno 45g	96	4	--	--
Biscoitos 200g	Bopp 18g+Bopp 18g Met	87	7	6	--
Massa 500g	Bopp 18g+PP25g	89	6	5	--
Pão de forma	Poliétileno 25g	93	7	--	--
Chocolates 100g - 150g	Bopp 22,5g+Bopp Pérola 26g	87	5	4	4
Salgadinhos 100g	Bopp 27g+Bopp 18,0g Met	89	6	5	--
Barras de Cereais	Bopp 18g+Bopp 18g Met	87	7	6	--
Pipoca	PP30g	94	6	--	--
Café torrado em moído 500g	Pet 16,8g Met + Pe 30g	89	6	5	--
Leite em pó 200g	Pet 16,8g Met + Pe 30g	89	6	5	--
Achocolatado em pó 200g	Pet 16,8g + Pe 30g	89	6	5	--
Cereais matinais	Poliétileno AD 50g	100	--	--	--
Sorvete	Bopp Pérola 26g	90	10	--	--
Maionese	Pet 16,8g + Pe 70g	89	3	3	5
	<b>Média</b>	<b>90,6</b>	<b>6,1</b>	<b>4,9</b>	<b>4,5</b>

**Fonte:** Elaborada pelo Autor, adaptado de TECNOVAL, 2019

Pela Tabela 3, em média, os polímeros representam 90,6% (m/m) das estruturas das embalagens plásticas flexíveis. Baseado nestes dados, observa-se que as estruturas são praticamente compostas por plástico, e para efeito de reciclagem, será considerado como tal, na busca de soluções tecnológicas. Ainda, em média 6,1% das estruturas são representadas por tinta de impressão e 4,9% por adesivo de laminação. Apesar de ser um baixo percentual de participação na composição das estruturas, são esses elementos (tinta de impressão e adesivo de laminação), um dos principais fatores que diferenciam (e geralmente dificultam) a reciclagem dos filmes plásticos laminados e impressos da reciclagem regular de uma peça em plástico rígido, além de que podem ser acrescidos do fato de eventualmente possuírem mais de um material. Estas diferenças e potenciais impactos no processo de reciclagem são abordados mais adiante.

O uso de filmes plásticos flexíveis têm aumentado significativamente, principalmente em embalagens, devido à sua leveza, reduzindo o consumo de material, baixo custo, flexibilidade, versatilidade, facilidade para impressão, propriedade mecânicas e térmicas, e ainda garantindo a proteção ao produto embalado. Tudo isto habilita o uso deste material em diversas aplicações, como

exemplo a substituição de embalagens rígidas (ex.: achocolatado em pó) por bolsas flexíveis, reduzindo o consumo de material de embalagem e o impacto ambiental. Estima-se que em países desenvolvidos, em torno de 50% dos plásticos nos resíduos domésticos sejam filmes flexíveis. (HORODYTSKA, 2018).

### **III.3. Resíduos Sólidos Urbanos**

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) implicam em resíduos resultantes das residências (domiciliar ou doméstico) e os resíduos da limpeza urbana (os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana) (BRASIL, 2010). Especificamente em relação ao consumo, restos de alimentos ou bens de consumo inutilizados e as respectivas embalagens, fazem parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Este trabalho tem o foco no entendimento da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, mais especificamente, nas embalagens plásticas flexíveis pós-consumo resultante principalmente da coleta seletiva.

Realizar a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos é uma das atividades mais complexas dos governos dos municípios, pois compreende uma série de atividades (por exemplo, coleta, transporte e destinação final), cada uma com suas técnicas, legislações e problemas (ABRELPE, 2019).

Em 2018 foram gerados 79 milhões de toneladas no Brasil segundo a Abrelpe, o que significa 216,4 mil toneladas/dia, representando uma média per capita de 1,039 kg/hab./dia (ABRELPE, 2019).

Dados levantados pelo SNIS-RS, referentes ao ano de 2018, publicados no 17º. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (BRASIL, 2019b), são apresentados na Tabela 4. Através deles é possível ter uma dimensão da situação do manejo dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Este levantamento consolida dados do manejo dos RSU de 3.468 municípios, 62,3% do total do país, representando 85,6% da população urbana brasileira (151,1 milhões de habitantes). De acordo com este diagnóstico, 62,78 milhões de toneladas de RSU foram coletados representando aproximadamente 79,5% dos RSU gerados em 2018 (BRASIL, 2019b).

**Tabela 4:** Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil – SNIS-RS - 2018

<b>Total de municípios participantes da coleta de dados</b>	3.468 (62,3% do total de municípios brasileiros)
<b>População urbana brasileira representada no levantamento</b>	85,6% ou (151,1 Milhões de habitantes)
<b>Serviço de coleta domiciliar de RSU – cobertura (%)</b>	98,8% da população urbana e 92,1% da população total
<b>Volume total coletado</b>	62,78 milhões de toneladas – 172,0 toneladas/dia.
<b>Volume PER CAPITA coletado/dia</b>	0,96 kg/hab./dia (média) <sup>1</sup>
<b>Volume coletado e disposto em aterros sanitários</b>	46,68 milhões de toneladas de RSU, ou 75,6% do coletado
<b>Volume de resíduos coletados despejados em locais inadequados (ex. lixões)</b>	15,05 milhões de toneladas, correspondendo a 24,4% dos resíduos coletados
<b>Recursos aplicados pelos municípios em 2018 em serviços de limpeza urbana no Brasil</b>	Média de R\$130,47 por habitante
<b>Empregos diretos no setor de limpeza pública</b>	Cerca de 332 mil postos de trabalho formal no setor

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de BRASIL, 2019b

Ainda pela Tabela 4, 75,6% dos RSU coletados são dispostos em aterros sanitários, por outro lado, 15,05 milhões de toneladas de resíduos coletados são despejados em locais inadequados.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), lei 12.305, foi promulgada no Brasil em 02/08/2010 atribui, em seu artigo 3º, caráter multidimensional à gestão integrada dos resíduos sólidos, definindo-a como o “conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável”. Para promover e potencializar este conceito, a PNRS também preconiza a responsabilidade compartilhada entre poder público, iniciativa privada, organizações sociais voltadas para a causa e os próprios consumidores, com uma visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis

<sup>1</sup> A população urbana foi estimada pelo SNIS, em cada município brasileiro, adotando-se a população total estimada pelo IBGE multiplicada pela taxa de urbanização verificada no Censo 2010. Segundo este critério, a população urbana do Brasil em 2018 resultou em 176.539.719 habitantes.

ambiental social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública. Também o desenvolvimento sustentável e a ecoeficiência dos produtos ao longo da sua vida, além do reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e ainda, promovendo cidadania.

Alguns dos objetivos da PNRS (BRASIL, 2010), descritos no Artigo 7o. a serem destacados dentro do contexto desta Dissertação são: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; gestão integrada de resíduos sólidos; articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos e capacitação técnica continuada na área gestão e reciclagem dos resíduos sólidos.

Assim como a PNRS no Brasil, a Diretiva para Europa para resíduos (*“Waste Framework Directive – 2008/98/EC / Council Directive, 2008*), estabeleceu a seguinte hierarquia para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos: redução, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição (HORODYTSKA, 2018).

A composição dos RSU varia de região a região, dependendo do nível cultural, educacional, socioeconômico, dos hábitos de consumo, tamanho da cidade, disponibilidade de produtos industrializados, podendo até variar de mês-a-mês, dependendo da estação do ano. Estudos apontam que centros urbanos mais desenvolvidos, consomem mais produtos industrializados e que como consequência geram maior quantidade per capita de embalagens pós consumo (CABRAL, 2010).

É muito importante a identificação da composição gravimétrica, a quantidade e a fonte geradora dos resíduos de cada localidade, para se definir a melhor forma de coleta, do transporte, da gestão, para melhoria da coleta seletiva, e para definição da solução tecnológica mais adequada no caso da reciclagem. Ou, em último caso, para a destinação de forma ambientalmente correta em aterros sanitários (BUENROSTRO e BOCCO, 2003).

A composição gravimétrica representa o percentual da participação (peso) de cada componente de uma amostra do RSU em relação ao peso total desta amostra. Além de restos de alimentos, os materiais recicláveis mais comumente encontrados na composição dos resíduos sólidos urbanos são alumínio, aço, papel/papelão, plásticos e vidro (IPEA, 2012).

#### **III.4. Logística reversa**

A logística reversa é o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo 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)

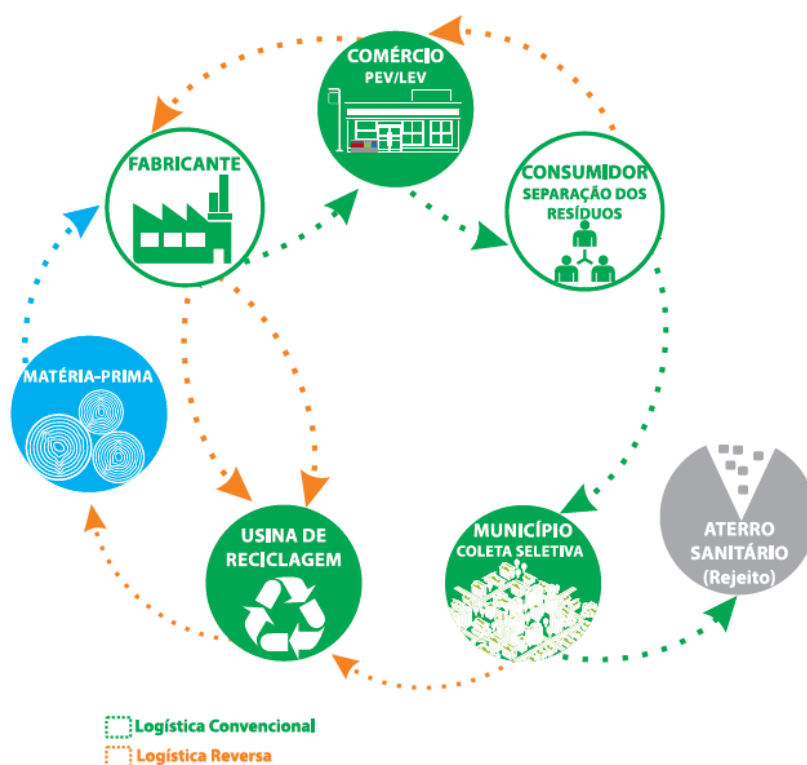
Em resumo, a logística reversa tem como objetivos (OLIVEIRA e SILVA, 2005):

- O retorno ou a recuperação de produtos, no caso, material de embalagem pós-consumo;
- A reciclagem, a substituição e a reutilização de materiais;
- A redução da extração e do consumo de matérias-primas virgens;
- A disposição ambientalmente correta de resíduos.

Fator importante para que alternativas mais interessantes que o simples aterramento, como a reciclagem, aconteçam, diz respeito à necessidade de que os locais de consumo sejam atendidos por sistema de coleta dos resíduos, que seja implementada uma operação de logística reversa e especificamente em relação aos materiais de embalagem, ou seja, coleta seletiva. De uma maneira simplificada, os resíduos sólidos urbanos podem ser classificados em fração úmida, basicamente materiais orgânicos putrescíveis, principalmente resto de alimentos, e, fração seca, na sua maioria, materiais de embalagem pós-consumo.

Assim, uma logística reversa de embalagens pós-consumo e se possível já separado da fração úmida, com o foco na maximização da reciclagem embalagens pós-consumo, pode ser exemplificada na Figura 6, juntamente com a logística convencional.

**Figura 6.** Logística convencional e a Logística Reversa



**Fonte:** CARRIJO, 2019

Pela PNRS, são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- agrotóxicos (seus resíduos e embalagens)
- pilhas e baterias
- pneus
- óleos lubrificantes (seus resíduos e embalagens)
- lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista
- produtos eletroeletrônicos e seus componentes

Para outras embalagens de bens de consumo, não há exigência específica quanto à logística reversa. Compromissos têm sido estabelecidos via acordos setoriais.

### III.4.1. Coleta Seletiva no Brasil

A existência de um sistema de coleta de material constitui um primeiro passo para viabilizar atividades recicladoras (SANTOS et al., 2004).

Definida como a coleta dos resíduos sólidos previamente separados, de acordo com a sua constituição e composição (PNRS, artigo 3º, inciso V), a coleta



seletiva encontra-se sob a responsabilidade dos titulares dos serviços (Decreto Federal nº 7.404/2010, artigo 9º, parágrafo 2º) e deverá ser planejada no âmbito dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS).

A Tabela 5 apresenta a massa de RSU coletada seletivamente por região, onde se destaca a região Sul, com a maior massa coletada per capita, de 34,2 kg/hab./ano, e por outro lado, as regiões Norte e Nordeste com 8,0 e 8,6 kg/hab./ano respectivamente. Já em termos de municípios com coleta seletiva, Sudeste e Sul, são os que apresentam os maiores números, 566 e 564 municípios, respectivamente, enquanto a região Norte, somente 33 municípios. Houve um aumento da massa coletada seletivamente em 2018 de 182 mil toneladas, equivalente a um aumento de 12,3% em relação ao ano anterior. Em relação à massa per capita coletada seletivamente houve um incremento de 5,1% neste mesmo período (BRASIL, 2019b).

**Tabela 5** - Massa de resíduos sólidos coletada pelo serviço de coleta seletiva de RSU dos municípios participantes do SNIS, segundo macrorregião geográfica

Macrorregião	Quantidade coletada [ton./ano]	Quant. de Municípios com coleta seletiva participante do SNIS	Massa per capita recolhida na coleta seletiva. Média municipal [ton./mun./ano]	Massa per capita coletada seletivamente [kg/hab./ano]
<b>Norte</b>	51.174,4	33,0	1.550,7	8,0
<b>Nordeste</b>	157.570,1	81,0	1.945,3	8,6
<b>Sudeste</b>	620.168,4	566,0	1.095,7	10,2
<b>Sul</b>	707.772,7	564,0	1.254,9	34,2
<b>Centro-Oeste</b>	130.929,6	78,0	1.678,6	13,8
<b>Total - 2018</b>	1.667.615,2 <sup>2</sup>	1.322	1.261,4	14,4

**Fonte:** Elaborado pelo Autor. Adaptado de BRASIL, 2019b

Na Tabela 6, segundo dados do SNIS-RS (2018), 1.322 municípios, de um total de 3.468 respondentes, declararam possuir algum tipo de coleta seletiva (38,1% da amostra SNIS). Em termos de coleta seletiva, o volume coletado representa apenas 2,71% do total de RSU coletados. No que tange aos resíduos

<sup>2</sup> Quantidade coletada diretamente pelas prefeituras, por empresas contratadas pela prefeitura, por cooperativas/associações com alguma parceria com a prefeitura e por outros agentes também com parceria.

recicláveis coletados e recebidos nas unidades de triagem, eles representaram 1,7% do total de RSU coletados.

**Tabela 6:** Panorama da Coleta Seletiva no Brasil nos municípios participantes do SNIS-RS - 2018

<b>Serviço de coleta seletiva</b>	1.322 municípios ou 38,1% dos municípios
<b>Serviço de coleta seletiva – modelo porta-a-porta</b>	1.135 municípios, atendendo 37,8% da população urbana
<b>Participação formal de catadores na coleta seletiva</b>	Responsável por 30,7% do total de toneladas coletadas seletivamente
<b>Organizações de catadores</b>	1.232, distribuídas em 827 municípios
<b>Números de catadores</b>	27.063 vinculados a associações e cooperativas
<b>Massa de resíduos coletada seletivamente no ano, nos 1.322 municípios</b>	1,7 milhão de toneladas (Tabela 5)
<b>Massa per capita coletada seletivamente</b>	14,4 kg/hab./ano (média) (Tabela 5)
<b>Taxa de coleta seletiva vs. volume total de RSU coletados</b>	4,11%
<b>Estimativa de resíduos recicláveis recebidos nas unidades de triagem - Brasil</b>	1,05 milhão de toneladas, representando 1,7% do total de resíduos domiciliares e públicos coletados no Brasil, ou 5,6% da massa total potencialmente recuperável de recicláveis secos => Índice de 7,37 kg/hab./ano de resíduos recuperados.
<b>Estimativa de recuperação de recicláveis secos<sup>3</sup> em relação aos resíduos secos domésticos</b>	7,0%

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de BRASIL, 2019b

Para melhor referência do significado da média per capita encontrada, 14,4 kg/hab./ano, se assume a hipótese de atribuir o valor de 30% à fração de materiais secos potencialmente recicláveis presente na massa de RDO e se tomar a mesma quantidade média per capita de RDO coletada em 2018 (350,4 kg/hab./ano). Neste caso, pode-se afirmar que foi coletado de forma seletiva não mais que 13,7% de todo o montante potencialmente reciclável (BRASIL, 2019b).

Na Tabela 7, segundo dados do SNIS-RS (2018), 1.322 municípios declararam possuir algum tipo de coleta seletiva, representando 38,1% da amostra

<sup>3</sup> Premissas SNIS-RS, atribuindo-se RSU composto por 20,0% de resíduos sólidos públicos e, 30% dos RSU sendo potencialmente recicláveis (oriundos majoritariamente dos RDO)

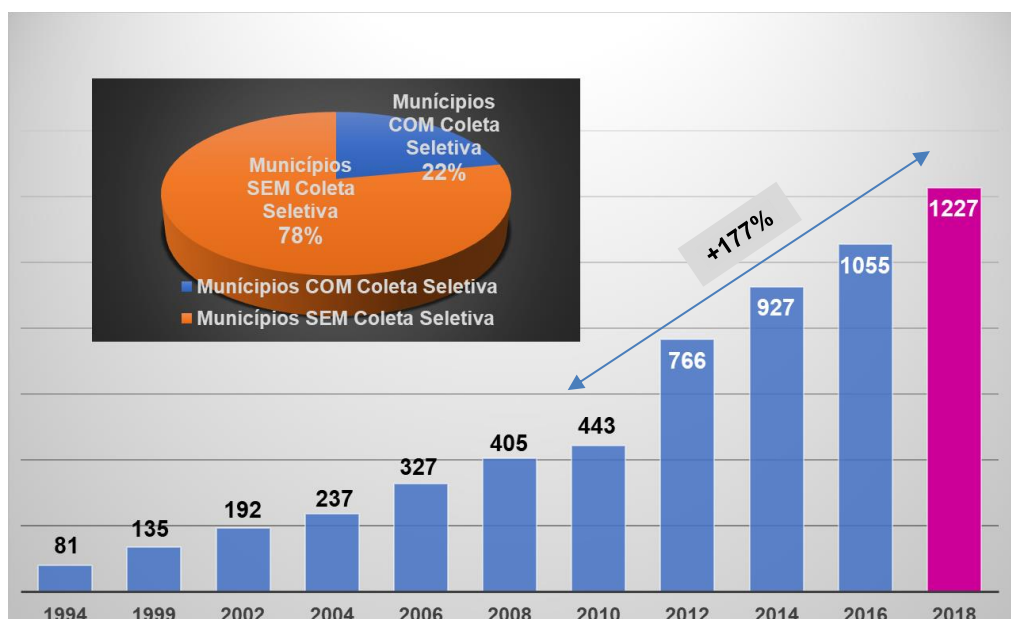
SNIS e 23,7% do Brasil. Ainda por esta tabela, observa-se que o índice de existência de coleta seletiva aumenta nos municípios com maior população. Somente 18,9% dos municípios brasileiros com até 30 mil habitantes possuem algum tipo de coleta seletiva, enquanto este serviço está disponível em mais de 80% dos municípios com população acima de 250 mil habitantes.

**Tabela 7** - Municípios com programas de coleta seletiva por faixa populacional – levantamento SNIS-RS - 2018

Faixa Populacional		Total de municípios - Brasil	Total de Municípios da amostra SNIS-RS 2018	Municípios que declararam existência de coleta seletiva		Total Brasil (%)
Faixa	Habitantes [mil]			Quant. de Munic.	(%)	
1	até 30	4.411	2.647	835	31,5	18,9
2	de 30 a 100	842	534	271	50,7	32,2
3	de 100 a 250	205	176	124	70,5	60,5
4	de 250 a 1.000	95	94	76	80,9	80,0
5	de 1.000 a 4.000	15	15	14	93,3	93,3
6	acima de 4.000	2	2	2	100,0	100,0
<b>Total - 2018</b>		<b>5.570</b>	<b>3.468</b>	<b>1.322</b>	<b>38,1</b>	<b>23,7</b>
<b>Total - 2017</b>		<b>5.570</b>	<b>3.556</b>	<b>1.256</b>	<b>35,3</b>	<b>22,5</b>
<b>Total - 2016</b>		<b>5.570</b>	<b>3.670</b>	<b>1.215</b>	<b>33,1</b>	<b>21,8</b>

**Fonte:** Elaborado pelo Autor. Adaptado de BRASIL, 2019b

A pesquisa Microsoft 2018, divulgado pelo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), mostrado na Figura 7, apresenta números próximos aos reportados pelos SNIS-RS 2018, sendo que neste em 2018, 1.227 municípios reportaram a existência de algum tipo de coleta seletiva, representando 22% dos municípios brasileiros e apenas 35 milhões de brasileiros (17%) com acesso a programas municipais de coleta seletiva. Ainda por esta pesquisa, é notório o crescimento de municípios com coleta seletiva após a promulgação da PNRS em 2010, com um aumento de 177% na abrangência nacional da coleta seletiva de 2010 a 2018.

**Figura 7** – Municípios brasileiros com coleta seletiva – Ciclosoft 2018

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de Ciclosoft 2018 (CEMPRE, 2019)

A quantidade de resíduos recicláveis secos recuperados por dia são apresentados na Tabela 8, considerando-se plástico, papel, papelão, metais, vidros e outros, de acordo com os dados levantados pelo SNIS-RS, referentes ao ano de 2018, publicados no 17º. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (BRASIL, 2019b).

**Tabela 8** – Incidências de materiais recicláveis secos recuperados por tipo de material – SNIS-RS 2018

Quant. De Municípios	Papel e papelão [ton.]	Plásticos [ton.]	Metais [ton.]	Vidros [ton.]	Outros [ton.]	TOTAL
1.031	241.085,7	129.493,2	75.304,9	69.820,2	58.022,4	573.726,4
	42%	23%	13%	12%	10%	100%

**Fonte:** Elaborado pelo Autor. Adaptado de BRASIL, 2019b

Os dados apresentados na Tabela 8, referem-se a 1031 municípios que reportaram os dados no levantamento SNIS-RS 2018, com o detalhamento dos materiais recicláveis secos recuperados. Esta quantidade de municípios representa 18,5% do total de municípios no país.

A Tabela 9 apresenta uma estimativa da massa total de resíduos recicláveis secos para o Brasil, resultando em 1,1 milhão de toneladas recuperadas, que corresponde a 1,7% do total aproximado de 62,8 milhões de toneladas (Tabela 4)

de resíduos domiciliares e públicos “potencialmente” coletados em 2018 (BRASIL, 2019b).

**Tabela 9** – Estimativa de massa total de materiais recicláveis secos recuperados – Brasil – SNIS-RS 2018

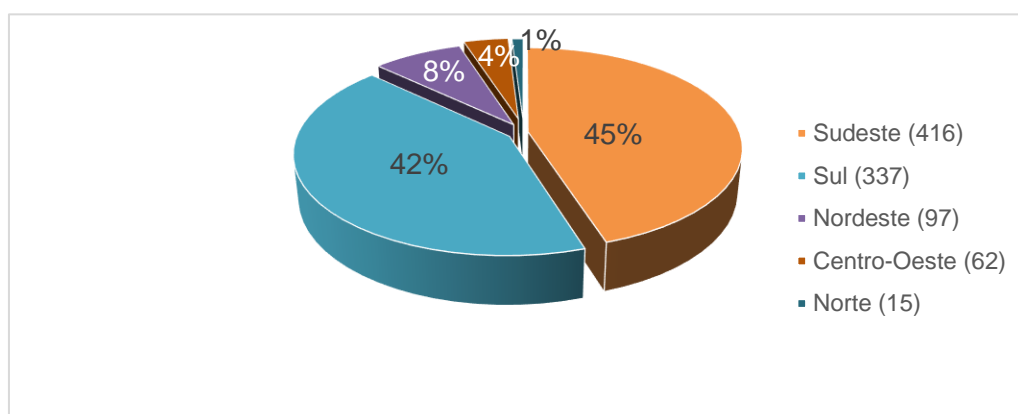
Quantidade de municípios	População Urbana (IBGE)	Indicador médio [kg/hab. ano]	Quant. de massa recuperada em função da pop. Urb. [ton./ano]	Pop. Urb. correspondente aos mun. com materiais recicláveis recuperados entre os mun. da amostra [%]	Estimativa da massa total recuperada [ton./ano]
5.570	176.539.719	7,37	1.301.627,92	81,25	1.057.590,76

**Fonte:** Elaborado pelo Autor. Adaptado de BRASIL, 2019b

Para ampliar o índice de recuperação dos resíduos recicláveis contido nos RSU, Ministério do Meio Ambiente lançou em 2019 o Programa Nacional Lixão Zero, de forma a equacionar a questão dos resíduos sólidos urbanos, por meio do fortalecimento de sua gestão integrada, coleta seletiva, reciclagem, logística reversa, recuperação energética e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2019a).

A Figura 8, apresenta dados do CEMPRE (2018) que mostram serem as regiões sul e sudeste as que possuem maior índice de coleta seletiva no Brasil.

**Figura 8** - Coleta seletiva por região - Brasil



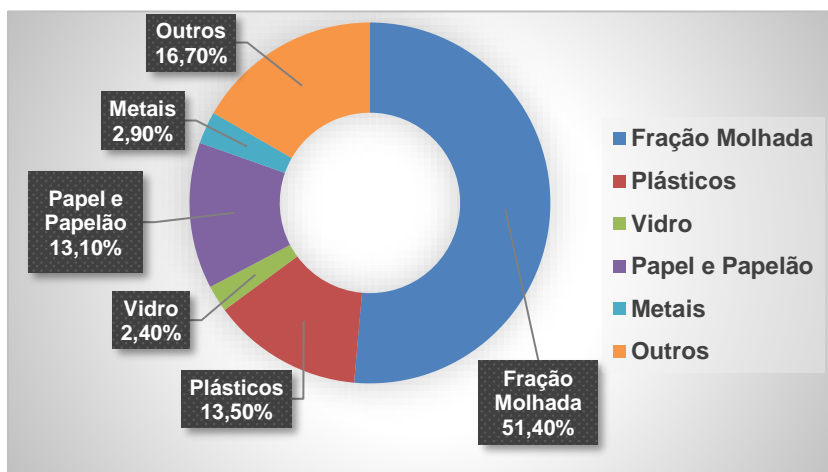
**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de Ciclossoft 2018 (CEMPRE 2018)

Ainda pela pesquisa Ciclossoft 2018 (CEMPRE, 2018), os programas de maior êxito são aqueles em que há uma combinação dos modelos de coleta

seletiva: Porta-a-Porta (80%), Pontos de Entrega Voluntária (PEV) (45%) e Cooperativas (61%). Muitos utilizam a combinação de dois ou três modelos.

A Figura 9 (CEMPRE, 2017) mostra a composição dos resíduos sólidos urbanos, sendo 48,6% composto por “fração seca”, na sua maioria material de embalagem pós-consumo, e destes, 13,5% correspondem ao plástico.

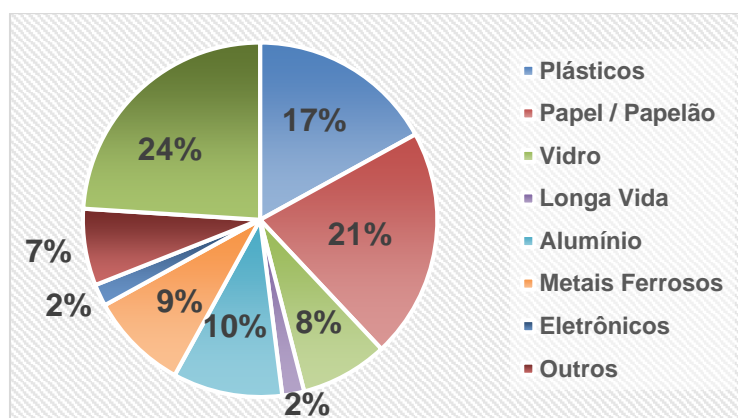
**Figura 9** – Composição Gravimétrica dos RSU brasileiros



**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de CEMPRE, 2017

A Figura 10 apresenta um detalhamento da fração seca, resultado da coleta seletiva, conforme dados do CICLOSOFT 2018 (CEMPRE, 2018). De acordo com este relatório, 17% representa a participação do plástico na composição gravimétrica. Este relatório não apresenta a separação entre plástico rígido e plástico flexível.

**Figura 10** - Composição Gravimétrica na coleta Seletiva – Ciclossoft 2018



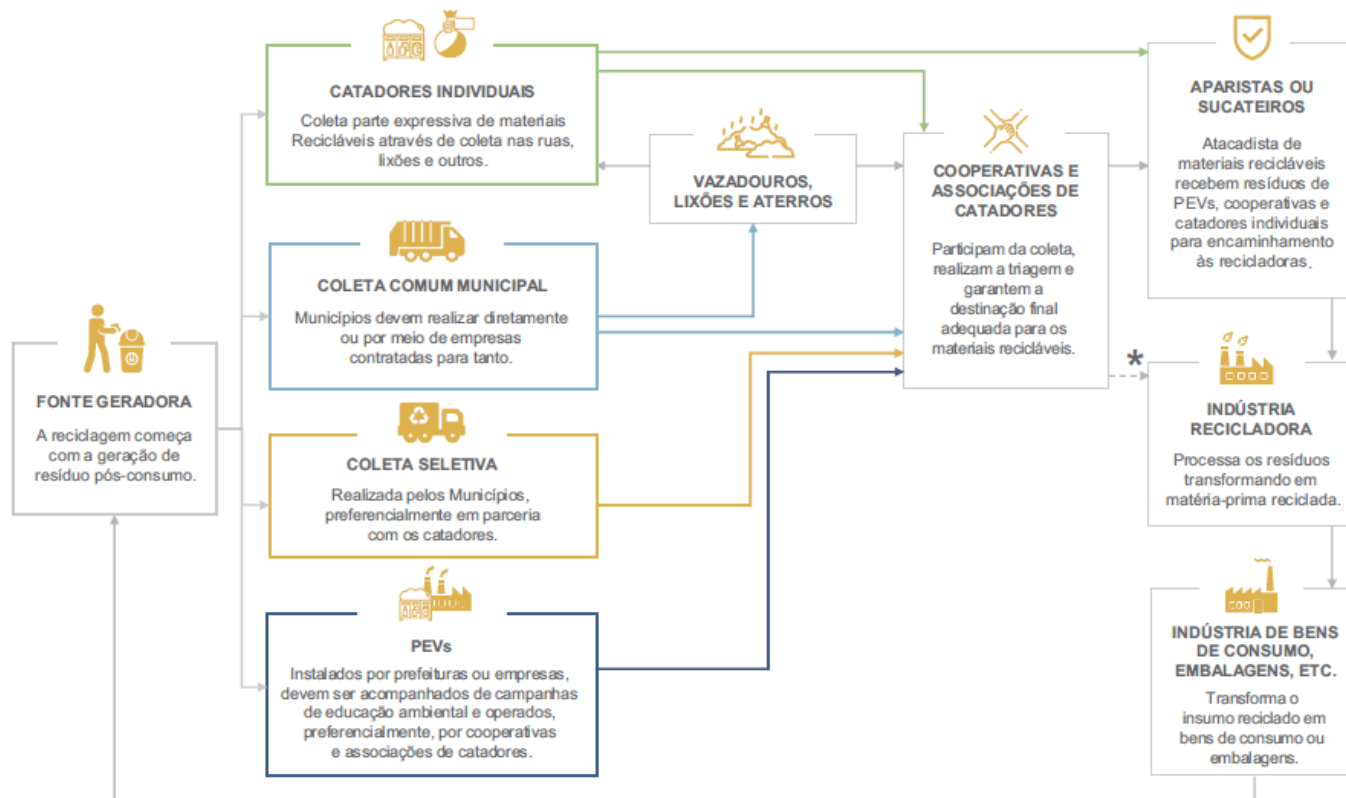
**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de Ciclossoft 2018 (CEMPRE, 2018)

Para além do ganho ambiental e econômico, a vida urbana passou a conviver gradativamente com um novo conceito do “consumo consciente”. Nesse cenário, a separação dos resíduos nas residências, a maior atenção do consumidor quanto às práticas empresariais associadas à reciclagem dos produtos e a cobrança cidadã por melhorias no serviço de coleta seletiva realizado pelas prefeituras tornaram-se elementos-chave para o avanço do nível de reciclagem em geral no país, em especial a reciclagem de embalagens pós-consumo no País (CEMPRE, 2017).

Apesar das dificuldades enfrentadas pelas instituições, pelo poder público e pelas cooperativas de catadores no Brasil, alguns avanços têm sido identificados nos últimos anos, ao menos em alguns materiais específicos, com aumento no índice de reciclagem, principalmente aos materiais com maior valor de mercado. Entre 1994 e 2008, o índice de reciclagem de latas de alumínio variou de 56% para 91,5%, o de papel de 37% para 43,7%, o de frascos de vidro de 33% para 47%, o de embalagens PET de 18% para 54,8%, o de lata de aço de 23% para 43,5%, e o de embalagem longa-vida de 10% em 1999 para 26,6% em 2008. (IPEA, 2017).

A Figura 11 apresenta o fluxo dos resíduos pós-consumo, detalhando as diferentes formas de descarte e coleta, com foco nos resíduos potencialmente recicláveis, passando pelas cooperativas e associações de catadores, até a indústria recicladora. Neste longo caminho, pode ainda ter a passagem pelos intermediários aparistas e sucateiros.

**Figura 11** - Fluxo de resíduos comercializados diretamente entre as cooperativas e associações de catadores e a indústria recicladora.



Fonte: ANCAT, 2019

### III.5. Plásticos – presença nos Resíduos Sólidos Urbanos

Os plásticos fazem parte de uma classe de materiais mais abrangentes chamados polímeros, cuja palavra origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Um polímero é uma macromolécula composta por muitas (geralmente dezenas de milhares) unidades de repetição denominadas meros, ligadas através de ligações covalentes. Eles podem ser naturais, como a seda, a celulose, as fibras de algodão, etc., ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli (tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o policloreto de vinila (PVC), etc. É possível dividir os polímeros sintéticos em três grandes classes: plásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO, 2010).

Os polímeros originários de monômeros de hidrocarboneto alifático insaturado contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa são conhecidos como poliolefinas, sendo os mais comuns o polietileno (de baixa e alta densidade) e o polipropileno (PP) (CANEVAROLO, 2010).



Segundo Canevarolo (2010) o plástico é definido como um produto final sólido de alta massa molar e são divididos em termoplásticos e termofixos.

- **Termoplásticos:** São plásticos moldáveis que podem ser fundidos quando submetidos a altas pressões e temperaturas e solidificados quando resfriados, não sofrem alterações na sua estrutura química durante o aquecimento e que podem ser novamente fundidos após o resfriamento. Exemplos: polipropileno (PP), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), poli(tereftalato de etileno) (PET), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) etc. Podem ser transformados em objetos principalmente através da moldagem por injeção, sopro ou extrusão e são divididos em filmes (geralmente os produtos com espessura inferior a 254 µm, como embalagens plásticas flexíveis, sacos e sacolas) e rígidos (o restante) (MANRICH et al., 1997; SARANTÓPOULOS et al., 2002).
- **Termorígidos:** São moldáveis uma única vez, pois não fundem com o reaquecimento. Exemplos: resinas fenólicas, epóxi, poliuretanos etc.

Segundo Canevarolo (2010), PEAD, PEBD, PP, PS e PVC são considerados termoplásticos convencionais, pois possuem baixo custo, alta produção e fácil processamento.

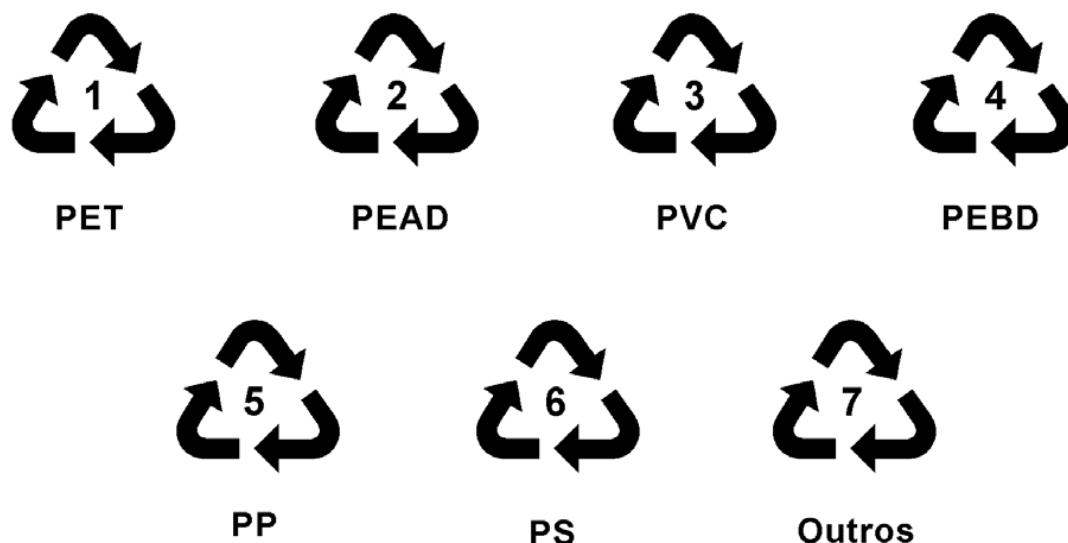
Os plásticos são materiais que, embora sólidos à temperatura ambiente em seu estado final, quando aquecidos acima da temperatura de “amolecimento” tornam-se fluidos e passíveis de serem moldados por ação isolada ou conjunta de calor e pressão. Os termoplásticos são moldáveis a quente e possuem baixa densidade, boa aparência, são isolantes térmico e elétrico, são leves, resistentes ao impacto e possuem baixo custo, portanto, apresentam uma larga faixa de aplicações (SPINACÉ e DI PAOLI, 2005).

Apesar da existência de uma grande variedade de termoplásticos, apenas cinco deles, ou seja, o PE (PEAD, PEBD, PELBD), o PP, o PS, o PVC e o PET representam cerca de 90% do consumo nacional, utilizados em aplicações diversas, voltadas para a construção civil, setor agrícola, de calçados, móveis, embalagens, têxtil, lazer, telecomunicações, eletroeletrônicos, automobilísticos, médico-hospitalar, entre outras (ABIPLAST, 2018). Os principais produtos feitos com cada plástico são:

1. PET - poli (tereftalato de etileno) – É encontrado em frascos e garrafas para uso alimentício/hospitalar, cosméticos, bandejas para micro-ondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis, etc.
2. PEAD - polietileno de alta densidade – Com ele são feitas embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, garrafeiras, tampas, tambores para tintas, potes, utilidades domésticas, etc.
3. PVC - policloreto de vinila – Já foi muito utilizado em embalagens para água mineral e óleos comestíveis. Atualmente pode ser encontrado em rótulos e lacres termo-encolhíveis. Perfis para janelas, tubulações de água e esgotos, mangueiras, embalagens para remédios, brinquedos, bolsas de sangue, material hospitalar, etc.
4. PEBD/PELBD - polietileno de baixa densidade/polietileno linear de baixa densidade – Com ele são feitas sacolas para supermercados e boutiques, filmes para embalar leite e outros alimentos, sacaria industrial, filmes para fraldas descartáveis, bolsa para soro medicinal, sacos de lixo, etc.
5. PP – polipropileno – É encontrado em filmes para embalagens e alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, frascos, caixas de bebidas, autopeças, fibras para tapetes utilidades domésticas, potes, fraldas e seringas descartáveis, etc.
6. PS – poliestireno – Com ele se faz potes para iogurtes, sorvetes, doces, frascos, bandejas de supermercados, carcaças de equipamentos eletroeletrônicos, geladeiras (parte interna da porta), pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos, etc.

Por conta dessa presença maciça de plásticos nos resíduos domésticos, produtos feitos com esses plásticos (especialmente as embalagens) costumam ter gravado o símbolo da reciclagem com um número ou uma sigla no centro, apresentados na Figura 12, para facilitar a identificação do plástico utilizado visando a futura reciclagem (ABNT NBR 13230:2008).

**Figura 12:** Simbologia utilizada para identificação de embalagens por tipo de material



**Fonte:** Norma NBR 13.230 da ABNT

A caracterização do material para estruturas laminadas ou multicamadas cuja reciclagem é processada sem a separação dos materiais constituintes é designada pela resina de maior participação na composição da estrutura. Os materiais de embalagem recicláveis sem a separação dos seus elementos integrantes são classificados como “outros” (FORLIN, 2002).

Devido aos seus muitos benefícios e propriedades específicas, o consumo dos plásticos vem crescendo não só no mundo, mas no Brasil também. Os números na Tabela 10 mostram o tamanho e a importância da indústria de transformação e de reciclagem de plásticos no Brasil.

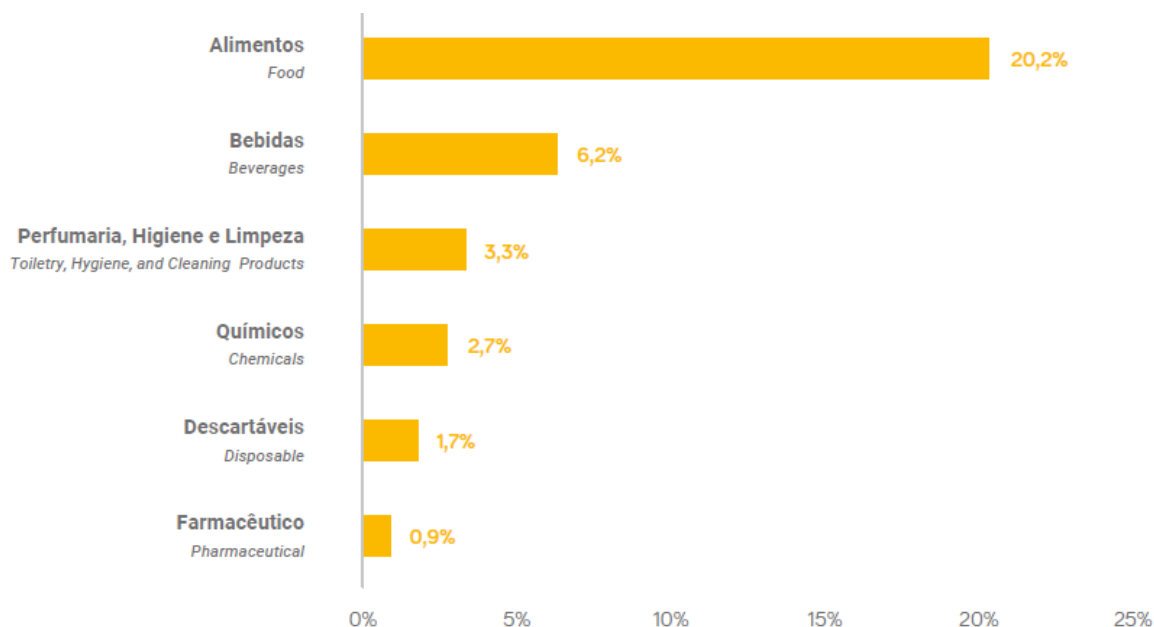
**Tabela 10: Panorama geral do setor de plásticos no Brasil (2018)**

Produção física de transformados plásticos	6,2 milhões de toneladas
Produção física de plásticos reciclados (2016)	550 mil toneladas
Empresas na indústria de transformados plásticos (2017)	11.127
Total de empregos na indústria transformação de plásticos (2017)	312.934
Empresas na indústria de reciclagem de materiais plásticos (2017)	1.061
Total de empregos na indústria de reciclagem de plásticos (2017)	10.000
Consumo aparente na indústria de transformados plásticos	6,6 milhões de toneladas

**Fonte:** Elaborado pelo Autor. Adaptado de ABIPLAST, 2019

A Figura 13 apresenta aplicação de plásticos em produtos de vida curta, que representa 35% dos plásticos transformados, por segmento de aplicação (ABIPLAST,2019). Os principais segmentos de aplicação são alimentos e bebidas.

**Figura 13** - Participação do plástico de ciclo de vida curta, por segmento de aplicação

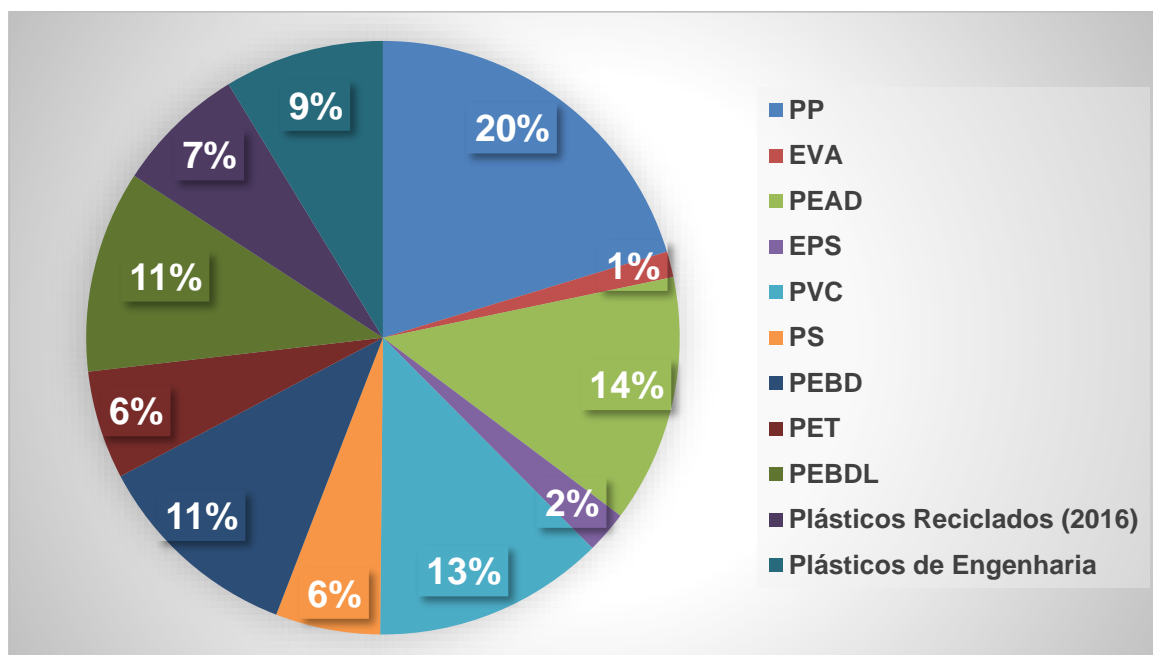


**Fonte:** ABIPLAST, 2019

Os elementos plásticos encontrados na composição dos resíduos sólidos urbanos são na sua maioria de ciclo curto de vida, normalmente embalagens e itens descartáveis pós-consumo. De acordo com a Plastic Europe, a maior aplicação do plástico é em embalagens, representando 39,9% (Plastic Europe, 2016).

Pela Figura 14, no Brasil, os plásticos mais consumidos em ordem decrescente são PP (20%), PEAD (14%), PVC (13%), PEBD (11%) e PEBDL (11%).

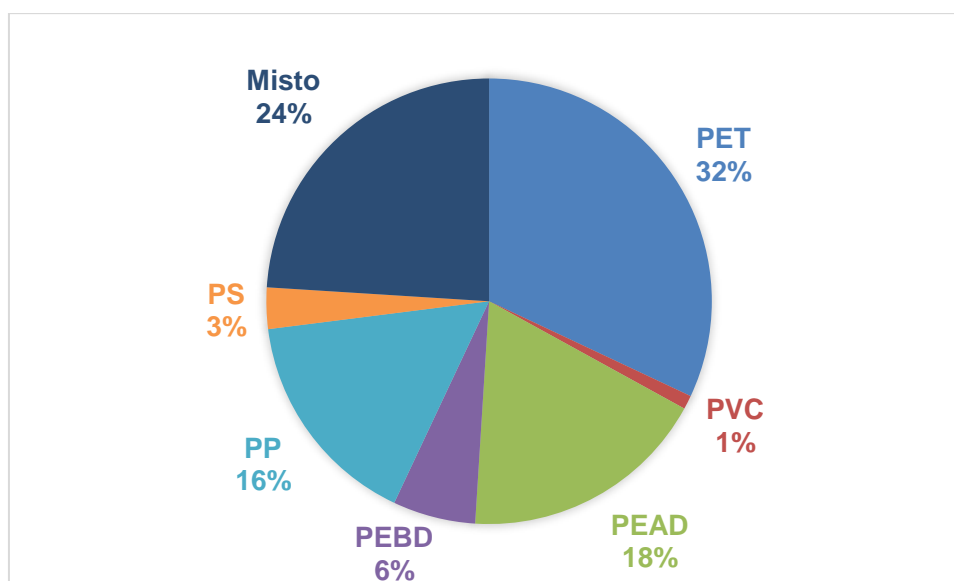
**Figura 14 - Principais resinas consumidas no Brasil**



**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de ABIPLAST, 2019

A Figura 15 apresenta a participação dos diferentes tipos de plásticos na composição dos resíduos oriundos da coleta seletiva, de acordo com dados do Ciclossoft, CEMPRE, 2018.

**Figura 15 – Participação dos plásticos na composição gravimétrica na coleta Seletiva – Ciclossoft 2018**



**Fonte:** Ciclossoft 2018, CEMPRE

Na Figura 15, o detalhamento dos plásticos presentes na fração seca apresenta o PET com maior participação (32%), muito provavelmente em função das garrafas sopradas com este material (ABIPET, 2019). O segundo item com maior participação é designado como “misto”, o que considera a presença de embalagens plásticas flexíveis na sua composição, e outros materiais plásticos de venda difícil, considerados “rejeitos” (CEMPRE, 2018).

As embalagens plásticas flexíveis podem ser formadas por diferentes estruturas, e na separação no material pós-consumo, podem ser classificadas conforme segue (SARANTÓPOULOS et al., 2002):

- Monocamada e Mono-material – Exemplos: PE, PP e PET. Esta estrutura pode ter a aplicação de metalização, formando filme de PE, PP ou PET metalizado.
- Filme multicamadas, porém mono-material polimérico. Exemplo: BOPP/BOPP
- Filme laminado multi-materiais poliméricos – ex: PE/PP, PET/PE, PET/BOPP/PE, BOPP/PE. Estas estruturas também podem contar com o uso de uma das camadas sendo metalizada. Exemplos: PET/BOPP-metalizado, BOPP/PE/BOPP-metalizado, BOPP/PET/BOPP-
- Filme laminado multi-materiais, polímero com outros materiais – ex: Papel/PE, BOPP/Alu/PE

O filme multicamada, podem ser laminadas por adesivo ou co-extrusão, apresenta o benefício de mesclar diferentes materiais, potencializando as propriedades de cada materiais isoladamente, proporcionando estruturas mais finas, com alta barreira à gases, à oxigênio, ao gás carbônico, à vapor d'água, à aromas, além de propriedades como maior resistência à temperatura, melhor força de selagem, proteção à luz, etc (CZERNIAWSKI e MICHNIEWICZ, 1998; AHLHAUS, 1997). De acordo com Tartakowski (2010), 17% da produção mundial de filme é de filme multi-camada.

A Tabela 11 apresenta os resultados da caracterização gravimétrica realizada por Mantovani (2013), em um estudo sobre a composição gravimétrica da coleta seletiva da cidade de Sorocaba (SP) realizada em 2011, onde 5,3% do material descartado diariamente pela população eram referentes às embalagens plásticas flexíveis, representando uma disponibilização diária estimada de 610kg.

**Tabela 11** - Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica da Coleta Seletiva de Sorocaba (filmes flexíveis) - estimativa de coleta diária em massa e volume (2011)

<b>Material</b>	<b>Composição Gravimétrica [%]</b>	<b>Estimativa de coleta diária [kg]</b>	<b>Composição volumétrica [%]</b>	<b>Estimativa de coleta diária [m3]</b>
<b>Embalagens Mistras (Papel e Plástico)</b>	<b>0,2</b>	<b>18,8</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>
<b>Embalagens metalizadas</b>	<b>0,7</b>	<b>78,7</b>	<b>2,4</b>	<b>7,6</b>
<b>PEAD (filme)</b>	<b>2,4</b>	<b>286,6</b>	<b>5,6</b>	<b>17,9</b>
<b>PEBD (filme)</b>	<b>1</b>	<b>113,9</b>	<b>5,7</b>	<b>18,1</b>
<b>PP (filme)</b>	<b>0,6</b>	<b>65,8</b>	<b>3,2</b>	<b>10,3</b>
<b>Outros plásticos (filmes)</b>	<b>0,4</b>	<b>45,8</b>	<b>0,5</b>	<b>1,5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,3</b>	<b>609,6</b>	<b>17,5</b>	<b>55,7</b>

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de MANTOVANI, 2013

Na Tabela 11 observa-se que os plásticos flexíveis se apresentam misturados. No caso, foi identificado e separado filmes de PEAD, PEBD, PP e metalizados, sendo este último, na maioria das vezes de PP (BOPP). Não há uma classificação específica e padronizada para as embalagens plásticas flexíveis plásticas pós-consumo obtido através da coleta seletiva, até porque, atualmente algumas das cooperativas de coleta sequer aceitam receber este tipo de material. E quando o fazem, dependendo da situação, simplesmente o separam com outros resíduos a serem descartados, sem se preocupar com a sua classificação. No caso deste trabalho de Mantovani, 2013, baseado em dados coletados em 2011, embalagens mistas e embalagens metalizadas foram consideradas rejeitos, representam 0,9% da composição gravimétrica total ou 16,9% dos plásticos flexíveis (filmes).

Estimativa nacional de 2008, publicada pelo IBGE, dava conta que 8,9% do total dos RSU eram embalagens plásticas flexíveis (filmes plásticos) (Tabela 12).

**Tabela 12** – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.

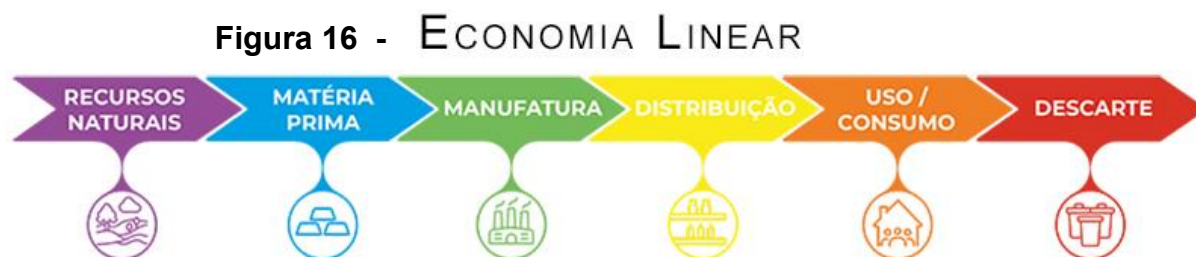
RESÍDUOS	PARTICIPAÇÃO (%)	QUANTIDADE (t/dia)
<b>Materiais Reciclável</b>	<b>31,9</b>	<b>58.527,40</b>
Metals	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e cartonado asséptico	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
<b>Matéria orgânica</b>	<b>51,4</b>	<b>94.335,10</b>
<b>Outros</b>	<b>16,7</b>	<b>30.618,90</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>183.481,50</b>

**Fonte:** Elaborado pelos Autor, adaptado de PRS (2018)

### III.6. Economia Circular

Para explicar sobre Economia Circular, é importante antes apresentar a Economia Linear, (Figura 16), que trata do processo tradicional de produção industrial que normalmente tem o seu início no consumo de matéria-prima, que em muitos casos é extraído da natureza (ECYCLE, 2020). Esta matéria-prima é manufaturada baseada num projeto de produto, resultando em um produto industrializado, que na sequência é distribuído e vendido para consumo.

O final deste processo, após o consumo, é o descarte do resto do material que não foi consumido, conhecido como resíduo (GOUVEIA, 2012). Em cada etapa também há a geração de resíduos, sejam eles líquidos, gasosos e sólidos.



**Fonte:** ALLEN, 2018



Avaliando o processo da economia linear do ponto de vida de recursos naturais e meio ambiente, por um lado há um consumo contínuo de recursos naturais, que pressupõe a extração e depleção, e por outro lado, o descarte muitas vezes de forma inadequada. Este representa o desperdício de material, que poderia estar sendo reutilizado, reciclado, ou utilizado para geração de energia. Ao invés disto é descartado, podendo poluir o meio ambiente ou gerar volume nos aterros sanitários (ECYCLE, 2020).

Com a população crescente, resultando em consumo também crescente, conseqüentemente com aumento contínuo do consumo de matéria-prima, a médio e longo prazos, a disponibilidade destas matérias-primas se reduzirá com o tempo, caminhando para a escassez ou seu esgotamento, tornando o processo da economia linear mais caro e insustentável (STAHEL, 2016).

Para mudar este cenário, a Economia Circular, (Figura 17), propõe o fechamento dos processos produtivos lineares, com a reinserção dos resíduos no ciclo produtivo, minimizando a extração de matéria-prima no início e também a disposição no meio-ambiente no final da cadeia do consumo (FOSTER et al., 2016).

O conceito se baseia na busca de soluções para o reaproveitamento, a reutilização ou reciclagem dos materiais pós-consumo, sendo estes materiais, sempre que possível, utilizados como matéria-prima na fabricação de novos produtos. Desta forma, se evita a extração de nova matéria-prima do meio-ambiente, que neste caso, é substituído pelo material reciclado (PAYNE, 2019). Para que isto aconteça, pode inclusive haver a necessidade do desenvolvimento de produtos específicos que possam ser manufaturados com os materiais oriundos de reprocessamento ou reciclagem. Certamente, haverá a necessidade de colaboração dos consumidores em pelos menos dois fatores voltados para a consciência ambiental: separar os materiais pós-consumo para reciclagem e aceitar produtos produzidos ou que contenham matéria-prima reciclada (BRASIL, 2020).

Neste caso, haveria dois benefícios claros que seriam: o ganho econômico e redução de impacto ambiental. Um bom exemplo da aplicação da economia circular seria o processo de produção de latas de alumínio, que utiliza alumínio reciclado, minimizando desta forma, a necessidade de extração de bauxita para

produção do alumínio e também menor consumo de energia para a produção do alumínio, resultando ao final em também menor custo de produção (ABRALATAS, 2019).

A Figura 17 ilustra graficamente o conceito da economia circular, em que o fluxo de material é continuamente reintroduzido no processo após cada ciclo de uso, minimizando a necessidade de extração de matéria-prima virgem, exemplificado no fluxo de produção da lata de alumínio no Brasil. Em contraste com a economia linear, onde todo material, ao final do seu ciclo de vida útil é descartado.

**Figura 17** - Diagrama representativo da economia circular



**Fonte:** KAFRUNI, 2019

Na economia circular, o foco está na reciclagem do material pós-consumo, ainda que haja algum descarte de resíduo, porém este deve ser o mínimo possível (PAYNE, 2019).

### III.7. Reciclagem de Plásticos

Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010).

A reciclagem de embalagens plásticas pode ser entendida como sendo a implementação de processos e técnicas para otimizar a utilização de energia, matérias-primas, produtos e materiais empregados na fabricação de embalagens. O intuito é preservar com segurança a função intrínseca quando re-destinados para a proteção de produtos, ou sua funcionalidade como novas matérias-primas ou produtos, amparada em conceitos econômicos, sociais, sanitários e de impacto ambiental adequados (FORLIN, 2002).

A cadeia produtiva da reciclagem de embalagens pós-consumo começa com o consumidor, que deveria separar e entregar as embalagens ou produtos plásticos pós-consumo para a coleta seletiva ou aos PEV's (Ponto de Entrega Voluntária). Na sequência, no Brasil o material é recolhido pelos catadores e cooperativas e levado para os centros de triagem onde cada item é separado pelo tipo de resina plástica e outras peculiaridades (como cor). Por isso, os produtos recebem a numeração de 1 a 7 que auxilia na identificação do material (MPT, 2020).

Além dos resíduos pós-consumo, bastante abordados até o momento nesta dissertação, há ainda resíduos pré-consumo, com destaque especial para os resíduos gerados pelas indústrias de transformação de plásticos (FORLIN, 2002). Ou convertedores, no caso de embalagens plásticas flexíveis.

### **Classificação e aspectos dos processos de reciclagem de polímeros**

A Associação Americana de Ensaio de Materiais (ASTM), normalizou as formas de reciclagem de plásticos, de modo a uniformizar os conceitos - ASTM D7209-06 – Definições (ASTM, 2015):

- **Reciclagem primária:** consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais (descarte ou aparas de processo) com o processo de reciclagem sendo realizado em circuito fechado. Tem como principais características o conhecimento da fonte, da composição e, este material é manuseado de modo a minimizar a quantidade de contaminantes e impurezas, obtendo-se material reciclado com características similares às da resina virgem. O processo utilizado normalmente envolve uma seleção do material, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento em equipamentos como extrusoras ou injetoras. No caso de filmes plásticos, pode haver

uma etapa adicional de aglutinação dos flocos gerados na moagem (ZANIN e MANCINI, 2015).

- **Reciclagem secundária:** conversão dos resíduos poliméricos provenientes dos resíduos sólidos urbanos ou eventualmente até de resíduo industrial, com o material seguindo o fluxo de seleção, moagem, aglutinação (em caso de filme plástico), lavagem, secagem e processamento por extrusão ou injeção. A principal característica da reciclagem secundária é que o material reciclado tem propriedades e qualidade inferiores ao material virgem (ZANIN e MANCINI, 2015).
- **Reciclagem terciária:** processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos. Processo de despolimerização dos materiais plásticos, através de um processo de decomposição química controlado do material. (ZANIN e MANCINI, 2015).
- **Reciclagem quaternária:** processo tecnológico baseado na combustão, para recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada. Os produtos finais são energia e a emissão gasosa (ZANIN e MANCINI, 2015).

Outras definições para a reciclagem dos plásticos são baseadas no processo de reciclagem ao qual o resíduo plástico será submetido. São elas a reciclagem mecânica (equivalentes à primária e secundária), reciclagem química (terciária) e a reciclagem energética (quaternária).

A Tabela 13 apresenta os diferentes termos empregados e sua equivalência. Neste estudo, será adotado os termos reciclagem mecânica, reciclagem química e recuperação energética.

**Tabela 13:** Terminologia dos processos para reciclagem de plásticos

ASTM D7209 – 06 Definições (2015)	Equivalente a ISO 15270 Definições de Padrão	Outros termos equivalentes
Reciclagem Primária	Reciclagem Mecânica	Reciclagem em ciclo fechado
Reciclagem Secundária	Reciclagem Mecânica	Rebaixamento (“downgrading” / “downcycling”)
Reciclagem Terciária	Reciclagem Química	Reciclagem de Matéria Prima (“feedstock recycling”)
Reciclagem Quaternária	Recuperação Energética	Valorização

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de Hopewell et al., 2009

A transformação mecânica em novos materiais ou produtos, consiste em submeter os materiais plásticos a processos mecânicos, moldando-os fisicamente, geralmente, em uma forma diferente da original. Para **reciclagem mecânica** de plásticos, o processo mais comumente utilizado é a extrusão. Os materiais termoplásticos, como é o caso das embalagens plásticas rígidas de alimentos, adequam-se vantajosamente ao processo, preservando, em grande parte, as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais (FORLIN, 2002).

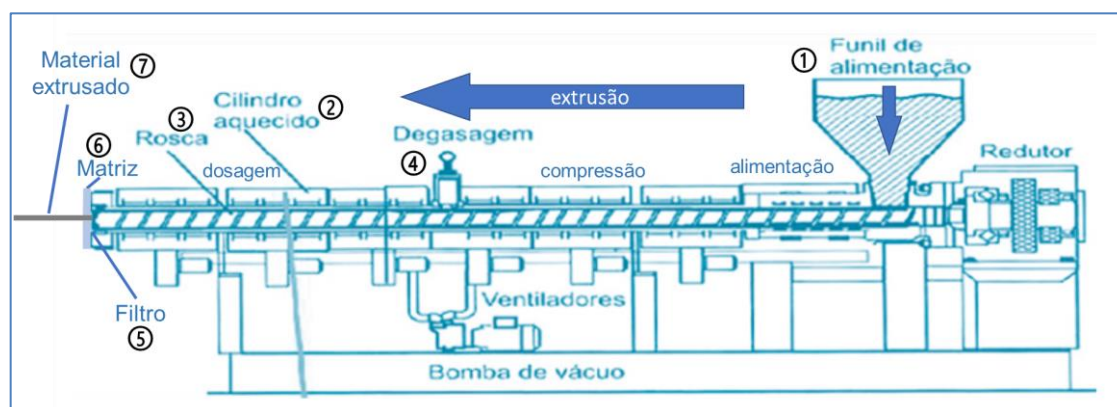
Nas unidades recicladoras geralmente os materiais oriundos da coleta seletiva passam pelo processo de triagem e seleção, na sequência são desestruturados mecanicamente (moagem). Na forma de particulados (ou flocos ou ainda “*flakes*”), são submetidos à limpeza de contaminantes (resíduos de alimentos, sujidades adquiridas pelo descarte pós-consumo e outros materiais incompatíveis com a natureza do material a ser reciclado), secagem e posteriormente a um processo de extrusão, detalhado na figura 18, de onde saem geralmente tubos maciços de diâmetro pequeno (3mm, por exemplo). Esses tubos são resfriados bruscamente e são picotados e secados, originando material granulado reciclado, o qual é vendido para a indústria de plásticos para a fabricação de novos produtos ou outros materiais. (FORLIN, 2002 e HORODYTSKA, 2018).

O processo de extrusão na reciclagem de resíduos plásticos, demonstrado na Figura 18, consiste em alimentar o funil de alimentação<sup>①</sup> de uma extrusora com o material moído, que através da gravidade cairá sobre uma rosca<sup>③</sup> que o

transportará dentro de um cilindro aquecido por resistências elétricas<sup>②</sup>, auxiliado por aquecimento através do calor que é provido pelo atrito do próprio material com as paredes do cilindro e por cisalhamento da massa fundida. Cilindro no caso também conhecido como canhão de extrusão, e dentro deste há 3 zonas pelas quais passa o material: alimentação, compressão e dosagem (MAIS POLÍMEROS, 2019).

Na zona de alimentação, a rosca possui sulcos profundos, pois a intenção é apenas aquecer o material próximo a sua temperatura de fusão e transportá-lo a próxima zona. Na zona de compressão, existe uma diminuição progressiva dos sulcos da rosca, comprimindo o material contra as paredes do cilindro promovendo sua plastificação e homogeneização. Ao final da zona de compressão há válvula de degasagem<sup>④</sup> para eliminar gases formados durante o processo. Na zona de dosagem, os sulcos da rosca são continuamente rasos, garantindo uma mistura eficiente do material e a manutenção da vazão através da pressão gerada. Ao final do cilindro o material é forçado contra telas de aço<sup>⑤</sup> que seguram impurezas como metais e borrachas, passando então pela matriz<sup>⑥</sup> onde tomará a forma do produto final. No caso da reciclagem, normalmente o produto é extraído no formato de “fios” contínuos de aproximadamente 3,0mm de diâmetro<sup>⑦</sup>, que posteriormente é cortado, obtendo a forma final em grânulos (MAIS POLÍMEROS, 2019).

**Figura 18 – Extrusora de plásticos**



**Fonte:** Adaptado de MAIS POLÍMEROS, 2019

Logo, o processo para a reciclagem de material plástico pós-consumo através da reciclagem mecânica, compreende normalmente das seguintes etapas, na ordem:

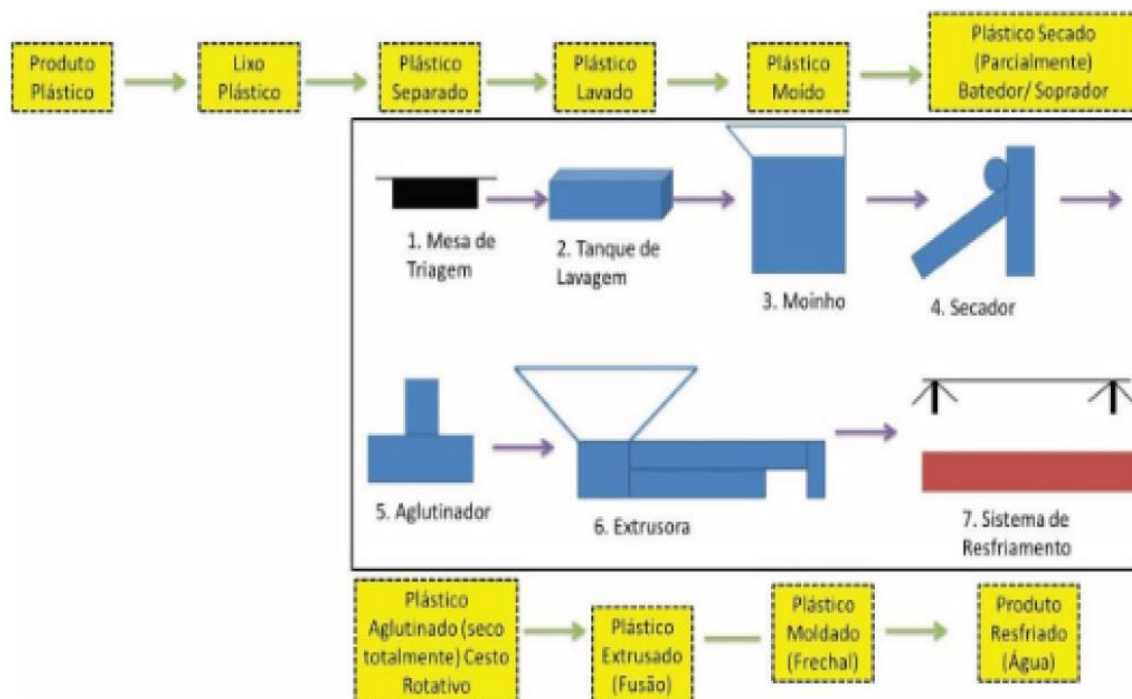
- 1) separação do resíduo polimérico de interesse
- 2) moagem
- 3) lavagem
- 4) secagem
- 5) reprocessamento/extrusão
- 6) transformação do polímero em produto acabado

Podem existir variações nestas etapas devido à procedência, tipo de polímero e forma em que ele se encontra (ex; filme), além das diferenças de investimentos e equipamentos utilizados nas plantas de processamento (ZANIN e MANCINI, 2015).

No caso do material estar na forma de filme, ou de laminado flexível, há uma etapa adicional, após a lavagem, denominada de aglutinação (ZANIN e MANCINI, 2015).

A Figura 19 apresenta o fluxograma simplificado da reciclagem mecânica de plásticos pós-consumo.

**Figura 19** – Fluxograma simplificado da Reciclagem Mecânica de plástico pós consumo



**Fonte:** MAIA, 2013

Além do símbolo que identifica o plástico e que pode estar gravado na própria embalagem, já comentado no item III.5, podem ser empregados testes

simples para identificação dos materiais plásticos, como o de odor dos vapores de queima, aparência da chama, temperatura de fusão e solubilidade, os quais são baseados em suas características físicas e de degradação térmica, que são distintas (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Depois da separação, os resíduos poliméricos devem ser moídos em moinhos (geralmente de facas rotativas) e peneirados na forma aproximada de flocos antes do reprocessamento. Isto permite acomodar melhor o material no equipamento de processamento, no caso, uma extrusora (BRANDRUP et al., 1996.) ou uma injetora, cuja entrada normalmente é um funil onde o material moído é alimentado.

O polímero depois de moído é lavado normalmente em tanques contendo água ou solução de detergente (EHRIG e CURRY, 1992.). O processo de lavagem tem a função de eliminar os contaminantes, como resto de comida, gordura, molhos, areia e outros orgânicos, que possam interferir no processo de extrusão, ou nas propriedades do material reciclado final. Nesta etapa é necessária a remoção de resíduos de detergente via enxágue. A água de lavagem deve ser tratada e reutilizada no processo. Após a lavagem invariavelmente há a necessidade da secagem, para a remoção do excesso de água. Essa pode ser uma secagem natural, ao sol ou estufas, algumas com vácuo ou com circulação de ar seco, dependendo da necessidade.

No caso de material oriundo de filmes plásticos flexíveis, após o processo de secagem, normalmente o material passa pelo processo de aglutinação, que promove aumento de densidade dos flocos, possibilitando que os mesmos sejam então submetidos a próxima etapa (LONTRA, 2011).

Após a secagem e aglutinação (no caso dos filmes plásticos flexíveis), os polímeros podem ser formulados com a adição de aditivos como antioxidantes, plastificantes, cargas de reforço, agentes de acoplamento, etc., dependendo das características e propriedades requeridas para aplicação final (SPINACÉ, 2000; LA MANTIA, 2003 e PFAENDNER, 2001).

Também é possível formular os polímeros pós-consumo adicionando pequenas quantidades de material virgem, visando melhorar as propriedades dos polímeros reciclados (SPINACÉ, 2000 e PFAENDNER, 2001).



Sobre os plásticos reciclados, de acordo com a Resolução RDC n. 20/08, item 9 e Resolução n. 105/99 da Anvisa, apenas o PET-PCR poderá entrar em contato direto com alimentos (ANVISA, 2019).

Na **reciclagem química** o resíduo plástico passa por um processo químico de despolimerização via solventes, visando a quebra da cadeia polimérica, inclusive da cadeia principal, objetivando o retorno à matéria-prima inicial, quando poderão posteriormente serem re-polimerizados, originando resina virgem novamente (ZANIN e MANCINI, 2015). Nesse caso, cada polímero será despolimerizado por um ou mais reagentes e a lista de produtos é restrita, mas geralmente de alto valor agregado. Há processos de reciclagem química onde o calor quebra as cadeias, havendo menores possibilidades de obtenção dos materiais iniciais, uma vez que a quebra é menos precisa. Formam-se geralmente muitos produtos diferentes, normalmente com alto teor combustível.

Processos de despolimerização por hidrólise e glicólise de poliésteres, poliamidas e poliuretanas foram patenteados nos anos 60 e 70 (BRANDRUP et al., 1996 e PASZUN e SPYCHAJ et al., 1997). Já os métodos térmicos e/ou catalíticos são mais utilizados para poliolefinas, materiais mais comuns nas embalagens, como polietileno e polipropileno. A reciclagem química é muito utilizada pela indústria na Europa e no Japão (SPINACÉ e DI PAOLI, 2005).

A pirólise se dá através de um processo de decomposição de materiais, ocorrendo uma ruptura da estrutura molecular original de um determinado composto pela ação do calor em um ambiente anaeróbico, podendo gerar uma combinação de óleo, gás e carvão em diferentes proporções, apenas pela variação de parâmetros operacionais, como temperatura ou taxa de aquecimento (SCHABEL et al., 2017). Também oferece uma oportunidade de transformar materiais de baixa densidade de energia em combustíveis de alta densidade de energia, ao mesmo tempo em que pode recuperar produtos químicos de alto valor (CHOWDHURY e SARKAR, 2012 e BISWAL et al., 2013).

A pirólise à baixa temperatura é a degradação térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio. Neste caso ocorre principalmente a despolimerização e formação de pequena quantidade de compostos aromáticos e gases leves, como o metano, obtendo-se líquidos de alta temperatura de ebulição, como ceras e

materiais de partida para produção de poliolefinas, como etileno e propileno (SPINACÉ e DI PAOLI, 2005).

Na pirólise à alta temperatura ocorre a decomposição térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio, obtendo-se mais óleos e gases que na de baixa temperatura. Esses óleos e gases, posteriormente, são purificados por métodos petroquímicos padrões (SPINACÉ e DI PAOLI, 2005).

A pirólise é uma reação endotérmica, portanto é necessária a adição de calor, que pode ser fornecido diretamente (oxigênio-ar) ou indiretamente (troca de calor). Resíduos com altos teores de impurezas podem ser reciclados por pirólise. No entanto, obtém-se uma variedade ainda maior de produtos de decomposição, o que dificulta a separação e, além disso, possuem um valor comercial menor que os produtos obtidos por reciclagem química via solvente. Um complicador da pirólise de polímeros se dá devido a sua baixa condutividade térmica e a degradação das macromoléculas requer alta quantidade de energia. A pirólise de polímeros tem sido estudada em vasos de fundição, alto forno, autoclaves, tubos reatores, forno rotatório, reator de leito fluidizado, etc. (SPINACÉ e DI PAOLI, 2005; MASTELLONE et al., 2002; BOCKHORN et al. 1999; WILLIAMS e WILLIAMS, 1999; KAMINSKY et al, 2000, DE MARCO et al., 2002 e KAMINSKY et al., 2001).

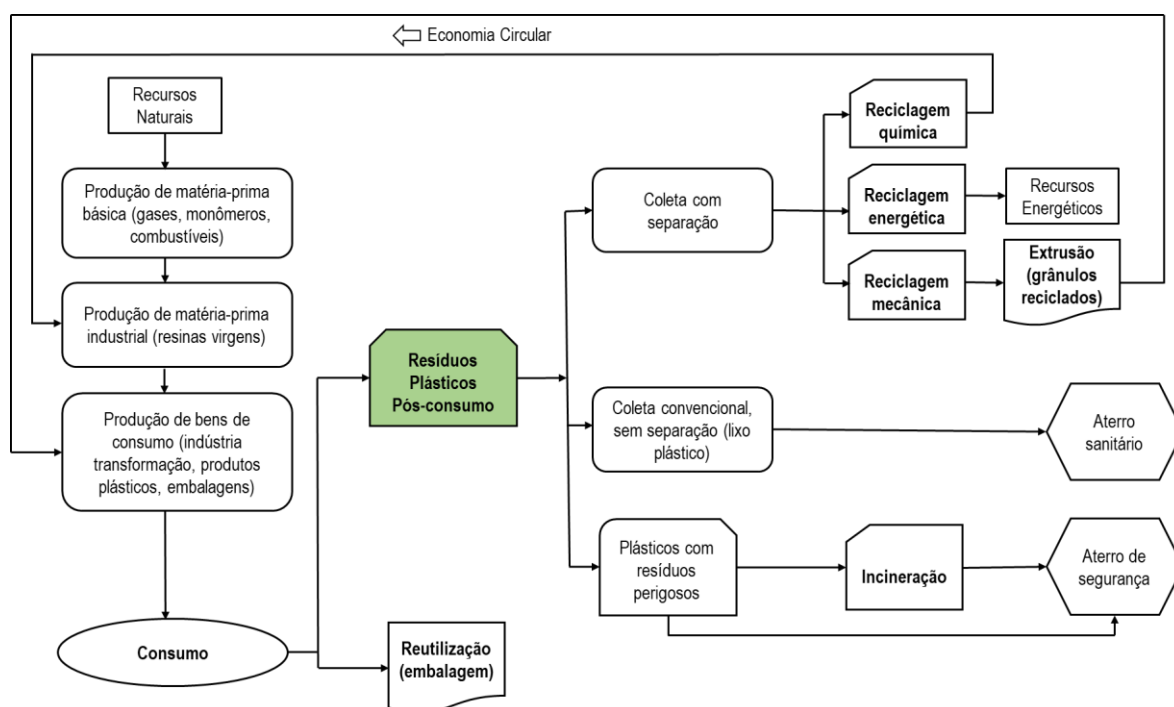
Os plásticos de embalagem incluem PE e PP, com quantidades menores de PS, PET e PVC, que representam um alto potencial de tratamento por pirólise. Aproximadamente 63% em peso de resíduos de plástico provêm de embalagem são cerca de 14,5 milhões de toneladas por ano na Europa Ocidental (ADRADOS et al., 2012).

A gaseificação (BRANDRUP et al., 1996) também é um processo térmico, onde é inserido oxigênio insuficiente para que ocorra a combustão completa, ocorrendo simultaneamente a pirólise e a combustão incompleta no interior do leito. Neste processo, que ocorre na presença de oxigênio e vapor d'água em temperaturas entre 1200°C e 1500°C, são recuperados CO e H<sub>2</sub> e pequenas quantidades de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e alguns gases inertes. O processo de gaseificação de rejeitos de pneus em leito fluidizado, estudado por GOULART et al (1999), apresenta subprodutos do processo que são de interesse da indústria, tanto como insumos de processos produtivos (negro de fumo) como energético (voláteis e óleo obtido a partir da condensação dos vapores da gaseificação) (SPINACÉ e DI PAOLI, 2005).

Na hidrogenação a quebra das cadeias poliméricas é inicialmente feita termicamente, resultando em radicais livres altamente reativos, os quais são posteriormente saturados com hidrogênio, obtendo-se hidrocarbonetos leves como metano, etano, propano e mistura de hidrocarbonetos na faixa de gasolina e diesel (BRANDRUP et al., 1996). A hidrogenação ocorre em temperaturas entre 440 a 480°C e pressão de 15 a 25 GPa (BRAUN et al., 2002).

A Figura 20 resume o ciclo da cadeia do plástico, destacando os caminhos tecnológicos para a reciclagem do plástico pós-consumo. Parte deste material é recuperado e reciclado, porém, caso seja coletado pelo sistema tradicional, há a mistura com os resíduos domésticos e outros contaminantes, e este é normalmente destinado ao aterro sanitário.

**Figura 20 – Representação esquemática do ciclo da cadeia dos plásticos pós-consumo**



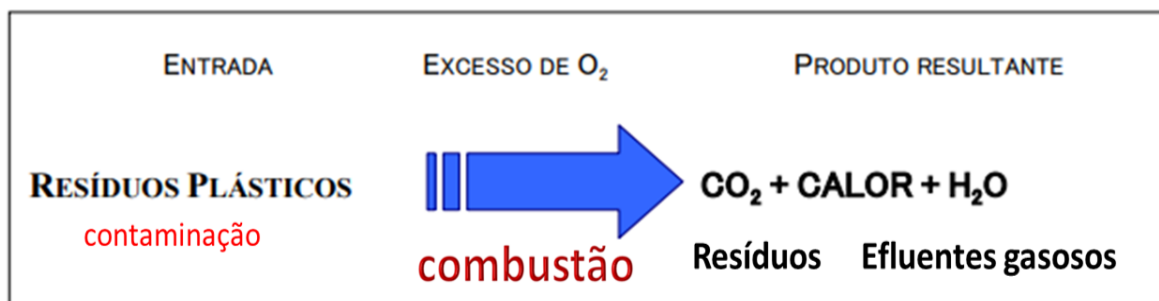
**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de Zanin e Mancini, 2015

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 (CORRÊA, 2012).

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 termoquímico 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. O processo da reciclagem energética representa a “perda” da matéria prima, pois a massa de plásticos é utilizada na combustão como combustível, sendo transformada, portanto, em energia térmica e subproduto, retirando-a do meio ambiente, como mostrado na Figura 21 (CORRÊA, 2012).

**Figura 21** - Esquema do processo termoquímico da reciclagem energética



**Fonte:** CORRÊA, 2012

A energia produzida na reciclagem energética é cerca de dezenove vezes maior que a energia necessária para reciclagem com aproveitamento da matéria, e, ainda, estima-se que 1,0 Kg de polietileno pode gerar uma energia de 12 KWh de acordo com Corrêa (2012).

Algumas vantagens do processo de reciclagem energética pode se citar: os mais diferentes tipos de plásticos podem estar misturados e podem ser introduzidos juntos na câmara de combustão, baixo custo do combustível – resíduos plásticos – que podem ser adquiridos nas usinas de triagem de resíduos urbanos quanto da indústria do plástico, reuso de materiais provenientes de recursos naturais esgotáveis, que, neste caso, representa uma otimização de seu uso, a capacidade calorífica do plástico, derivada do petróleo é relativamente alta, aumento da volumetria útil dos aterros sanitários em virtude desvio dos plásticos dos aterro, flexibilidade de localização da usina de geração de energia elétrica, característica própria das termelétricas, ausência de resíduos plásticos, e, redução do custo de transmissão de energia, considerando a flexibilidade de localização (ZANIN e MANCINI, 2015 e CORRÊA, 2012).

Como desvantagens do processo de reciclagem energética pode se citar: A reciclagem energética “elimina” o plástico, por transformação da matéria, impossibilitando seu retorno como peça reciclada, sistema antipoluição atmosférica tem custo extremamente elevado tanto quanto mais eficiente ele for, necessidade de grandes quantidades de resíduos plásticos para evitar o desligamento dos incineradores e a custosa necessidade de ligá-lo posteriormente e o custo de preparação dos resíduos plásticos, a qual envolve as atividades de moagem, lavagem e secagem (ZANIN e MANCINI, 2015 e CORRÊA, 2012).

#### IV. METODOLOGIA

Em preparação para a abordagem da questão principal, que é a identificação dos desafios para a reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil e de identificação de potenciais soluções, colocou-se como foco da revisão bibliográfica sobre a cadeia da embalagem, desde o motivo da sua existência e função, passando por todas as etapas do seu ciclo de vida, até chegar a condição de material pós-consumo e respectivas implicações.

##### Revisão bibliográfica

Definiu-se as fases do ciclo de vida de embalagens de bens de consumo e, para cada uma destas fases, foram levantados descrições, explicações, dados e informações através de pesquisa bibliográfica feitas para os temas de: sociedade urbanizada, sociedade de consumo, embalagens para bens de consumo, materiais de embalagem, embalagens para alimentos, embalagens plásticas flexíveis, resíduos sólidos urbanos, economia circular, logística reversa, coleta seletiva, plásticos nos resíduos sólidos urbanos e reciclagem de plásticos.

Definições referentes aos temas como polímeros, embalagens para alimentos e reciclagem de plástico foram extraídos de consultas a livros referências de cada tema como, respectivamente, Canevarolo Jr. (2010), Jorge (2013) e Zanin & Mancini (2015).

Dados e estatísticas em relação ao censo demográfico, volume produzido, volume descartado, % de coleta seletiva, tendências etc... foram obtidos através de consultas à “sites” ou relatórios publicados pelo IBGE, CEMPRE ou por “sites” de associações de classe como Abiplast, ABRE e ABRELPE. Detalhes da PNRS foram obtidos do “site” do Ministério do Meio Ambiente – Governo Federal.

Outras informações e descrições foram obtidas em “sites” de busca de conteúdo na internet como Google, Google acadêmico e Scopus, em pesquisa por temas como sociedade urbanizada, sociedade de consumo, embalagens de bens de consumo, embalagens para alimentos, materiais de embalagem, embalagens plásticas, embalagens plásticas flexíveis, reciclagem de embalagem, simbologia para identificação de material de embalagem, logística reversa, coleta seletiva,

composição dos resíduos sólidos urbanos, plásticos nos resíduos sólidos urbanos, reciclagem de plásticos e economia circular. As duas últimas bases de dados foram utilizadas para verificar os avanços e tendências científicas dentro de cada tema, em especial a respeito de tecnologias de reciclagem mecânica e química de plásticos flexíveis multi-materiais.

Lona plástica, para uso principalmente na agricultura, está fora do escopo deste trabalho

## Resultados

O desenvolvimento do trabalho e das pesquisas para identificação das dificuldades, desafios e potenciais soluções para a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil, baseou-se no roteiro presente no Apêndice I, que lista perguntas e questionamentos, que nortearam as pesquisas, buscas, visitas e entrevistas, compondo os resultados fruto deste trabalho.

### Dificuldades e desafios para reciclagem

Foram realizadas visitas na Central de Reciclagem da Zona Oeste de Sorocaba (SP) e no Aterro Sanitário da Veólia em Iperó (SP) para conhecimento das condições em que as embalagens pós consumo chegam a estes locais após coleta de resíduos urbanos regular e coleta seletiva na cidade de Sorocaba. Nestas visitas, informações foram coletadas através de entrevista semiestruturada aos representantes de tais entidades, seguindo o roteiro constante nos apêndices II e III, com registro de imagens da Central de Reciclagem.

O autor participou de reuniões, fóruns, atividades de comitês no Grupo Técnico -Flexíveis do CEMPRE, no comitê de Embalagem e Sustentabilidade da ABRE e nas reuniões da Rede de Cooperação para o plástico cujo foco destes estava na busca de soluções tecnológicas viáveis para fomentar a reciclagem de embalagens plásticas flexíveis. Nestas reuniões foi possível capturar as dificuldades relatadas, identificar iniciativas e debater propostas colocadas por diferentes agentes da cadeia da reciclagem no Brasil, tais como Abiplast, ABIEF, Braskem, Vitopel, Polo Films, Amcor Flexibles, TriCiclos, Boomera, Val Group, Epema, Deinker, Ecological, Neuplast, Plastimil, Plastivida, Cimflex, Reciclapac, Wise, Cetrel, YouGreen além de representantes de grandes empresas da área de

bens de consumo (Nestlé, Unilever, Coca-Cola, Pepsico, Danone, Mondeléz, Natura, Ambev, L'Óreal, entre outras).

Baseado em informações obtidas durante a participação em tais reuniões, foi possível identificar tópicos, iniciativas e soluções que nortearam o processo de pesquisa, visitas e entrevistas, cujas informações coletadas foram reportadas no conteúdo apresentado como resultado deste trabalho.

Os contatos realizados nestas reuniões proporcionaram visitas e entrevistas às recicladoras de materiais plásticos (reciclagem mecânica) Plastimil (Vinhedo – SP) e Ecological (Cerqueira Cesar – SP) onde foi possível anotar relatos de dificuldades, desafios e avanços tecnológicos. Neste mesmo tema, também foi visitada a recicladora FOX Reciclagem (Sorocaba – SP). Nestas visitas foram feitas entrevistas semiestruturadas com o representante das empresas, seguindo o roteiro constante no apêndice IV.

Das entrevistas aos recicladores, foram escolhidos temas que nortearam pesquisas na plataforma Scopus, no Google Acadêmico, no banco de teses e dissertações da Unesp e em sites de associações e entidades de classes. Nestes, artigos técnicos, relatórios e publicações foram identificados e um resumo das informações mais importantes e relevantes para o tema deste trabalho foram reportados nos resultados.

Nas reuniões do GT – Flexíveis do Cempre e da Rede de Cooperação para o plástico, identificou-se empresas investindo em outra solução para a reciclagem de plástico pós consumo, no caso as empresas Braskem/Cetrel e Val Group com a alternativa da reciclagem química. Ambas empresas foram contatadas e entrevistadas (Braskem/Cetrel por telefone). Os roteiros das entrevistas encontram-se no anexo V. Neste mesmo tema, houve a participação em apresentação de empresas “*start-up's*” do setor de energia, com propostas de utilização da reciclagem química de resíduos plásticos para geração de energia (Wise, ZEG Environmental, EKT Global e Valora).

Lista com as principais reuniões, visitas e entrevistas realizadas entre 2017 e 2020, num total de 27, encontra-se no apêndice VI.



Durante as entrevistas e reuniões procurou-se também utilizar a técnica de “bola de neve” (*“snowball sampling”*) (BAILEY, 1987) para contato com outras entidades ou pessoas chaves nas entidades e empresas ligadas ao segmento de reciclagem de plásticos, que porventura ainda não tivessem sido identificadas anteriormente, mas foram mencionados pelos entrevistados e interlocutores. A realização das entrevistas em campo contribuiu também para a observação direta sobre o tema registrado em imagens e relatos do trabalho em campo.

Na busca da última fronteira em relação à novas tecnologias e iniciativas em discussão no mercado para reciclagem de plástico, houve a participação no evento Recy-Plastech – Seminário Internacional sobre novas tecnologias para reciclagem do plástico, realizado na cidade de São Paulo (Brasil), no dia 04 de setembro de 2019. O evento contou com a participação de especialistas do segmento e que contribuíram com informações, experiências e conteúdo nos debates após cada apresentação, de temas importantes como:

- Criando valor para os plásticos reciclados
- Aditivos para solucionar e facilitar o processamento, acoplamento e reciclagem de materiais
- Coleta - Gestão de Resíduos
- Grandes geradores e cooperativas - Gestão integrada de resíduos
- Novas tecnologias para limpeza/descontaminação/separação e seus desafios
- Tecnologia para remoção de tinta das embalagens
- Comercialização - Políticas públicas - incentivos fiscais

Para realização deste trabalho, no total, 90 profissionais foram contatados.

Para a promoção da reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, o consumidor tem um papel importante no processo. Para entendimento dos hábitos e atitudes deste em relação à este tipo de embalagem após o consumo do produto, foi realizada uma pesquisa através da plataforma SurveyMonkey®. O questionário foi aplicado entre 04 e 31/12/2019, com resposta na forma de múltiplas escolhas e encontra-se no apêndice VII. A aplicação da mesma foi realizada através de divulgação em redes de relacionamento na internet, com respostas espontâneas, não tendo esta sido estruturada baseada em classes sócio-

economicas, idade, localização geográfica, etc. O resultados foram obtidos de forma confidencial, e consolidados em relatório apresentando percentualmente o índice de respondentes para cada situação colocada. No total, foram registrados 441 respondentes. O relatório com os resultados consolidados, foi extraído do sistema e encontra-se no apêndice VIII.

## V. RESULTADOS

O esforço da indústria brasileira e mundial de reciclagem de plásticos tem sido contínuo na busca de soluções viáveis economicamente para melhorar a qualidade e valor de mercado da resina reciclada, e na ampliação das oportunidades de aplicação em produtos mais sofisticados, com maiores requerimentos técnicos e por consequência maior valor agregado. De acordo com dados da PNRS, apesar de 30% de todo o lixo produzido no Brasil ter potencial de reciclagem, a estimativa é de que 1,7% de fato é reaproveitado (BRASIL, 2019b). Esses números revelam que há um grande desperdício tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico e social, uma vez que a reciclagem é uma fonte de renda para milhares de famílias (FRAGMAQ, 2018).

Conforme abordado na revisão bibliográfica, a PNRS, promulgada em 2010 resultou num incremento do volume de material oriundo da coleta seletiva e que este deverá continuar crescendo. Seguindo este raciocínio, as embalagens plásticas flexíveis pós-consumo estarão cada vez mais disponíveis, e a identificação de soluções tecnológicas para o tratamento ou destinação adequadas para elas se faz cada vez mais urgente e necessária. A PNRS também preconiza a redução da destinação de materiais potencialmente recicláveis em aterros sanitários. A forma sugerida para atingir esses objetivos foi a política dos 3 R's: reduzir, reutilizar e reciclar. Dentro deste contexto, os esforços para a prevenção de resíduo são importantes, que ocorrem quando há a não-geração, a redução na quantidade gerada e a melhora da qualidade do resíduo gerado, neste caso, proporcionando maiores possibilidades de uma posterior reciclagem ou outras formas de recuperação de materiais ou do próprio resíduo (MANCINI, 2019). No caso dos plásticos, reciclagem das diferentes formas: mecânica, química e energética (BRASIL, 2010).

Essas iniciativas, além de contribuir para não esgotar a capacidade dos aterros sanitários, contribuem para preservar os recursos naturais (energia elétrica, insumos primários, etc.), reduzir o consumo de energia, educar e conscientizar ambientalmente a população (SANTOS, 2004).

O volume descartado de embalagens plásticas pós-consumo no ambiente sem destinação racional tem preocupado a sociedade quanto ao ajuste, implementação e adequabilidade de intervenções, notadamente sob os aspectos

social, econômico e sanitário ambiental, ponderado o seu excelente desempenho e vantagens como embalagens de alimentos. (FORLIN e FARIA, 2002).

Várias ações já têm sido realizadas pelas empresas de bens de consumo com foco nos 3 R's. Algumas destas ações relacionadas às embalagens plásticas flexíveis, capturadas nas reuniões do Compromisso Empresarial para Reciclagem de Embalagens - CEMPRE (Grupo Técnico Flexíveis), Associação Brasileira de Embalagens - ABRE (Comité de Meio Ambiente), Núcleo para Cooperação do Plástico, Tecnoval, Vitopel e Amcor, encontram-se listadas na Tabela 14.

**Tabela 14** - Ações desenvolvidas por empresas brasileiras ligadas ao setor das embalagens plásticas flexíveis visando redução do impacto ambiental e aumento do índice de reciclagem

<b>REDUZIR</b>	A própria embalagem plástica flexível em si pode ser considerada uma ação para redução de consumo de material, quando substitui outros materiais em potes, frascos e garrafas de vidro, plástico rígido, alumínio e lata metálica. Trata-se de uma otimização do consumo de material de embalagem por peso de produto embalado. Exemplos: substituição de pote de vidro de maionese, lata de molho de tomate, lata de achocolatado, vidro de papinha de bebê e caixa de cartão de sabão em pó. Esses itens são encontrados na versão em embalagem plástica flexível.
	Otimização dimensional das embalagens, com as dimensões justas para o acondicionamento do produto, reduzindo espaço livre interno (minimização do "head-space"). Exemplo: café torrado, que são embaladas à vácuo.
	Redução da espessura dos filmes e das estruturas multicamadas, através da melhoria da barreira, principalmente à gases e à umidade, possibilitando o uso de filmes mais finos ou mono-camada com barreira até superior. Exemplo através da metalização ou deposição de camadas de AlOx ou SiOx sobre filme de BOPP.
	Simplificação da embalagem e redução de componentes. Exemplo: para cereais matinais, substituição da tradicional embalagem tipo "bag-in-box", que considera o produto embalado em um saco plástico e acondicionado em um cartucho de cartão, por simplesmente o acondicionamento em embalagem plástica flexível com impressão.
<b>RE-UTILIZAR</b>	Dentro do conceito de re-utilizar, a embalagem plástica flexível tem sido utilizada como refil, para reutilização dos potes e frascos originais, evitando o seu descarte após uso único. Exemplos: pote de vidro de café solúvel; frascos de amaciante de roupas, sabonete líquido, cremes corporais; latas e pote plástico de achocolato em pó e leite em pó. O pote de sorvete é outro exemplo de reutilização de embalagem após o consumo, prolongando a sua vida útil, armazenando outros alimentos ou objetos após o consumo do produto.
<b>RECICLAR</b>	Estruturas mono-material
	Estruturas multicamadas laminadas por co-extrusão, eliminando adesivo de laminação, o que facilita a separação e a reciclagem

Impressão externa, para facilitar a remoção da tinta de impressão
Redução da área de impressão
Rotulagem ambiental - identificação clara do material e orientações para separação e reciclagem
Fomento e incentivo às cooperativas de coleta de resíduos recicláveis, pós-consumo. Exemplos são ações através do CEMPRE em treinamentos para identificação e separação de materiais, orientação sobre boas práticas de manufatura, com o principal foco na segurança e doação de equipamentos como balanças, prensas e enfardadeiras.
Fomento à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias de materiais, impressão, laminação e reciclagem que promovam o aumento do índice de reciclagem das embalagens pós-consumo. Exemplo: tecnologia para compatibilização de materiais para produção de “madeira plástica”, placas e telhas a partir de material pós-consumo, utilização da tecnologia de plasma para separação do filme de PEAD do alumínio no caso das embalagens cartonadas assépticas.

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

### V.1. Plásticos nos resíduos sólidos urbanos

De acordo com a pesquisa CICLOSOFT 2018 (CEMPRE, 2018), que apresenta o detalhamento da coleta seletiva no Brasil (que se resume à fração seca), 17% representa a participação do plástico na composição gravimétrica. Este relatório não apresenta a separação entre plástico rígido e plástico flexível.

Considerando-se a estimativa de volume total coletado de RSU de 62,78 milhões de toneladas (Tabela 4), e o participação de 13,5% de plásticos neste volume (Figura 9), obtém-se um volume estimado de plástico nos RSU em 2018 foi de 8,5 milhões de toneladas. Globalmente um total ao redor de 150 milhões de toneladas de plásticos pós-consumo são gerados anualmente (Singh et al., 2017).

Levantamento da composição gravimétrica dos resíduos coletados pela Cooperativas da Zona Oeste de Sorocaba (Mantovani, 2013), as embalagens plásticas flexíveis representavam no total 5,3% do material triado.

A Tabela 9 apresenta uma estimativa da massa total de resíduos recicláveis secos para o Brasil, resultando em 1,1 milhão de toneladas recuperadas de resíduos domiciliares e públicos “potencialmente” coletados em 2018. Considerando-se como uma referência, o percentual de 5,3% referente às embalagens plásticas flexíveis presentes nos resíduos provenientes da coleta

seletiva, obtém-se um volume estimado de 58,3 mil toneladas de embalagens plásticas flexíveis potencialmente coletadas no Brasil em 2018.

## **V.2. Aspectos, dados e condições relacionadas com a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis no Brasil**

### **V.2.1. Comportamento do consumidor**

Conforme pesquisa Monkey Survey, sobre reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, realizado no período entre 06 a 31/12/2019, com 441 consumidores-repondentes, 26,44% opinam que este tipo de embalagem não é reciclado no Brasil e no total, 40,96% responderam que as descartam em lixo comum. Baseado nestes dados, o consumidor, por falta de consciência ecológica ou por desconhecimento, acaba destinando este tipo de embalagem no lixo comum, indo parar nos aterros. Outro fator que contribui com a decisão do consumidor em descartar uma embalagem flexível pós-consumo em um lixo comum, é a presença de sujidade ou restos de alimentos na embalagem.

Dos respondentes da pesquisa, 20,96% declararam que a região onde residem não conta com coleta seletiva de materiais para reciclagem. Mesmo com a disponibilidade da coleta coletiva, não é incomum o serviço de coleta se negar a levar embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, alegando que o mesmo não pode ser reciclado, ou por que não há valor comercial para este tipo material, que se coletado, o mesmo será destinado ao aterro após a separação na etapa de separação nos centros de triagem.

Ainda 13,33% declaram não ter nenhum conhecimento sobre reciclagem de embalagem pós-consumo.

### **V.2.2. Coleta Seletiva no Brasil**

De acordo com o estudo Ciclossoft 2018 do CEMPRE, apenas 22% dos municípios brasileiros contavam com algum tipo de coleta seletiva e a maioria concentrada nas regiões Sul e Sudeste. Na pesquisa Survey Monkey, somente 21% dos respondentes reportaram que não contavam com coleta seletiva de materiais recicláveis na região em que residem, na sua grande maioria no estado de São Paulo, o que está alinhado com o estudo Ciclossoft 2018, que reporta a

região Sudeste com a maior incidência de municípios com coleta seletiva no Brasil (45% - Figura 8).

Pelo SNIS-RS-2018, a estimativa é de que 1,05 milhão de toneladas de resíduos materiais foram recebidos nas unidades de triagem no Brasil em 2018. Se considerarmos a participação de 5,3% de embalagens plásticas flexíveis (Mantovani, 2013) nos resíduos recebidos nos centros de triagem, resulta em 55,65 mil tons de embalagens plásticas flexíveis recebidas nos centros de triagem. Dados MaxiQuim (2018), dão conta que 1.906 mil tons de embalagens plásticas flexíveis foram produzidas no Brasil em 2017. Aplicando o mesmo percentual de crescimento da produção de embalagem plástica flexível que foi de +4% de 2016 para 2017, a estimativa é de que o volume de embalagens plásticas flexíveis produzidas no Brasil em 2018 seria de 1.982 mil toneladas. Baseado nestes números, obtém-se uma estimativa de que 2,81% do total de embalagens plásticas flexíveis produzidas, foram coletadas seletivamente aos centros de triagem em 2018.

Em muitos dos casos, o material se encontra com uma alta carga de sujidade, impactando negativamente no interesse e no valor comercial deste material para reciclagem. Outro fator considerado desfavorável, na logística reversa dos resíduos de embalagem plástica flexível é a sua baixa densidade relativa, o material ocupa muito volume com pouco peso, consumindo muito da ocupação dos veículos utilizados na coleta.

As sacolas plásticas, muito utilizadas em supermercados, e outras embalagens plásticas flexíveis mono-material, podem ser recicladas de forma a se obter um material de reciclagem de alta qualidade, adequado inclusive para a aplicação original, caso o material recuperado esteja limpo e descontaminado, ainda que muitas são utilizadas para acondicionar lixo comum e acabam nos aterros.

A criação de taxas para embalagens não recicláveis é um dos meios de promover maiores índices de reciclagem. 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 (SANTOS, 2004).

Alguns exemplos no Brasil: Uma marca de cerveja desenvolveu em 2016 uma ação de reciclagem para os consumidores da bebida em São Paulo. Batizada

de Green Tuesday, a iniciativa concede descontos às terças-feiras aos clientes de uma rede de supermercado que apresentarem embalagens vazias, seja de latas e/ou long necks, de qualquer marca de cerveja. Em troca de 12 embalagens o consumidor recebe um bônus de 30% de desconto na compra de outras 12 unidades iguais (latas 350ml ou 12 long necks de 250ml/ 355ml) da marca da cerveja (EXAME, 2016). Outro exemplo foi realizado em 2018 por uma indústria cosmética que possui uma ampla rede de lojas, as quais foram preparadas para coleta de embalagens vazias de produtos da empresa, oferecendo em troca 20% de desconto na linha de perfumaria (CICLOVIVO, 2018). Mais um exemplo, uma rede de supermercados, instalou equipamentos batizados de “Retorna Machine” em 8 das suas lojas na região metropolitana de São Paulo, incentivando clientes a depositarem embalagens usadas nestas máquinas, em troca de incentivos como desconto na conta de luz, créditos no sistema de transporte pública da cidade, dentre outros serviços. Juntamente com uma empresa de bens de consumo, a cada embalagem de desodorante vazia depositada, o cliente recebia um cupom de 30% de desconto para a compra de uma nova unidade do produto (CARREFOUR, 2016).

### **V.2.3. A coleta de plásticos flexíveis para reciclagem em outros países**

#### **V.2.3.1. Estados Unidos**

Nos Estados Unidos há o sistema de coleta onde todos os resíduos são misturados indistintamente e há o tipo que considera dois fluxos, em que os moradores separam o papel, papelão, frascos de plástico e de metais e, em alguns lugares, também de vidros, dos outros materiais potencialmente recicláveis. Entretanto, filmes plásticos são raramente permitidos para serem descartados juntos com os resíduos de plásticos rígidos. Esta mesma abordagem tem sido adotada em outros países como Canadá, Austrália, Reino Unido, Irlanda e França (CIMPAN et al., 2015).

É bastante comum encontrar sistema de retorno de embalagem ao varejo o qual encoraja os consumidores a retornar embalagens pós-consumo e até sacolas plástica às lojas e aos supermercados. Nos Estados Unidos há em torno de 18 mil pontos de retornos, porém somente embalagens limpas e secas são aceitas (RSE USA, 2017).



Resíduos plásticos representam aproximadamente 13% dos resíduos sólidos municipais nos Estados Unidos (EPA, 2014).

Como exemplo, o programa Bag-2-Bag tem o objetivo de coletar sacolinhas plásticas de supermercado limpas e secas, embalagens plásticas de cereais matinais e sacos plásticos dos “*multipacks*” de papel higiênico, entre outros. Filmes coletados e outros envoltórios plásticos são limpos, processados e re-granulados para a produção de novos sacos plásticos para os supermercados. A Novolex proclama que o Bag-2-Bag® é o primeiro programa de reciclagem em circuito fechado dos Estados Unidos, onde o consumidor pode levar sacolas plásticas de varejo e outros envoltórios e filmes de volta à loja local para serem reciclados e transformados em sacolas novas. A Novolex processou ou comprou mais de 27 mil toneladas de filme plástico reciclado pós-consumo em 2018 e declara que seus sacos plásticos contém no mínimo 25% de material reciclado (NOVOLEX, 2019).

Nos Estados Unidos, aproximadamente 544 mil toneladas de filme pós-consumo foram recuperados em 2015 para reciclagem, incluindo aí sacolas plásticas e outros envoltórios. Destes, 71% dos filmes recuperados eram de PE transparentes de fontes comerciais (sacos plásticos, filmes envolvedores de paletes, etc) e 16% de embalagens pós-consumo (MOORE, 2019).

### **V.2.3.2. Comunidade Européia**

Na Comunidade Européia a coleta de resíduos para reciclagem difere em cada país membro. Há vários esquemas que podem agrupar em coleta porta-a-porta, devolução em pontos de entrega voluntária e também sistema de retorno ao varejo com bonificação. Alemanha e Áustria são considerados os países que possuem o conjunto mais abrangente para coleta das embalagens do tipo plástico flexíveis, mais leves. Porém, os pontos de entrega nas lojas do varejo para a coleta de embalagens flexíveis pós-consumo tem se tornado cada vez mais frequentes no Reino Unido. Além disso, em torno de 71 municípios do Reino Unido tem programa de coleta para este tipo de resíduo (AMEC and AXION, 2016).

Aproximadamente 100 bilhões de sacolas plásticas são consumidas todos os anos e somente 7% são recicladas (Davies, 2014). Tem sido feito esforços para reduzir o consumo deste tipo de resíduo, em especial sacolas de supermercado (EU, 2015). A meta estabelecida é o consumo máximo de 40 sacolas plásticas por ano por pessoa em 31/12/2025.

A Tabela 15 apresenta um resumo dos diferentes modelos de coleta nos países membros da comunidade europeia. Ela indica que somente existe estratégia específica para coleta de embalagens plásticas flexíveis na Itália e Reino Unido. Na Áustria, Holanda, Alemanha, França, Irlanda, Suécia, Espanha e Portugal há a coleta deste material junto com outros, geralmente plásticos. A informação na tabela representa a situação geral em cada país.

**Tabela 15:** Programas e sistemas de coleta de resíduos plásticos na Europa

Sistema de coleta	Condição dos resíduos	Países	Coleta de filmes e embalagens flexíveis
Porta-a-porta	Separado por material	Áustria, Holanda	Coleta de embalagens plásticas rígidas e flexíveis misturadas
		Dinamarca, Letônia	Não coleta
	Misturado Plástico e Metal	Belgica, Bulgária, Luxemburgo, Chipre	Não coleta
		Alemanha, Eslovênia, Hungria	Coleta quando está misturado com outros plásticos
		França Itália	Alguma coleta com materiais misturados Rígidos e flexíveis são coletados separadamente
Misturado todos materiais	Romênia, Malta, Reino Unido, Grécia	Não coleta	
	Irlanda	Coleta quando está misturado com outros materiais recicláveis	
"Container" para descarte de resíduos "bringing points"	Separado por material	Suécia	Coletado com mistura de outros plásticos
		Espanha, Portugal	Coletado com mistura de outros plásticos
	Mistura todos materiais	Letônia, Croácia, Polônia	Não coleta
Posto de reembolso por embalagem retornada		Holanda, Noruega, Suécia, Dinamarca, Alemanha, Lituânia, Croácia, Estônia, Finlândia e Islândia	
Sistema de devolução no varejo		Reino Unido	Filme plástico de PE coletado separadamente

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de HORODYTSKA, 2018.

Em 2017, a estimativa era de que mais de 50% dos plásticos presentes nos resíduos domésticos na Noruega e na Suécia eram de embalagens plásticas flexíveis, principalmente filme de PE (Mepex Consult AS, 2017).

#### V.2.4. Separação nos centros de triagem

O processo de triagem dos materiais oriundos da coleta de resíduos para reciclagem consiste na separação dos diferentes materiais, de acordo com as suas características físicas e químicas. Trata-se de um processo essencial no processo

de reciclagem, a partir do qual, com os materiais devidamente separados, é que se inicia o processo de reciclagem.

O processo de separação dos materiais pode se dar de forma automática, manual ou semi-automática ou uma mistura das duas.

A triagem manual é normalmente aplicada na separação de resíduos domésticos recolhidos por cooperativas de catadores e catadores autônomos. Demanda pouco investimento, porém apresenta baixa produtividade e a qualidade do material separado é altamente dependente do nível de capacitação da mão de obra. Tão difícil quanto obter essa qualidade é mantê-la, devido a alta rotatividade dos colaboradores.

A separação automatizada tem evoluído tecnicamente e tem a capacidade de processamento de um volume muito maior de resíduos, com maior agilidade e trabalho contínuo. Além disso, a separação dos materiais é geralmente realizada com maior rapidez, qualidade e confiabilidade, principalmente para materiais como plásticos rígidos, embalagens metálicas, embalagens de alumínio, papel, papelão, vidro e embalagens plásticas flexíveis. Há casos em que pode inclusive separar os materiais por cores, o que é mais importante para papéis e plásticos. Em contrapartida, exige maior investimento e área para implementação, sendo indicada para áreas onde há um alto e constante volume de materiais coletados para reciclagem.

O processo semi-automático se dá quando adicionalmente à separação automática, ainda há a necessidade de mão-de-obra para separação de alguns materiais específicos. Exemplo é a separação dos itens de plásticos nos diferentes tipos de plásticos com PET, PEAD, PP e PS.

As embalagens plásticas flexíveis apresentam uma grande dificuldade para distinção efetiva entre filmes monocamada e multicamadas e os diferentes materiais que os compõem. Dependendo do mercado, não há interesse na separação efetiva dos diferentes materiais que compõe a estrutura das embalagens plásticas flexíveis sendo estas rejeitadas do fluxo de resíduos para reciclagem mecânica e enviadas para recuperação de energia ou aterro (RSE EUA, 2017).

### V.3. Reciclagem de resíduo plástico pós-consumo

Devido à ampla variação na composição e nas características dos filmes plásticos pós-consumo, várias são as opções de rotas para o seu tratamento e destinação das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo.

Os resíduos plásticos separados dos outros materiais e também por tipo de material polimérico, apresentam potencialidade para reciclagem mecânica.

Caso não haja condições para separação dos diferentes materiais poliméricos da mistura de plásticos, as alternativas seriam a reciclagem química ou da recuperação energética ou em último caso, dependendo do nível de contaminação com sujidade e mistura com outros materiais, a alternativa seria destiná-los ao aterro sanitário. A reciclagem mecânica de vários tipos de plásticos não é impossível, mas fica cada vez mais difícil quanto maior a disparidade química dos polímeros envolvidos. Por exemplo, com o emprego das técnicas adequadas, polietileno e polipropileno podem ser reciclados conjuntamente.

A Tabela 16 apresenta um resumo das destinações finais do plástico pós-consumo na Europa em 2008 e suas respectivas taxas, para as áreas que mais utilizam o plástico, quais sejam embalagens, agricultura e construção e demolição. É fato que a Diretiva Europeia para resíduos 2008 (2008/98/EC) para destinação final de resíduos não pode ser estritamente aplicada na gestão de todo tipo de resíduo plásticos devido à diversidade de materiais e contaminações. Entretanto, estudos de avaliação de ciclo de vida tem sido introduzidos na análise dos aspectos de impacto ambiental para os diferentes cenários para assegurar ações que tragam maior benefício.

**Tabela 16:** Taxa de destinações finais de plásticos pós-consumo na Europa em 2008 (Bio Intelligence Service, 2011), para as principais áreas de aplicação do plástico.

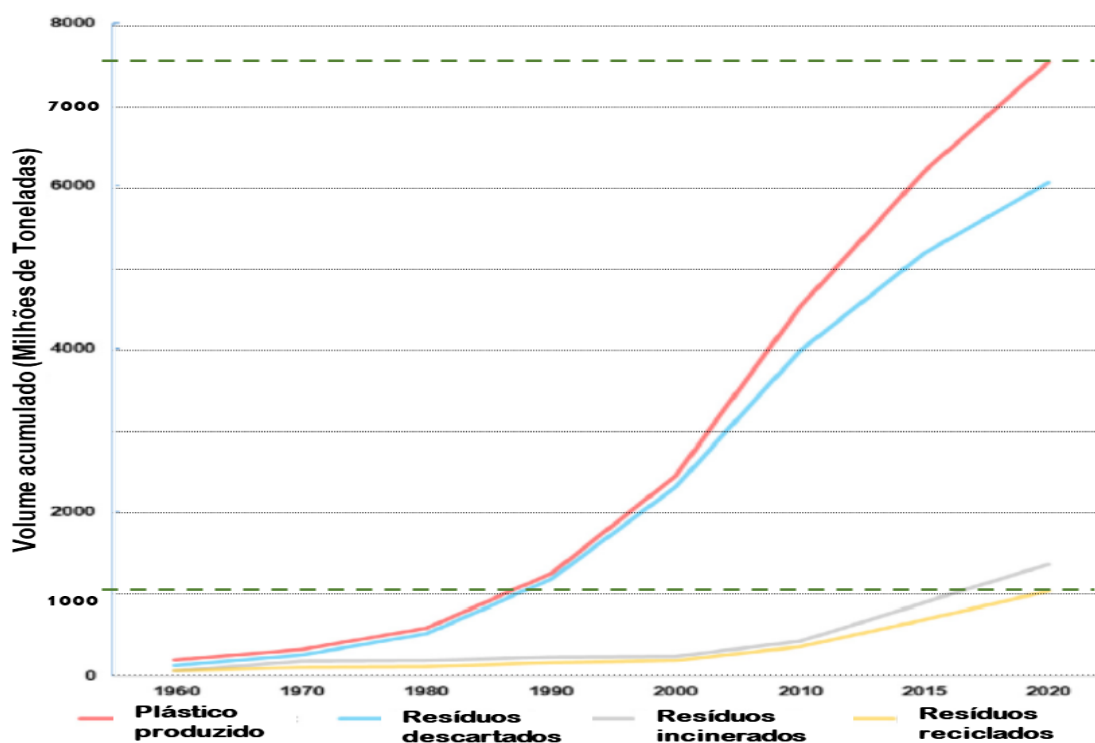
Setor	Disposição [%]	Reciclagem Mecânica [%]	Reciclagem Química [%]	Recuperação Energética [%]
<b>Embalagens</b>	41,8	28,5	0,5	29,2
<b>Agricultura</b>	53,5	21,1	0,5	25,3
<b>Construção Civil e Demolição</b>	49,1	15,9	0,0	35,0

**Fonte:** Adaptado de (HORODYTSKA, 2018)

Observa-se na Tabela 16 que para as embalagens plásticas, há quase 60% de recuperação, seja da energia (29,2%), seja do material (28,5%), seja dos insumos (0,5%). Entretanto, nota-se uma fração bastante significativa (41,8%) sendo aterrada, mas com percentual menor que nos outros setores, o que indica um sucesso maior da diretiva e das ações de fabricantes e consumidores para a reciclagem das embalagens.

A taxa média global de reciclagem de resíduos de plásticos é de apenas 18% e, em particular, as taxas de reciclagem na Europa, China e Estados Unidos são 30%, 25% e 9%, respectivamente (GEYER et al., 2017). A Figura 22 apresenta a evolução a partir dos anos 1960. O volume de plásticos reciclados passou a ter uma taxa maior a partir dos anos 2000, mas ainda representa um percentual muito baixo comparado com o volume produzido, estimado pelo gráfico em aproximadamente 13% em 2020. Os métodos atuais de recuperação de plásticos incluem reciclagem mecânica, reciclagem de solventes, pirólise e gaseificação (HAMAD et al., 2013; WANG e XU, 2014). Entre esses métodos, a reciclagem mecânica e a química (por exemplo, pirólise) são as mais amplamente praticadas (HAMAD et al., 2013).

**Figura 22** – Volume de produção e de reciclagem de plásticos - Global



Fonte: Adaptado de GEYER et al., 2017

### **V.3.1. Reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo**

A gestão dos resíduos plásticos urbanos, como foco na reciclagem ou correta destinação, tem sido avaliada em diversas pesquisas e estudos, porém o foco tem sido maior em relação aos plásticos rígidos. Uma pesquisa inicial no Google Acadêmico, para Reciclagem de Embalagens Plásticas Flexíveis pós-consumo, se obtém 10.600 resultados, enquanto que para Reciclagem de Plásticos, se obtém 748.000 resultados. 70 vezes mais referências de artigos. Pelo número, há bastante material publicado para reciclagem de embalagens plásticas flexíveis, porém, em uma análise detalhada, muitos dos artigos são genéricos para plásticos ou até não estão relacionados com o foco deste trabalho. Exemplo, reciclagem de poliuretano flexível.

No caso dos plásticos flexíveis, especificamente das embalagens pós-consumo, devido à sua menor espessura, baixa densidade relativa, nível de contaminação e dificuldade de separação dos diferentes materiais que as compõe (no caso das multicamadas), há uma série de problemas e dificuldades técnicas ao processo tradicional de reciclagem mecânica tornando este processo inviável economicamente em muitos casos. Embora haja um grande interesse no desenvolvimento de tecnologias economicamente viáveis, a quantidade de informações disponíveis, principalmente para aplicação em escala industrial, são poucas. A literatura científica aponta muitas tecnologias ainda em teste em fase de bancada. E muito do que está sendo desenvolvido pelas indústrias do setor, não são publicadas.

Não há dados precisos sobre a taxa de reciclagem específica para as embalagens plásticas flexíveis no Brasil, mas pelo baixo número de recicladores focados neste material e pela quantidade deste material separado dos resíduos sólidos urbanos nos centros de triagem, pode se inferir que esta taxa seja baixa. Os principais motivos vão desde o comportamento do consumidor que não destina o material pós-consumo de maneira correta para reciclagem (como exposto no item V.2.1), passando pelas condições de contaminação e mistura que o material chega aos centros de triagem, dificuldade na separação dos diferentes materiais plásticos e a baixa qualidade e valor do material reciclado. Todos estes temas são tratados em detalhes na sequência desta Dissertação.

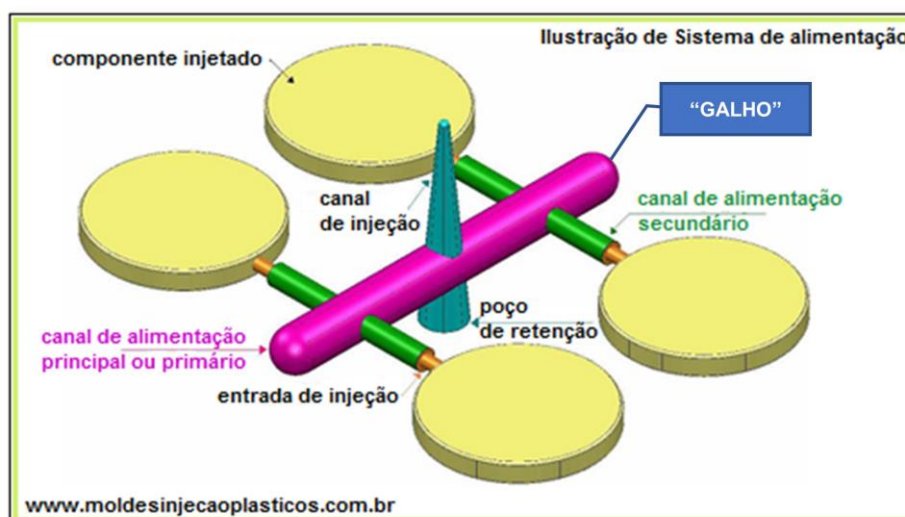
Uma das principais diferenças entre a reciclagem de filmes plásticos flexíveis comparado com a reciclagem de plásticos rígidos, é a densidade aparente, que no

caso do filme ela é bem mais baixa. Isto requer normalmente a etapa da aglutinação, durante a preparação do material para a extrusão, ou então adaptação do no equipamento de extrusão (SNYDER, 2016).

#### V.4. Reciclagem Mecânica de resíduos plásticos

A reciclagem de plástico foi desenvolvida em paralelo aos próprios processos de transformação. No caso da moldagem por injeção, os refugos do processo (peças fora da especificação e “galhos”) são moídos e reinjetados. Adicionalmente à viabilidade técnica, o que a torna amplamente utilizada essa reciclagem, é também a viabilidade econômica. A Figura 23 mostra os “galhos” que são formados nos moldes multicavidades de injeção tradicionais, e que, após a injeção, as peças são destacadas e os “galhos” formados nos canais de alimentação, são moídos e reinjetados. Há injetoras em que a parte do molde que daria origem ao galho é mantida aquecida e o plástico em seu interior fica fundido enquanto a(s) peça(s) resfria(m). Terminado o ciclo de resfriamento, as peças são retiradas, o molde se fecha e o plástico fundido dos canais é empurrado para as cavidades do molde para formar o novo ciclo de peças.

**Figura 23** – Peças plástica injetada – “galho”



**Fonte:** Moldes de Injeção de Plásticos, 2019

Várias são as dificuldades, os desafios e o aumento da complexidade no processo de reciclagem ao se variar as condições em que as embalagens plásticas pós-consumo se apresentam considerando-se: a embalagem plástica na forma de filme (flexível), heterogeneidade da composição de materiais, presença de sujidade, contaminação, estrutura multicamada/multi-materiais, tinta de impressão

e metalização. Cada uma destas variantes contribui com o aumento das dificuldades para obtenção de material de boa qualidade e em condições para reutilização baseado na economia circular.

#### **V.4.1. Reciclagem de resíduos de circuito fechado e de circuito aberto**

Resíduos pós-industriais são os originados como descarte dos processos de transformação industrial, e quando bem gerenciados, apresentam-se limpos e homogêneos. Dessa forma, podem ser reciclados através de reciclagem mecânica em circuito fechado (“*closed-loop*” – reciclagem primária) ou em circuito aberto (“*open-loop*” – reciclagem secundária), resultando produtos reciclados diferenciados pela boa qualidade e pelo alto potencial de aplicação (HORODYTSKA, 2018).

No circuito fechado, os resíduos internos provenientes de rejeitos do processo de produção industrial caracterizam-se pelo conhecimento e pela maior uniformidade das propriedades do material. Isso se dá também pela implementação de um sistema que garanta a não contaminação do material com sujeiras e impurezas a partir do momento que este é descartado do processo, normalmente por não cumprimento das especificações do produto acabado. Nestas condições é possível a reciclagem, de forma que o material reciclado tenha propriedades e características muito similares aos do material virgem, no caso de mono-material, e desta forma, na maioria das vezes, pode ser reutilizado no próprio processo que o originou (FORLIN e FARIA, 2002).

A reciclagem mecânica em circuito aberto, utiliza-se de material pós-consumo e/ou pós-industrial, porém no caso de pós-industrial o processamento do material é realizado por uma unidade recicladora externa. Do ponto de vista da reciclagem mecânica dos materiais plásticos flexíveis esta dissertação tem seu foco no processo em circuito aberto.

Também para efeito deste trabalho, para a reciclagem de embalagens plásticas flexíveis, será considerada como referência a aplicação de todas as tecnologias e práticas existentes para a reciclagem de plásticos rígidos. Isso porque as estruturas típicas das embalagens plásticas flexíveis são compostas em média por mais de 90% de polímeros (Tabela 3), com a peculiaridade de estarem na forma de filmes.



A qualidade do produto reciclado, em especial o oriundo de embalagens plásticas flexíveis pós consumo, é diretamente relacionada não só às condições em que este material se apresenta no início do processo de reciclagem mecânica, mas também da eficiência no processo de triagem, separação e descontaminação dos materiais (HORODYTSKA, 2018).

#### **V.4.2. Processo de triagem**

A etapa de triagem é importante, pois idealmente, para a obtenção de material reciclado de boa qualidade, é necessário limitar as impurezas de materiais a níveis inferiores a 1% m/m. A presença de macro-contaminantes, como vidro, papel, metal ou outros polímeros, mesmo em concentrações pequenas, pode alterar as propriedades do polímero reciclado (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

A rotulagem ambiental, com a identificação dos polímeros, é uma medida importante para facilitar a separação dos mesmos e pode ser utilizada por todos os ramos da indústria de reciclagem de polímeros (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

As diferentes situações em que se encontram os resíduos de filmes plásticos monocamada e em estrutura multicamadas endereçam diferentes necessidades de processo de tratamento e equipamentos, a fim de se maximizar a qualidade do material reciclado final e desta forma obter maiores benefícios ambientais e econômicos.

A incompatibilidade de natureza química de determinados polímeros que compõem os diferentes produtos plásticos representa um sério problema na reciclagem de embalagens plásticas, a parte de outros contaminantes (FORLIN e FARIA, 2002).

Uma das características do resíduo de embalagens plásticas flexíveis no circuito aberto, proveniente de descarte pós-consumo, é a ampla variação da sua composição de materiais, podendo inclusive apresentar mais de um material na mesma embalagem, laminados por adesivo ou por co-extrusão. Isso se alia às dificuldades do processo de triagem e separação das embalagens, além da provável presença de sujidades e contaminações, com restos de alimentos na maioria das vezes (FORLIN e FARIA, 2002).

Neste contexto, triar os diferentes tipos de materiais plásticos misturados ganha importância para melhorar o processo de extrusão na reciclagem e principalmente na qualidade e propriedades do material reciclado.

Filmes flexíveis oriundos de embalagens pós-consumo podem ser considerados um dos materiais mais desafiadores para a reciclagem, principalmente pela falta de uma tecnologia eficiente para separação dos materiais (HORODYTSKA, 2018).

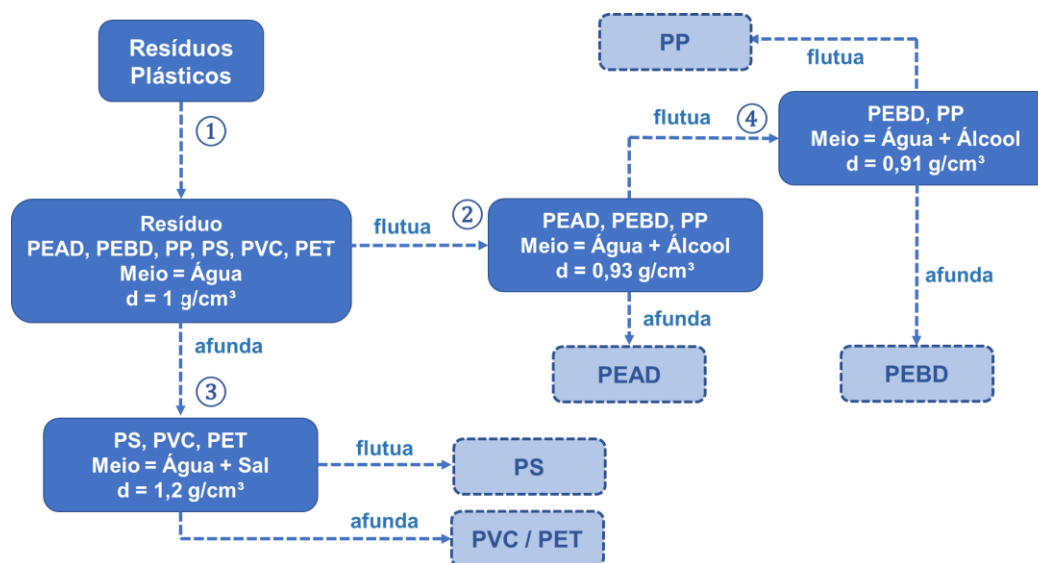
Muitas vezes, com uma simples análise visual ou mesmo tátil não é possível identificar os materiais ali presentes, tornando desta maneira um processo demorado e que requer alto nível de capacitação e experiência dos elementos responsáveis pela separação, ao menos para separar as estruturas mono-material.

No Brasil como a maioria das empresas de reciclagem é de pequeno porte e a mão-de-obra é relativamente barata, a separação é feita principalmente de forma manual.

A separação de resíduos poliméricos misturados pode ser realizada através da diferença de densidades dos diferentes materiais (VILHENA,1999), utilizando tanques com água e/ou diferentes soluções alcoólicas ou salinas. A Figura 24 apresenta um esquema da separação por densidade de uma mistura de polímeros mais comuns. Observa-se que, nesse caso, PS, PVC e PET possuem densidade superior que a da água e podem ser separados de materiais de menor densidade por soluções salinas. Já os PE's e o PP têm densidade menor que a da água e podem ser separados por soluções alcoólicas. No caso de mistura de flocos de embalagens plásticas flexíveis a separação é mais complicada, pelo fato de que a elevada área superficial faz com que a densidade dos flocos de materiais diferentes possa ser muito próxima. De acordo com o levantamento feito nas visitas à recicladores, este processo por diferença de densidade não é eficaz e não tem sido utilizado para separação de diferentes materiais de embalagens plásticas flexíveis, além disso, pelo custo operacional incremental com tanques adicionais, consumo de água e soluções química e, tratamento de efluentes.

A separação automatizada baseada na diferença de densidade, realizada em tanques de flotação ou hidrociclones, pode ser utilizada para o PE, o PP, o PS, e o PVC/PET (rígidos). Da mesma maneira que em tanques fixos, quando dois polímeros apresentam densidades próximas, este procedimento torna-se mais difícil. O material metálico eventualmente presente é retirado por separação eletromagnética (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005). Este processo também não é eficiente para separação de mistura de plásticos na forma de filmes flexíveis.

**Figura 24** - Esquema de separação de materiais plásticos por diferença de densidade



**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de Plastivida, 2020

Apesar de se ressaltar a importância da etapa de separação, é fato que também é possível reciclar uma mistura de polímeros. Há vários processos já desenvolvidos para a reciclagem de resíduos poliméricos misturados que admitem de 30% a 40% m/m de contaminação por polímero não fundido (polímero com alta temperatura de fusão,  $T_M > 300^\circ\text{C}$ , exemplo Teflon com  $T_M > 327^\circ\text{C}$ ) e outros tipos de materiais, como papel, madeira, vidro ou metal; os outros 60% m/m são geralmente constituídos de poliolefinas (as mais comuns são os polietilenos e o polipropileno) que possuem baixa temperatura de fusão (PEBD:  $115^\circ\text{C}$ , PEAD:  $137^\circ\text{C}$ , PP:  $175^\circ\text{C}$ ) e acabam encapsulando os contaminantes durante o processamento. (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005). Caso típico é do processo para fabricação de “madeira plástica”, cujo exemplo será apresentado mais adiante.

Fator agravante nas estruturas multicamadas, além da potencial presença de diferentes materiais na estrutura, como PE, PP, PET, PA e EVOH, em muitos casos, ocorre a presença de filme metalizado com uma película de alumínio. Nas estruturas laminadas por adesivo, ainda há a presença do próprio adesivo de laminação e na maioria dos casos, a tinta de impressão.

De forma geral, quanto menor o número de componentes poliméricos e a complexidade da estrutura da embalagem, maior a facilidade de reciclagem e mais valorizado tende a ficar o material reciclado. Isso é consequência da redução das etapas e recursos tecnológicos dispendidos no processo, como limpeza, separação

dos materiais que compõe a embalagem (delaminação, por exemplo), recuperação de coadjuvantes utilizados na limpeza (água e solventes) e a energia necessária para estas operações (FORLIN e FARIA, 2002). Por outro lado, produto resultante da reciclagem de resíduos plásticos com diferentes materiais misturados e com presença de contaminante, pioram as propriedades do plástico reciclado, tornando-o adequado apenas para aplicações menos exigentes – “*downcycling*” (sacos de lixo, tubulações, produtos para aplicações agrícolas etc.) (HORODYTSKA, 2018).

O PVC é considerado contaminante quando mistura com outros polímeros, principalmente poliolefínicos, para o processo de reciclagem, sendo imprescindível a sua separação. Caso contrário, a presença do PVC pode contaminar (contaminação cruzada) e arruinar toda a massa em processo de reciclagem. Algumas tecnologias alternativas têm sido desenvolvidas para detectar o cloro do PVC em um fluxo de resíduos para a reciclagem, como por exemplo por fluorescência de raios-X, a fim de separá-lo previamente (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Foi desenvolvido ainda um processo em larga escala para separar o PVC de outros polímeros através de dissolução seletiva sob pressão em metil-etil-cetona. Neste processo obtém-se o PVC limpo, que pode ser usado em novas formulações (VANDENHENDE e YERNAUX, 2006).

Além destes métodos de separação de polímeros também são utilizados a espectroscopia Raman associada à análise multivariada (KAWAZUMI et al, 2014) ou espectroscopia na região do infravermelho próximo, que identificam polímeros transparentes ou coloridos (GONDAL e SIDDIQUI, 2007).

Tecnologias e equipamentos instalados nas estações de triagem dependem das diferentes condições de recebimentos dos resíduos. Há dois principais tipos de estações de triagem. As que recebem todo os resíduos domésticos misturados, orgânicos e inorgânicos, e a partir daqui faz a separação e triagem de materiais. E as que recebem somente os resíduos potencialmente recicláveis e realizam a separação dos materiais, que pode ser realizada manualmente, automaticamente ou de ambas as formas. Cada instalação acaba tendo a sua particularidade devido a diversidade de estratégias de coleta de resíduos nos diferentes países e até em diferentes municípios. (HORODYTSKA, 2018).

No Brasil, a triagem dos materiais são feitas por cooperativas de catadores ou em centros de triagem e o materiais, vindos de coleta seletiva ou de catadores

autônomos já vem separado dos resíduos orgânicos domésticos. A figura 25, apresenta as condições em que o material chega à Central de Reciclagem da Zona Oeste de Sorocaba, onde é possível observar a mistura de diversos tipos de materiais como plásticos rígidos e flexíveis, latas, papelão ondulado, cartão, papel e vidro.

**Figura 25** – Mistura de materiais no recebimento na Central de Reciclagem da Zona Oeste de Sorocaba



**Fonte:** acervo do Autor.

Na triagem manual, a mistura de resíduos potencialmente recicláveis é descarregado em um esteira rolante, que possui colaboradores ao longo do seu percurso, cada um designado e treinado para retirar da esteira um determinado tipo de material, conforme ilustrado na Figura 26. Trata-se de processo de baixa produtividade, com capacidade limitada, e que pode comprometer a qualidade final do material recuperado, se o mesmo não for realizado por operadores competentes e bem treinados.

A recuperação de materiais, manual ou não, nas usinas de triagem é direcionada geralmente para metais, vidros, embalagens cartonadas assépticas, papel, papelão e plásticos como PEBD, PEAD, e PET (MONTEJO et al., 2013).

**Figura 26** – Separação manual de materiais para reciclagem

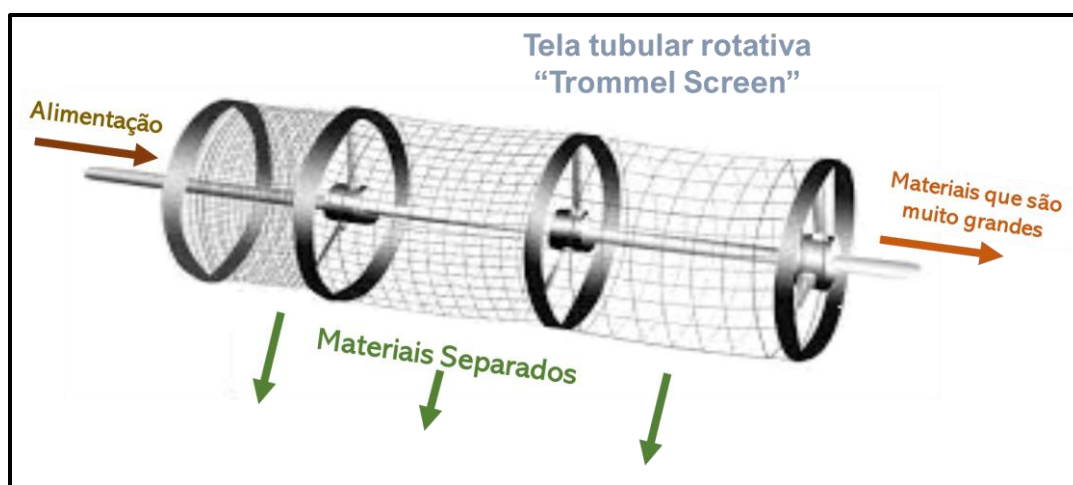


**Fonte:** COOPERARE, 2017

Para atendimento do volume de resíduos obtidos através da coleta seletiva, principalmente nas regiões metropolitanas, há a necessidade cada vez maior de automatização do sistema de triagem dos materiais. Algumas tecnologias ou dispositivos utilizados são: separação pneumática, “*trommel*”, separação magnética, espectrofotômetro, etc..

O “*trommel*” (Figura 27) é um dos equipamentos utilizados para separação dos resíduos por tamanho e sistemas magnéticos ou por corrente de Foucault estão sendo usados para remover metais ferrosos ou alumínio, respectivamente. (HORODYTSKA, 2018).

**Figura 27:** “*Trommel*” – Separação de resíduos por tamanho

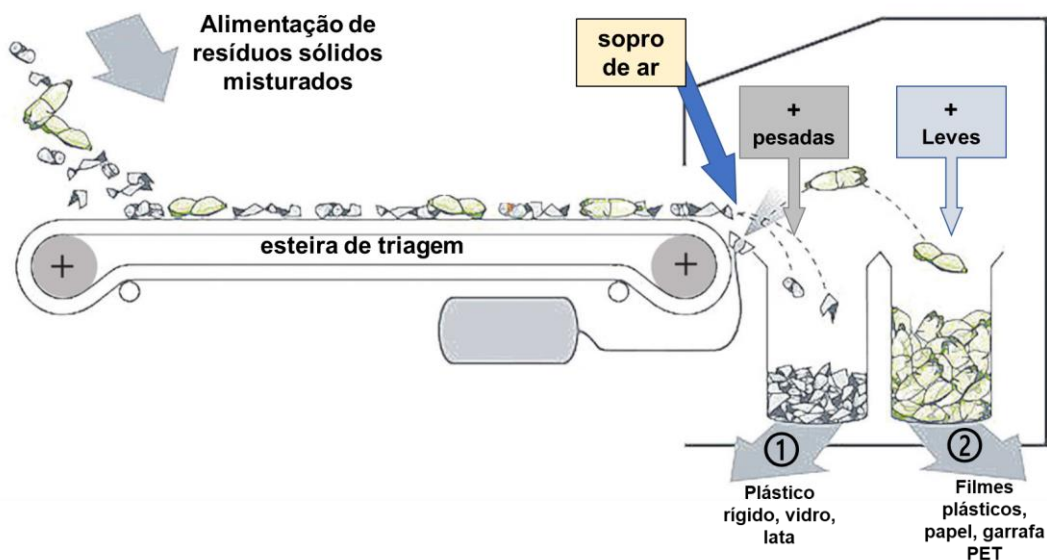


**Fonte:** Adaptação de Trommel Screen, 2019

Diferentes materiais adequados para reciclagem são segregados em vários fluxos. Geralmente, numa primeira etapa, filmes limpos, papelão e papel são separados (por exemplo, por um separador pneumático) e então, um separador magnético é usado para remover metais ferrosos.

A separação de filmes e as embalagens plásticas flexíveis (chamados de materiais bi-dimensionais) dos plásticos rígidos e outros resíduos mais pesados (tri-dimensionais) pode ser realizada através da utilização separação utilizando o conceito de balística. Os componentes pesados tri-dimensionais são coletados na parte inferior de uma tela inclinada enquanto que as partes bidimensionais mais leves são empurradas para a parte superior do separador. Uma tecnologia alternativa é um separador à ar (pneumático), onde os materiais mais leves são “expulsos” da esteira através de um sopro de ar e os mais pesados ficam na esteira transportadora. Os separadores balísticos e a ar têm a mesma limitação, qual seja não poderem distinguir entre diferentes materiais de baixo peso (exemplo papel e filme plástico, inclusive metalizado) (RSE USA, 2017). A figura 28 mostra um sistema de separador pneumático instalado ao final de um trecho de esteira, onde há um sopro de ar que altera o movimento de queda das embalagens mais leves, “expulsando” as para um recipiente em um segundo coletor.

**Figura 28** – Sistema de separação pneumática de resíduos para reciclagem.



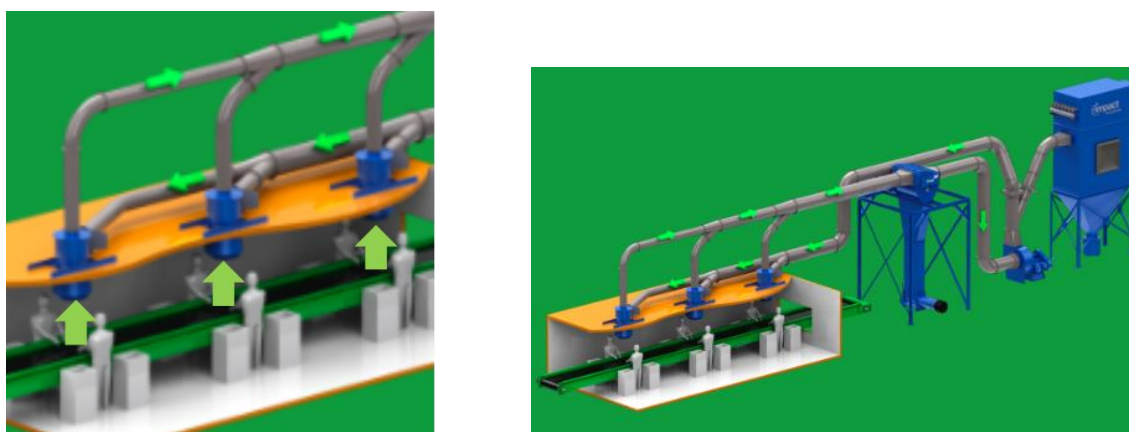
**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de PLÁSTICOS, 2015

Ainda para separação de embalagens plásticas flexíveis, há equipamentos que podem ser usados para abrir e esvaziá-los sacos plásticos (HAIG et al., 2012)



e sistemas de vácuo, instalados para coletar e transportar materias selecionados (Impact Air Systems, 2019). Este sistema, mostrado na Figura 29, é projetado para succionar filmes, sacos plásticos, rótulos e papeis, e o próprio sistema de coleta já pode transportar e compactar o material separado e armazená-los em fardos, economizando em prensa e área de estocagem. Este sistema pode ser instalado em conjunto com o separador pneumático de flexíveis, succionando os itens, assim que são “expulsos” pelo jato de ar.

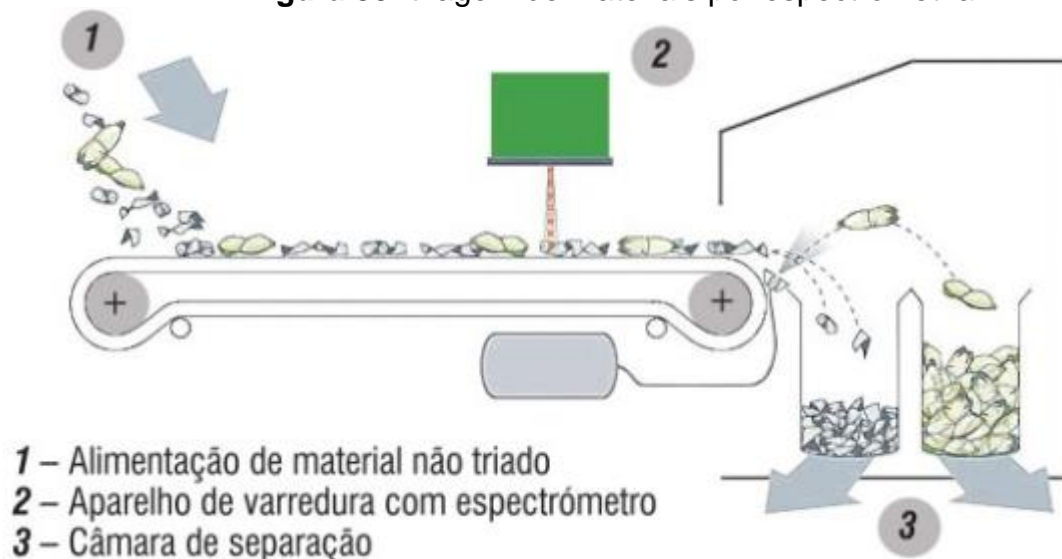
**Figura 29** – Sistema de coleta e transporte à vácuo de papéis e filmes plásticos, separados na esteira de triagem para reciclagem



**Fonte:** IMPACT AIR SYSTEM, 2017

O processo de separação automático pode ser auxiliado por um sistema de leitor ótico, que identifica itens de tamanho grande, tais como potes, garrafas e outros elementos de ampla superfícies, podendo até separar diferentes resinas plásticas e até cores dos resíduos por espectrometria. Os principais materiais de embalagem, tais como PET, PEAD, cartonado asséptico e misturas de plásticos podem ser triados separadores ópticos (HORODYTSKA, 2018). Na figura 30, na etapa ② é realizada a leitura espectrofotométrica dos resíduos misturados na esteira transportadora e, se identificado um material pré-determinado para separação, um sinal eletrônico é enviado para o sistema de ejeção pneumática e no momento adequado, um sopro de ar é acionado e o item identificado é ejetado pneumáticamente na etapa ③ para um recipiente específico.



**Figura 30:** triagem de materiais por espectrometria

**Fonte:** PLÁSTICO, 2015

Para completar estas duas tecnologias mencionadas o sistema de Infravermelho (IR) de detecção ótica pode ser instalado na sequência. Essa técnica é baseada no comprimento de onda refletido pelo material após os feixes de luz infravermelho incidirem na sua superfície, o que permite a identificação de materiais de composição bem parecida, como os PE's e PP, bem como suas misturas (McKinlay and Morrish, 2016).

Metais não magnéticos, exemplo tampas e latas de alumínio, são removidos através de separação por indução (ECOEMBES, 2016). Metais ferrosos são removidos por sistemas eletromagnéticos.

Na Espanha e outros países, onde todos os tipos de embalagens plásticas e metálicas são coletados juntos, a classificação é realizada nas conhecidas plantas de triagem de embalagens leves. O resíduo passa através de alguns estágios: recepção e estocagem, pré-tratamento, triagem de materiais e gestão de resíduos descartados. O pré-tratamento tem o objetivo de remover os materiais volumosos (por exemplo, filmes e cartão) que podem bloquear ou danificar a linha de triagem e separar as embalagens muito leves dos materiais pesados. Diferentes equipamentos são usados, como abridor de saco plástico, peneira rotativa e separador balístico. De qualquer maneira, a triagem manual ainda é comumente utilizada durante o processo (HORODYTSKA, 2018).

A Figura 31 mostra a segunda central mecanizada de triagem de resíduos sólidos da cidade de São Paulo (Brasil) inaugurada em 2014, com capacidade de

separar 250 toneladas de materiais recicláveis por dia. Com esta capacidade adicional, triplicou-se naquele momento a capacidade de triagem e separação da cidade, atingindo 7% dos resíduos gerados na cidade. Segundo a Secretaria Municipal de Serviços, das 10,5 mil toneladas de lixo produzidos na cidade, os orgânicos são 50% e cerca de 25% são resíduos secos com possibilidade de serem reciclados. As centrais de triagem têm capacidade de separar 13 tipos de resíduos recicláveis. Os materiais metálicos são separados por meio de magnetismo e eletricidade. Leitores óticos separam o material por tipo e cor. Na etapa final, há ainda uma separação manual (AKATU, 2014).

**Figura 31** – 2ª. Central mecanizada de triagem de material reciclável – Cidade de São Paulo (Brasil)



**Fonte:** AKATU, 2014

Nas cooperativas de reciclagem, as embalagens plásticas flexíveis multicamadas com filme metalizado, têm sido consideradas contaminantes pelos recicladores e são frequentemente retiradas das esteiras de triagem e depois são descartados em aterros sanitários, juntos com outros resíduos rejeitados para reciclagem (HORODYTSKA, 2018).

#### **V.4.3. Processo de moagem, lavagem, aglutinação e secagem das embalagens plásticas flexíveis para o processo de reciclagem mecânica**

A caracterização e a separação de contaminantes são ações imprescindíveis no processo de reciclagem. (FORLIN e FARIA, 2002). A Figura 32, mostra embalagens plásticas flexíveis, recebidas na recicladora Ecological (Cerqueira César – SP), para reciclagem. Neste caso, trata-se de um descarte pós-industrial.

**Figura 32** – Resíduos de embalagens plásticas flexíveis, pós-industrial, para reciclagem mecânica – Ecological Reciclagem (Cerqueira César – SP)



**Fonte:** Acervo do Autor

Dada a leveza do material, normalmente a área do moinho é protegida por tela para evitar a dispersão do material pelo ambiente, principalmente se for utilizado transporte pneumático para movimentação do material.

O processo de moagem, utilizando-se moinho de faca, se dá de maneira a reduzir o tamanho do material, e deve se ajustar ao processo de modo a obter o material moído (flocos) em tamanho o mais uniforme possível para que a fusão no processo de extrusão também ocorra uniformemente. A presença de pó proveniente da moagem é inconveniente, pois este funde antes e atrapalha o escoamento do material nos equipamentos de processo, além de estar mais susceptível à degradação térmica. A Figura 33 mostra material moído, com os flocos em tamanhos um tanto irregulares, porém com dimensões não menores a 5mm x 5mm – Ecological Reciclagem (Cerqueira Cesar – SP). Como se trata de um resíduo de processo industrial, este material (estrutura BOPP/Impressão/Adesivo/BOPP metalizado) foi moído diretamente, sem passar por nenhum tratamento ou preparação prévio. No caso, observa-se que o material é metalizado e está com impressão, além de ser laminado por adesivo. Todos estes componentes (metalização, adesivo de laminação e tinta de impressão) permanecerão integrados ao material reciclado mecanicamente.



**Figura 33** – Embalagens plásticas flexíveis após processo de moagem – Ecological Reciclagem (Cerqueira Cesar – SP).



**Fonte:** Acervo do Autor.

Uma das características das embalagens pós-consumo se dá pelo elevado nível de contaminação (orgânica e inorgânica), normalmente restos de alimentos, que impactam na eficiência do processo de reciclagem e principalmente na qualidade do material reciclado (FORLIN e FARIA, 2002).

Para eliminação da contaminação, o material moído é submetido ao processo de lavagem, para eliminar o excesso de impurezas e sujidades, normalmente em duas etapas, normalmente em tanques abertos, eixos rotativos transversais ao fluxo, contendo aletas, para movimentar o material moído, conforme Figura 34. Na primeira, um tanque contendo uma solução aquosa com detergente para eliminar principalmente restos de alimentos e outros contaminantes, e um segundo tanque com água para enxágue. Para processadores que trabalham com material pós-industrial, dependendo das condições em que o material se encontra, esta etapa de lavagem pode não ser necessária.

**Figura 34** – Tanque de lavagem de plásticos moído

**Fonte:** Plastimax, 2020

De acordo com os recicladores visitados, esta etapa da lavagem exige investimento em equipamentos para a lavagem e tratamento do efluente do processo, além do custo operacional e de licenças ambientais específicas, com exigência do tratamento dos efluentes. Estes custos são determinantes na viabilização econômica do processo de reciclagem do material pós-consumo. Atualmente, a necessidade deste investimento e custo operacional representa um dos fatores que tem restringido a ampliação de oferta de recicladores de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no mercado brasileiro.

Após lavagem, o material é submetido ao processo de secagem, normalmente em secador centrífugo contínuo com soprador de ar aquecido para remoção da solução de lavagem. Em seguida, o material é submetido ao processo de aglutinação, que tem a função de aumentar a densidade do material para facilitar a alimentação das injetoras ou extrusoras, mostrado na Figura 35. O material, nesta condição, apresenta-se numa cor escurecida, acizentada e ainda é possível observar resquícios da tinta de impressão e a metalização. Em alguns casos, o processo de aglutinação dos flocos moídos é utilizado também para a secagem do material aproveitando-se da temperatura alcançada no processo. Este processo pode ser eliminado, caso seja utilizada uma extrusora com alimentação forçada, mas será necessária a secagem para a retirada da água. (NEUPLAST, 2019).

**Figura 35** – flocos de embalagens plásticas flexíveis após o processo de aglomeração – Ecological Reciclagem (Cerqueira Cesar – SP).



**Fonte:** Acervo do Autor

A secagem do material é importante, pois alguns polímeros, como os poliésteres ou as poliamidas, podem sofrer hidrólise durante o reprocessamento. O máximo de umidade residual tolerável para as poliolefinas é de cerca de 1% m/m e para os poliésteres ou as poliamidas deve ser inferior a 0,02% m/m (Al-ABDULRAZZAK e JABARIN, 2002). O excesso de umidade remanescente pode gerar bolhas no material final, ou sobrecarregar o sistema de de-gasagem da extrusora. A presença de bolhas pode impactar também na redução das propriedades mecânicas do produto final. Bolhas também podem ser formadas no processo de extrusão, devido à alta velocidade de extrusão, resultando em degradação do material (TSP, 2020).

#### **V.4.4. Processamento do material moído, aglutinado e seco - Extrusão**

Para a reciclagem mecânica de filme flexível, o processamento mais comum para os flocos moídos, lavados e secos é o processo de extrusão.

A alimentação do material na extrusora deve ser na forma aglutinada, caso a extrusora não conte com a alimentação forçada.

É importante ter conhecimento mínimo das características do material a ser reciclado, tais como polímeros presentes, nível de contaminantes. Estes contaminantes são, por exemplo, aditivos, vernizes, adesivos, tintas, alumínio da metalização e outros agentes agregados para modificar as propriedades dos filmes (deslizante, anti-blocante, etc..) (HORODYTSKA, 2018). A partir daí, deve ser

definida a aditivação a ser incorporada na entrada da extrusora. Muitas das extrusoras já dispõem de dispositivo para aditivação automática.

Tais aditivos podem ser estabilizantes, plastificantes, anti-estático, retardante de chama, agentes nucleantes, modificadores de impacto, agentes antioxidantes, auxiliar de fluxo, agentes compatibilizantes, cargas minerais, corantes, entre outros (VIANA, 2014).

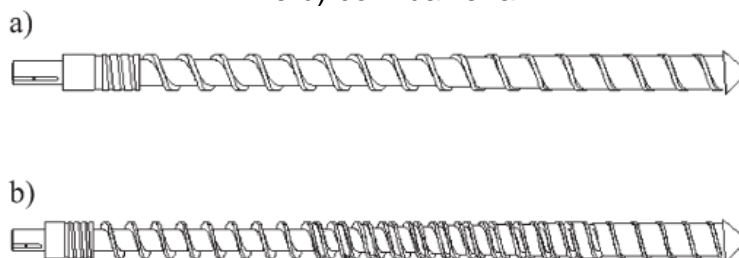
A composição dos resíduos plásticos a serem reciclados é normalmente heterogênea, e tal característica resulta no fato de que pode haver polímeros, ainda que de mesma estrutura química, com cadeias de tamanhos médios diferentes, o que pode acarretar a variação das propriedades mecânicas, da aparência e da resistência química (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Esta variação nas propriedades do material reciclado também tem relação com a degradação que os polímeros sofrem durante as etapas do processo (moagem, lavagem, secagem, extrusão, etc), acarretando a degradação por cisalhamento, termo-oxidativa e por hidrólise. As poliolefinas sofrem principalmente degradação termo-oxidativa e por cisalhamento, podendo resultar em cisão de cadeia e/ou reticulação, levando à diminuição ou aumento da massa molar, respectivamente. Aditivos específicos podem ser utilizados para minimizar os efeitos relatados (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Para melhorar o processo de plastificação da massa com baixo nível de cisalhamento e assim minimizar a degradação térmica do material, a extrusora normalmente conta com duas roscas com barreiras, especificamente desenhada para esta finalidade, promovendo a fusão do polímero reciclado de forma mais eficiente (GOERZ, 1999).

A Figura 36 mostra os desenhos de rosca convencional e com barreiras usadas no processo de extrusão.

**Figura 36** - Desenho de roscas usadas no processo de extrusão: a) convencional e b) com barreira



**Fonte:** SPINACÉ e DE PAOLI, 2005



Alguns trabalhos sobre reciclagem mecânica por extrusão convencional mostraram que existe um limite no qual as propriedades dos polímeros são mantidas. Por exemplo, no caso do PET, após três ciclos de processamento ocorre uma variação drástica nas propriedades mecânicas tornando-o duro e quebradiço e, portanto, não sendo possível utilizá-lo para as mesmas aplicações do polímero virgem (SPINACÉ e DE PAOLI, 2001).

Também é possível formular os polímeros pós-consumo adicionando pequenas quantidades de material virgem, visando melhorar as propriedades dos polímeros reciclados. No caso de poliolefinas, a adição de pequenas quantidades de polímero virgem pode levar a um efeito sinérgico. (SPINACÉ, 2000 e PFAENDNER, 2001)

No caso da extrusão de material contendo resíduos de embalagens plásticas flexíveis, que normalmente tem tinta de impressão e na maioria dos casos, no Brasil, são laminados com adesivos, há a necessidade da extrusora contar com um sistema de degasagem. Trata-se de um sistema que elimina gases formados em função da possível presença de solventes nas tintas e adesivos que volatilizam durante o processo de extrusão. Caso isso não seja realizado, pode resultar em material extrudado final com bolhas e, porosidade, podendo afetar a próxima etapa do processamento do plástico e as propriedades do produto final (MUNDO DO PLÁSTICO, 2018).

Conforme reportado na Tabela 3, em média as tintas de impressão representam 6,1% (m/m) da composição das estruturas das embalagens plásticas flexíveis.

Outro impacto no processo de extrusão pela presença de tal tinta é devido que ela apresenta temperatura de fusão e de fluidez diferentes das dos polímeros processados e acabam se acumulando dentro da extrusora, necessitando paradas frequentes para limpeza. Além disto, a própria presença das tintas, faz com que o material reciclado tenha variação de cor de lote para lote. Normalmente se aditiva o material a ser reciclado com corante de cor escura, o que minimiza a variação de cor do produto reciclado. Não somente devido à presença de tinta, mas também devido a fatores como presença de contaminantes e adesivos de laminação, o plástico resultante do processo de reciclagem mecânica tende a adquirir uma coloração acizentada ou escura. Isso restringe a aplicação, em produtos de menor exigência e menor valor agregado (HORODYTSKA, 2018). Para situação em que



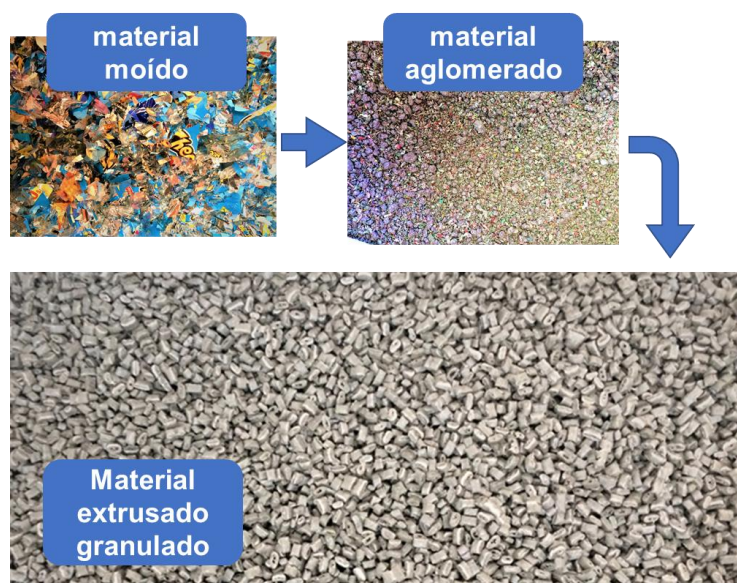
a impressão é externa na estrutura da embalagem flexível, existe o processo de remoção das tintas de impressão (“*de-inking*”), que será detalhado mais adiante.

Antes da saída da extrusora, o equipamento também deve contar com filtro para eliminar partículas não fundidas e outros materiais estranhos. Há extrusoras que dispõem do sistema de troca automática do elemento filtrante, quando este se satura.

Tecnologias cada vez mais avançadas estão atualmente disponíveis para obter um material reciclado de resíduos plásticos com superfície impressa. A maioria destas tecnologias de extrusão incluem estágios de filtração, homogeneização e degasagem com a obtenção do produto reciclado final na forma de grânulos (HORODYTSKA, 2018).

No caso de BOPP metalizado, a camada de alumínio depositada é da ordem de 30nm, que é aproximadamente 1.000 vezes inferior do que a espessura típica de uma camada de filme BOPP (da ordem de 20 $\mu$ m). Pelo relato de recicladores, não tem sido identificado nenhum problema tecnológico para a reciclagem mecânica deste material. Desta forma, recomenda-se que para efeito de identificação do material nas embalagens, que seja adotado no número 5, que identifica PP, tanto para BOPP transparente, pigmentado, quanto para o metalizado (COLTRO, 2009). Quando há a presença de filme metalizado, o material reciclado tende a apresentar uma coloração acizentada, conforme mostrado na Figura 37..

**Figura 37** – Reciclagem mecânica de embalagens plásticas flexíveis em BOPP multicamadas metalizada – grânulos acizentados – Ecological Reciclagem (Cerqueira Cesar – SP)



**Fonte:** acervo do Autor

O principal mercado consumidor de plástico reciclado na forma de grânulos são as indústrias de artefatos plásticos, que utilizam o material na produção de baldes, cabides, garrafas de água sanitária, conduítes e acessórios para automóveis, entre outros. De uma maneira geral, tratam-se de produtos com baixos requerimentos técnicos e baixo valor agregado (FORLIN e FARIA, 2002).

Como qualquer outro processo industrial, a reciclagem mecânica de plásticos deve ser economicamente viável, requerendo, entre outros fatores, garantia de fornecimento contínuo de resíduos, tecnologias apropriadas para os diferentes produtos e valor de comercialização para os novos produtos que compense os investimentos aplicados no processo (FORLIN e FARIA, 2002).

As condições em que o material pós-consumo se encontra para a reciclagem impactam diretamente na qualidade, nas propriedades e nas características do material reciclado. Quanto menor a mistura de plásticos e de contaminantes, melhor é o controle e estabilidade do processo de extrusão, obtendo-se qualidade do material reciclado mais homogênea e melhores propriedades mecânicas. Tecnologias tem sido desenvolvidas para melhorar a eficiência na separação de diferentes materiais, e no caso de embalagens plásticas flexíveis multicamadas, tecnologias para delaminação, remoção de tinta de impressão, remoção do adesivo de laminação e desmetalização tem sido desenvolvidas para chegar o mais próximo possível do monomaterial para reciclagem. E no caso da impossibilidade de separação dos materiais, agentes compatibilizantes tem sido utilizados. Tais tecnologias são detalhadas na sequência.

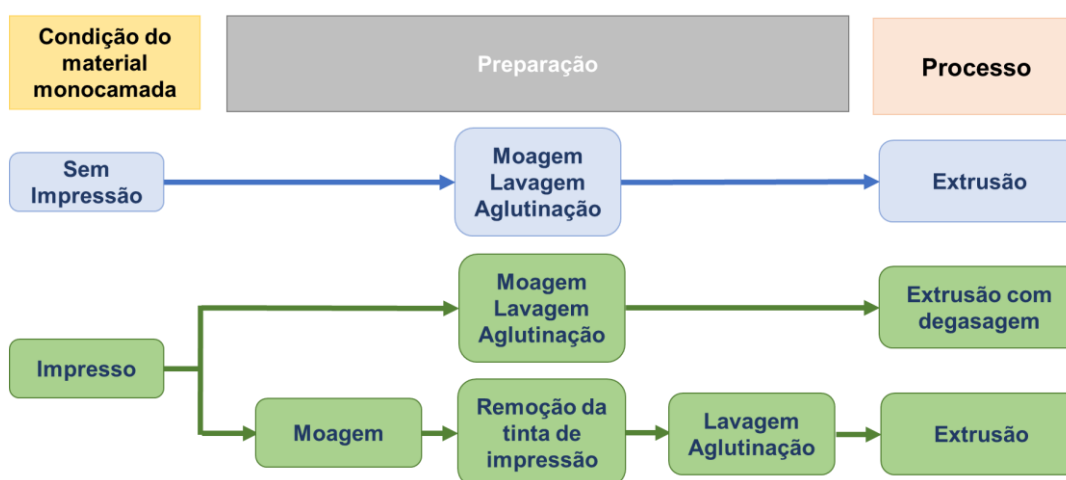
#### **V.4.5. Especificidades da reciclagem mecânica de embalagem plástica flexível mono-camada**

PE, PP e PVC são os polímeros mais comuns que compõe as embalagens plásticas monocamada. A reciclagem mecânica é o processo mais adequado para tratamento deste tipo de resíduo, principalmente em função da composição de um único material, pela homogeneidade e pela possibilidade de limpeza do resíduo (Aznar et al., 2006).

A Figura 38 mostra os passos para a preparação e processamento do material monocamada. Observa-se que, caso o material não seja impresso, o preparo seria a moagem, lavagem (dependendo do nível de sujeira), secagem, aglutinação e posterior extrusão.

Se o material for impresso, há dois caminhos para a reciclagem. O primeiro seria igual ao do material não-impresso, porém com a necessidade de sistema de degasagem na extrusora. Neste caso, o material reciclado apresenta variação de cor, normalmente em tons escuros, reduzindo o valor para comercialização. Novas tecnologias tem surgido para a remoção das tintas de impressão, que seria uma segunda opção. Removida a tinta, a extrusão segue da mesma maneira do material não impresso. Neste caso, o material reciclado pode ter um maior valor comercial.

**Figura 38** – Caminhos para reciclagem de embalagens plásticas flexíveis mono-camada



**Fonte:** elaborado pelo Autor

#### V.4.5.1. Remoção da tinta de impressão (“*Deinking*”)

Durante o processo de re-extrusão (reciclagem mecânica), um fator crítico e que tem grande impacto negativo é a presença da tinta de impressão, no caso das embalagens impressas. Dado este fato, muitas pesquisas têm sido realizadas na busca de processos e equipamentos que removam de forma eficiente e viável tal tinta de impressão. Gecol et al. (2001) conduziu vários experimentos focados em sistema de remoção de tintas de impressão à base d’água, em filmes de polietileno, usando diferentes agentes surfactantes, em tanques de imersão com algum tipo de agitação.

A Tabela 17 apresenta alguns das tecnologias fornecidas atualmente no mercado para remoção das tintas de impressão dos filmes. Há de se destacar que tais tecnologias podem trazer bons resultados para situações em que a impressão é externa, uma vez que há a necessidade do contato direto da solução removedora com a camada de tinta a ser removida. Essas tecnologias possibilitam a remoção

da tinta de impressão, e por consequência, a obtenção de um material reciclado com melhor qualidade.

A solução tecnológica da Gamma Meccanica para remoção da tinta de impressão (“*deinking*”) descrita na Tabela 14, é aplicada em material descartado pós-industrial, impresso e acondicionados em bobinas. Neste caso, o processo de remoção da impressão se dá de forma contínua.

**Tabela 17:** Tecnologias para reciclagem mecânica de filme monocamada pós-industrial.

Condição do filme	Tratamento	Processo / Tecnologia	Comentários
Sem impressão	Re-extrusão	Extrusão	Moagem, lavagem, secagem, aglutinação e extrusão
Com impressão	Re-extrusão sem remoção da tinta	Extrusão com Degasagem	Perda de propriedades, aplicação com menor requerimentos
	Remoção da tinta de impressão (“ <i>deinking</i> ”) antes do processo de extrusão	Cadel <i>deinking</i> (Espanha)	Base água, químicos não perigosos, sistema fechado, plásticos em flocos. Reciclado de alta qualidade para aplicação em produtos de alto valor agregado
		Gamma Meccanica (Itália)	Detergentes, solventes, possibilidade de recuperação da solução removedora de tinta, plástico em bobina
		Geo-Tech (EUA)	Base d’água, químicos não perigosos, plásticos em flocos. Foco principal em plástico rígido
	Imersão do filme impresso em tanques com a solução removedora	Metalúrgica Rhaaplex (Brasil)	Solução à base de solventes, sistema de fricção, plásticos em flocos. Altos custos e baixa qualidade dos material reciclado
		CLIP+ (Europa)	Dióxido de carbono em condição super crítica. Em desenvolvimento

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de (HORODYTSKA, 2018)

Das tecnologias para remoção de tinta de filmes impressos, as que são base água e com químicos não perigosos tem o benefício da não periculosidade, menor custo e ainda resultam em material reciclado de melhor qualidade, caso da Cadel e Geo-Tech na Tabela 17.

Agentes surfactantes<sup>4</sup> catiônicos<sup>5</sup> são os mais efetivos como removedores de tintas de impressão, atuando numa faixa de pH entre 5 e 12. Ao contrário, os agentes surfactantes aniônicos<sup>6</sup> quase não tem efeito sobre remoção das tintas de impressão, mesmo com pH em altos níveis. A remoção de tinta de impressão de filmes plásticos com surfactante noniônicos<sup>7</sup> é possível mas depende da faixa de pH da solução (GECOL et al., 2002). Os agentes surfactantes catiônicos são mais efetivos na remoção da tinta de impressão da superfície de filme de polietileno, mesmo para tinta a base d'água, mas em pH de no mínimo 11 (GECOL et al., 2003).

Em estudo sobre a influência da concentração de íons de cálcio na eficiência da remoção de tinta de impressa, os resultados mostraram que os íons de cálcio pioram a eficiência de remoção das tintas impressas quando agentes surfactantes catiônicos, noniônicos e anfotéricos (podem reagir com soluções ácidas ou básicas) são utilizados. Entretanto, os mesmos íons fazem agentes surfactantes aniônicos mais efetivos atuando em nível de pH alcalino (GECOL et al., 2004).

Processos inovadores para a remoção de tinta de impressão de superfícies plásticas tem sido desenvolvidos por FULLANA e LOZANO (2015), comprovando a sua viabilidade técnico-econômica em testes em uma planta de remoção de tinta de impressão em escala semi-comercial (Cadel Deinking, n.d.).

A Figura 39 apresenta um processo de reciclagem mecânica associado à remoção de tinta, baseados nos processos mencionados na Tabel 17 (exceto o processo da GAMMA que trata de filme impresso em bobina), por exemplo a partir de uma solução de base aquosa e que não inclui e nem gera elementos químicos ambientalmente perigosos. Observam-se etapas comuns do processo de reciclagem mecânica, (moagem, extrusão e peletização, por exemplo), acrescido da remoção de tinta e enxágue.

---

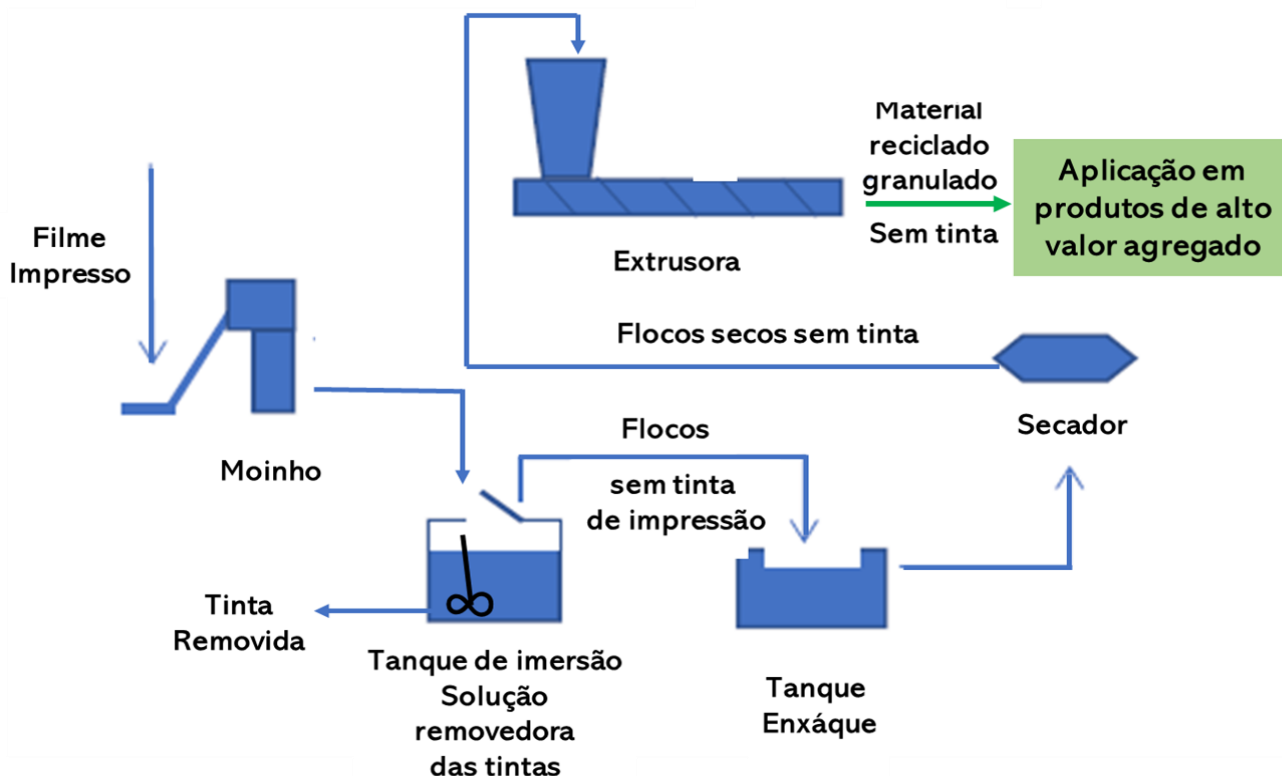
<sup>4</sup> Componentes cuja função é reduzir a tensão superficial, os agentes tensoativos podem ser catiônicos, aniônicos, anfóteros ou não iônicos. Capazes de alterar as propriedades superficiais de um líquido, os agentes tensoativos são compostos por uma parte hidrofílica (polar) e por outra hidrofóbica (apolar).

<sup>5</sup> Catiônicos: são agentes tensoativos que possuem um ou mais grupamentos funcionais que, ao se ionizar em solução aquosa, fornece íons orgânicos carregados positivamente. Exemplos típicos são os quaternários de amônio.

<sup>6</sup> Aniônicos: são agentes tensoativos que possuem um ou mais grupamentos funcionais e ao se ionizar em solução aquosa, fornece íons orgânicos carregados negativamente e que são responsáveis pela tenso atividade. Um exemplo é o dodecanoato de sódio.

<sup>7</sup> Não-iônicos: são agentes tensoativos que possuem grupos hidrofílicos sem carga ligado a cadeia graxa.

**Figura 39** – Esquema de reciclagem mecânica de filmes flexíveis impressos e moídos, associada à remoção de tinta



**Fonte:** HORODYTSKA, 2018

Processos de remoção de tintas desenvolvidos para recuperação de plásticos flexíveis podem ser adaptados para resíduos de plástico rígido. Além disto, um sistema específico de tratamento de água foi projetado para minimizar o consumo de água e para recuperar os produtos químicos responsáveis para remoção das tintas.

Além de um surfactante não iônico, a solução detergente contém solventes orgânicos. Apesar da eficiência do processo de remoção de tintas de impressão ser muito alta (99,9%), há uma perda da qualidade do plástico reciclado em comparação com material plástico virgem, com possível perda em relação às propriedades mecânicas e óticas, além de odor (HORODYTSKA, 2018).

Outra tecnologia para remoção de tinta de impressão e desodorizar filmes poliolefinicos pós-industrial tem sido estudado pelo CLIPP+, onde dióxido de carbono em condições supercríticas tem sido usado. Os resultados mostram que os filmes reciclados podem ser usados em aplicações em embalagens secundárias, que não entram em contato com o alimento (AIMPLAS, 2017), o que já é um avanço, em direção da economia circular.

Muitos convertedores desenvolvem as suas próprias tecnologias para reciclagem deste tipo de material, que, dado o melhor conhecimento das condições do resíduo, proporciona melhor controle sobre a qualidade e propriedade do material reciclado. Neste caso, o material reciclado pode ser empregado em aplicações mais nobres, trazendo o grande benefício em alguns casos, da substituição de matéria-prima virgem. (SADAT-SHOJAI e BAKHSHANDEH, 2011). Mesmo nestas condições, ainda se mantém as restrições pela Anvisa para aplicação em embalagens primárias para alimentos.

#### **V.4.6. Especificidades da reciclagem mecânica de embalagem plástica flexível multicamadas**

A reciclagem de filme multicamada é dificultada pelo próprio fato da sua composição heterogênea de materiais, muitas das vezes de difícil identificação dos elementos que o compõe e inclusive do percentual de participação de cada um. Dessa forma, a aplicação do material resultante da reciclagem mecânica na produção de novos produtos de valor agregado fica bem complicada.

De acordo com Tartakowski (2010), as principais dificuldades para reciclagem mecânica de filme multicamada seriam:

- Ampla variedade de materiais utilizados na formação das diferentes camadas, com respectivas diferenças e propriedades para processamento
- Dificuldade de um sistema para identificação dos materiais que compõe as diferentes camadas (exemplo: PE/BOPP, PET/PE, PA/PE, etc.)
- Falta de uma solução, economicamente viável, para coleta e separação de filmes multicamadas, por tipo de material ou características similares

A identificação, separação e classificação das estruturas de filme multicamadas pós-consumo é geralmente feita de forma manual e é altamente dependente da experiência do pessoal responsável pela seleção dos materiais nos centros de triagens. (Soler, 1992; Hisazumi et al., 2003).

Dependendo da estrutura, uma estrutura multicamadas pode ser visualmente muito parecida com um filme monocamada, o que pode ocasionar mistura de diferentes materiais no processo de separação para a reciclagem. Isso resulta em variação e prejuízo nas características e propriedades finais do material reciclado (TARTAKOWSKI, 2010).

A reciclagem de filme multicamadas tem provado ser muito desafiadora. Há a necessidade de técnicas mais sofisticadas para preservar as boas propriedades mecânicas e óticas para se obter material que tenha condições de uso. (HORODYTSKA, 2018).

Para reciclagem mecânica de filmes multicamadas há três tecnologias em desenvolvimento: compatibilização de materiais, delaminação e dissolução-precipitação seletiva, com o objetivo de promover a reciclagem e reduzir a quantidade de plásticos multicamadas enviados para os aterros ou encaminhados para recuperação energética em alguns países (HORODYTSKA, 2018).

Alguns estudos e pesquisas e estão apresentados na Tabela 18, onde cada estudo trata de uma estrutura de filme multicamadas específica, sendo desta forma, importante a identificação da composição das camadas da estrutura para aplicar a solução adequada. Não há uma solução que atenda várias estruturas ao mesmo tempo. Estes estudos endereçam soluções para processamento e aproveitamento de algumas das estruturas multicamadas mais comumente encontradas no mercado tais como PET/PE, PP/PET e PE/EVOH/PE. As tecnologias mencionadas na tabela, são detalhadas em capítulos específicos.



**Tabela 18** – Soluções para reciclagem de resíduos de filme multicamada

Tecnologia	Estrutura do filme	Promotor / Facilitador da reciclagem	Ref.
Compatibilizante	PP/PET/SiOx	Polipropileno com anidrido maleico	Wyser et al., 2000
	Misturas de PE, PA6 e PET	Grupos oxazolines, etileno/copolímero ácido copolímero ou bloco copolímero estireno-etileno/ácido butileno-estireno-graftizado-succinico	Jeziórska, 2003
	Blendas de PET e PEAD	Etileno-metacrilato glicidil (EGMA0 e estireno-etileno-butileno-estireno grafitizado com anidrido maleico (SEBS-g-MA)	Pawlak et al., 2002
	Blendas PET/PE	EGNMA e copolímero de etileno- $\alpha$ -olefina grafitizado com anidrido maleico (PE-g-MA)	Uehara et al., 2015
Delaminação	PET/Alumínio/PET	Acetona	Fávaro et al., 2013
	PET/ proteína de soro/ PE	Detergentes enzimáticos contendo protease	Cinelli et al., 2016
	PE/EVOH/PE	Licor alcalino	Garcia, 2013
Dissolução-Precipitação	PE/EVOH/PE	Xileno	Garcia, 2011
	PET/PE	Mistura de um álcool com água	Michelena et al., 2004
	Estruturas LDPE	Solventes orgânicos	Linder at al., 2004

**Fonte:** Adaptado de Horodytska et al, 2018

Nas empresas de conversão, cerca de 5 a 12% do total de material convertido (impresso e laminado) se torna descarte industrial durante os processos de regulagem de máquina, impressão, laminação e conversão (ex. produção de bolsas pré-formadas), sendo parte deste material em estrutura multicamadas, apresentando os problemas para reciclagem já mencionados.. (HORODYTSKA, 2018). As tecnologias em estudo, poderão beneficiar o tratamento deste tipo de resíduo industrial.

O alumínio é um dos componentes comumente encontrado nas estruturas de filmes multicamadas, na forma de lâmina (filme bem fino) ou depositado na forma de metalização superficial, camada muito fina, sobre um filme (substrato). Serve principalmente para melhorar a barreira à luz, à gases e à umidade. Lee et al. (2006) patentearam um método para reciclagem de embalagem flexível multicamadas para filme multicamadas composto por material plástico

(normalmente PE, PP e PET) e folha de alumínio em diferentes camadas. A camada de alumínio é seletivamente dissolvida em uma solução alcalina ou ácida.

Estruturas multicamadas utilizando BOPP, tem sido muito utilizadas, principalmente em embalagens de alimentos em função dos inúmeros benefícios como alta barreira à vapor d'água, baixo consumo de material (em peso) por kg de produto embalado, é fácil de imprimir, é termoselável, pode ser laminado com outros filmes, pode ser fornecido em bobina (economizando em transporte e área de estocagem), entre outras. Para melhorar a barreira à umidade, normalmente é metalizado e laminado com uma outra camada de BOPP transparente (que recebe a impressão). Para melhorar a barreira à oxigênio, é normalmente laminado com um filme de PET, e para melhorar a qualidade de selagem, é laminado normalmente com um filme de PE. Tem sido utilizado em embalagem para macarrão, biscoitos, barras de chocolates, salgadinhos (“*snacks*”), envoltórios de ovos de páscoa, barras de cereais, rótulos, entre outros.

Casos em que a estrutura do filme multicamadas é composta somente por PE e PP, estes são compatíveis um com o outro, então as camadas compostas por estes materiais podem ser processadas (extrusadas) juntas.

Dependendo da mistura dos materiais, uma solução tecnológica encontrada, já com produtos comerciais, é a produção de “madeira plástica”, que será tratado em capítulo específico (V.4.6.5.)

#### **V.4.6.1. Aditivos Compatibilizantes**

Para melhorar a adesão entre a matriz polimérica e a carga de reforço utiliza-se um agente compatibilizante ou de acoplamento, o qual geralmente é uma molécula bifuncional, com partes polares e partes apolares, que se liga quimicamente à superfície das duas fases. Uma forte ligação interfacial favorece a mistura destas fases, promovendo uma melhora nas propriedades de compósitos e blendas. Os agentes de acoplamento mais utilizados são organossilanos, organotitanatos, polímeros modificados com anidrido maleico (exemplos: polipropileno grafitizado com anidrido maleico (MAPP) e o polietileno grafitizado com anidrido maleico (MAPE) e outros polímeros funcionalizados (especialmente funcionalizações ácidas) (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005; DIBENEDETTO, 2001, MONTE et al., 1983 e POLETTI, 2017). Os aditivos compatibilizantes são

adequados para a reciclagem de laminados multicamadas como PE/PA e PE/PET (PFAENDNER, 2001).

Os aditivos compatibilizantes (aditivos específicos, similares aos adesivos) são adicionados à mistura de diferentes materiais poliméricos a fim de promover a união entre diferentes polímeros. Por exemplo, a reciclagem de filmes multicamada de PP/PET/SiO<sub>x</sub> de resíduos de embalagem foram compatibilizados com polipropileno anidrido maleico grafitizado foi estudada por Wyser et al. (2000). Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas da blenda foram alavancadas a uma concentração de 5% (em peso) do aditivo compatibilizador.

Embalagens mistas de PE, PA6 e PET podem ser extrusados juntos com aditivos compatibilizantes como os grupos da linha oxazo, copolímero etileno/acido-acrilado ou bloco de copolímero estireno-etileno/butileno-estireno-grafitizado-ácido succinico (JEZIÓRSKA, 2003). As blends de PET e PEAD podem ser compatibilizadas com etileno-metacrilato glicidil (EGMA) e estireno-etileno-butadieno-estireno grafitizado com anidrido maleico, sendo possível a extrusão das blends resultantes. (PAWLAK et al. 2002).

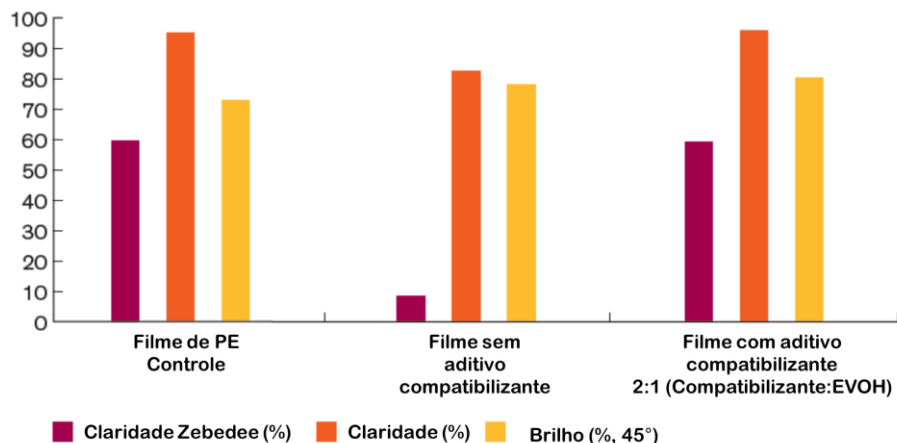
Há um estudo no Brasil sobre reciclagem e compatibilização de filmes com PET/PE (UEHARA et al., 2015). Os fatores analisados foram a concentração de aditivos compatibilizantes (EGMA e um copolímero de etileno- $\alpha$ -oleofina grafitizada com anidrido maleico (PE-g-MA) e a razão do peso PET/PE.

Os aditivos à base de alcóxidos de titanatos ou zirconatos são usados em concentrações da ordem de 0,2% m/m, visando promover a copolimerização ou a compatibilização *in-situ* de polímeros, como PELBD, PC, PET e PP e ainda atuam como pigmento. A utilização destes aditivos promove uma melhora nas propriedades mecânicas dos produtos, diminuição da temperatura e dos ciclos de processamento (MONTE, 2001 e 2002).

Resíduos de filme multicamada, contendo polímeros polares em alguma das suas camadas - como EVOH ou Poliamida - não são dispersados na matriz de poliolefina durante o processo extrusão para reciclagem. A DOW (2014) desenvolveu aditivos compatibilizante, que atuam de forma que grupos reativos “revestem” os componentes polares, encapsulando-os em micro-domínios para permitir uma excelente dispersão, reduzindo a quantidade de géis e sem sacrificar as propriedades ópticas ou físicas do produto reciclado. A Figuras 40 e 41,

apresentam os resultados comparativos das propriedades óticas e físicas, entre material contendo EVOH reciclado com e sem o aditivo compatibilizante.

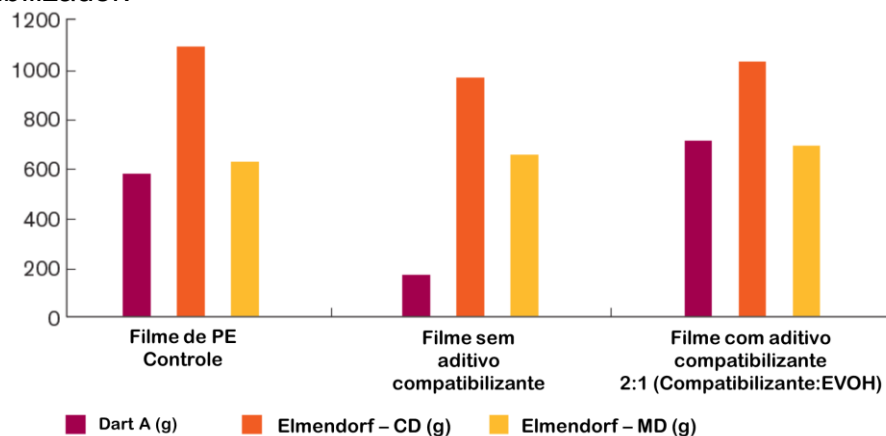
**Figura 40** - Comparativo das propriedades óticas no material reciclado, após reciclagem de material multicamada, contendo EVOH, com e sem aditivo compatibilizador.



Fonte: DOW, 2014

Observa-se na Figura 40 que o filme processado sem o aditivo compatibilizante, tem a Clareidade Zebedee muito prejudicada. Já o processamento com o aditivo compatibilizante, todos os parâmetros relacionados com as propriedades óticas do filme ficaram muito próximas quando comparado um filme de PE (controle), com melhora inclusive em alguns dos parâmetros como percentual de clareidade e percentual de brilho.

**Figura 41** - Comparativo das propriedades físicas no material reciclado, após reciclagem de material multicamada, contendo EVOH, com e sem aditivo compatibilizador.



Fonte: DOW, 2014

Em relação ao comparativo das propriedades físicas do material reciclado, contendo EVOH, observa-se pela Figura 41 que medição de Dart A fica bastante prejudicada sem a aplicação do aditivo compatibilizante. Com a aplicação do aditivo compatibilizante, parâmetros medidos Dart A e Elmendorf – MD ficam ainda maiores quando comparado com o filme de controle em PE, mostrando que é possível a reciclagem de estruturas multicamadas com PE e EVOH ou PA, obtendo um produto reciclado com propriedades óticas e físicas similares do reciclado de um filme de PE.

A Kraton e a Arkema são outras empresas que também disponibilizam no mercado agentes compatibilizantes para processamento de plásticos misturados.

#### **V.4.6.2. Delaminação das estruturas multicamadas**

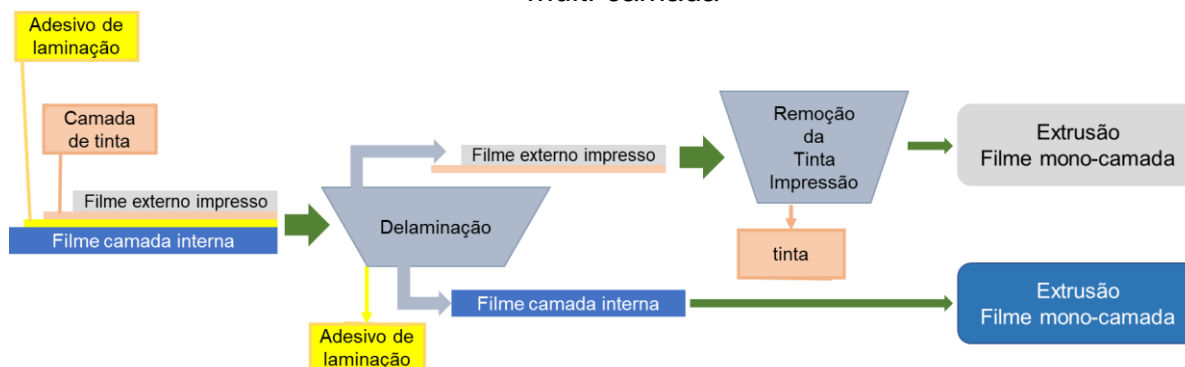
O método de delaminação é baseado na segregação de diferentes camadas do filme e reciclagem da mistura de polímeros separadamente (KAISER et al., 2018).

Cinelli et al. (2016) propôs uma nova estrutura multicamadas de PET/PE laminada com proteína de soro de leite como adesivo de laminação. A proteína de soro de leite age como uma excelente barreira contra oxigênio e umidade, substituindo outros adesivos de base petroquímica que não são recicláveis.

A camada de proteína pode ser removida por lavagem com detergentes enzimáticos contendo enzimas de proteases para separar a camada de PET da de PE (CINELLI et al., 2016).

Pesquisadores da Universidade de Alicante estão também trabalhando no desenvolvimento de um processo combinado de delaminação e remoção de tintas (HORODYTSKA et al., 2018). A tinta é às vezes depositada entre as camadas de filmes, na face interna do filme externo, detalhado na Figura 42, como por exemplo em aplicação para alimentos, evitando o contato da tinta com o alimento. Portanto, o processo de delaminação deveria ser incorporado antes do estágio de remoção da tinta. Este processo, representado na Figura 42, remove o adesivo e a tinta de impressão e, ao final, obtem-se os filmes monocamada sem impressão para extrusão de monomaterial, resultando em material com propriedades similares aos dos respectivos materiais virgens e de maior valor comercial.

**Figura 42:** Processo conjugado de delaminação e remoção de tintas de estrutura multi-camada



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

#### V.4.6.3.. Tecnologia para dissolução/re-precipitação seletiva

A dissolução-precipitação seletiva é um processo onde os sistemas solvente ou não-solvente são utilizados para separar e reciclar os diferentes polímeros. Após a dissolução de um dos polímeros, é necessária uma etapa de separação, por exemplo, por re-precipitação seletiva de um dos materiais (ACHILIAS et al., 2007). O polímero separado e recuperado, pode ser extrusado, no mesmo processo e equipamento utilizado para reciclagem mecânica, para se obter o produto final granulado.

A estrutura genérica da reciclagem de plásticos por extração com solvente inclui a remoção de impurezas e aditivos incorporados ao plástico, dissolução (dissolução homogênea ou heterogênea) e reprecipitação. Especificamente, o(s) polímero(s) é dissolvido(s) no(s) solvente(s) e depois cada polímero é cristalizado seletivamente. Idealmente, quando um solvente pode dissolver o polímero alvo ou todos os outros polímeros, exceto o alvo, ele pode ser usado para dissolução seletiva. Obviamente, a chave do processo de dissolução é encontrar um solvente seletivo (ZHAO et al., 2018).

A técnica de dissolução / reprecipitação foi aplicada na reciclagem de vários materiais plásticos à base de PE, PP, PET e PVC. Possíveis alterações estruturais durante o processo de reciclagem podem ser avaliadas por espectroscopia FT-IR. A degradação potencial do polímero é avaliada através da medição das propriedades térmicas (temperatura de fusão, cristalinidade e temperatura de transição vítrea) do polímero antes e depois da reciclagem, usando DSC, suas propriedades moleculares (peso molecular médio) usando viscosimetria, bem como

suas propriedades mecânicas de tração. Obtém-se alta taxa de recuperação dos polímeros, com características e propriedades muito similares as dos materiais originais (ACHILIAS et al., 2009).

Os estudos com solventes e condições de processo, para dissolução/precipitação separação dos materiais comumente utilizados em embalagens plásticas flexíveis são mostrados na Tabela 19. Os solventes ideais são selecionados principalmente seguindo alguns princípios importantes (JILIN, 2010):

(1) De acordo com a regra de solubilidade "*like dissolve like*", polímeros polares altos são dissolvidos em solventes polares altos, enquanto polímeros polares baixos são dissolvidos em solventes polares baixos. Quanto mais próximo o solvente e o polímero estiverem da polaridade, mais fácil será dissolver o polímero no solvente;

(2) quando a interação entre o polímero e o solvente prevalece sobre a coesão dos polímeros, o polímero é facilmente dissolvido no solvente;

(3) se os parâmetros de solubilidade do polímero e o solvente é semelhante ou igual, o polímero é mais facilmente dissolvido no solvente. Vários sistemas de parâmetros de solubilidade foram desenvolvidos para avaliar a capacidade de solvatação (HANSEN e JUST, 2001).

Muitos pesquisadores tem investigado as possibilidades desta técnicas nos últimos 25 anos. Os meios de dissolução propostos por diferentes pesquisadores propões xileno, para separação de PE/EVOH/PE (García, 2011), mistura de um álcool com água, para separação de PET/PE (Michelena et al., 2004), solventes orgânicos para estruturas com LDPE (Linder et al., 2004), entre outros. Na Tabela 19, são apresentados os principais solventes em estudo, com os respectivos polímeros a serem separados por dissolução.

Para a técnica de dissolução/reprecipitação, existem duas categorias de solventes: "solvente forte", que tem uma solubilidade positiva no polímero alvo e "solvente fraco", que tem uma solubilidade negativa no polímero alvo (ZHAO et al., 2018).

**Tabela 19** - Os solventes comuns empregados na dissolução/método de reprecipitação dos principais polímeros utilizados em embalagens plásticas flexíveis multicamadas.

Polímero	Solvente forte	Solvente fraco	Condições do experimento	Ref.
PE	Xileno	Propanol	Adicionou-se 30 L de xileno a uma mistura de 3 kg de PE e 3 kg de PP com agitação por 1 h a 85°C, e o PE foi dissolvido, precipitado por 90L de propanol e seco a 80°C por 6h.	Pappa et al., 2001
		n-hexano metanol	1g de PE foi dissolvido em 20mL de solvente com aquecimento (100°C) por 30min, reprecipitado e seco a 89°C por 24h.	Achilias et al., 2009
PP	Xileno	Acetona (ACE)	A solução de 0,15kg/L foi obtida a 135°C e filtrada sob pressão através de um filtro de 20-70mm. Foi adicionado ACE para precipitar e lavar.	Poulakis and Paspaspyrides, 1997
		n-hexano	1g de PP foi dissolvido em 20 mL de solvente com aquecimento (140°C) por 30min, reprecipitado e seco a 89 C por 24h.	Achilias et al., 2009
	Tetra-cloroetileno	Acetona (ACE)	Dissolveram-se 300g de PP em 3L de tetracloretileno por aquecimento a 121°C durante 15min e depois tornaram-se um gel em 2L de acetona.	Murphy et al., 1979
PET	Benzilalcool	Metanol	1g de PET foi dissolvido em 20mL de solvente com calor (180°C) por 30min, reprecipitado e seco a 89°C por 24h.	Achilias et al., 2009
	NMP	-	O NMP foi usado para remover as impurezas a 130°C e o PET foi dissolvido a 160°C.	Vane and Rodriguez, 1992
		n-octano + n-hexano	0,1kg de garrafa PET foram dissolvidos em 0,5L de NMP para formar uma solução de 0,02kg/L a 165°C com agitação por 90min. 1L de n-octano e 2L de n-hexano foram adicionados com agitação, e o polímero recuperado foi seco a 90°C por 14h.	Poulakis and Paspaspyrides, 2001

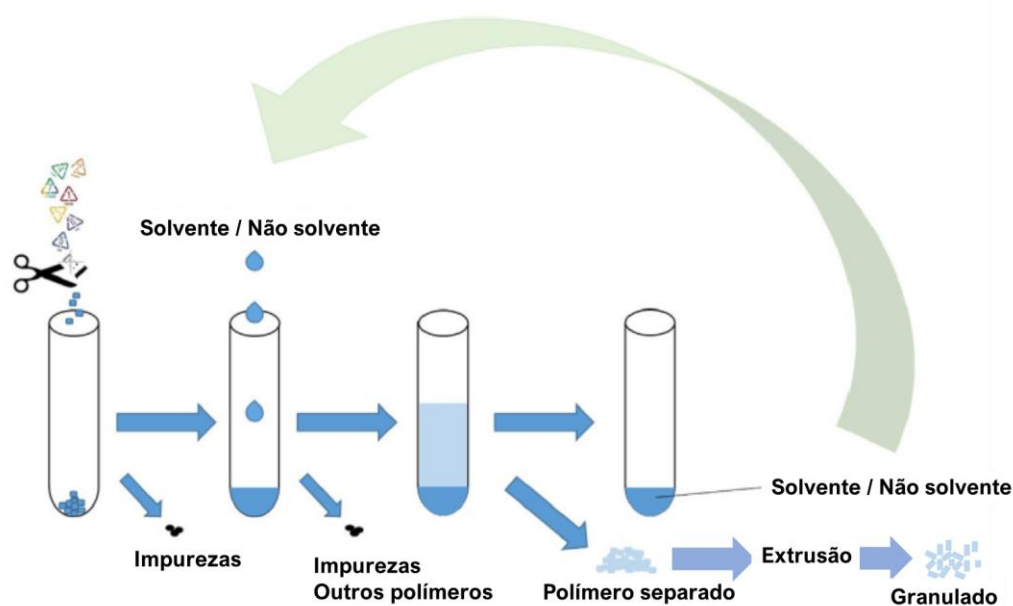
**Fonte:** Adaptado de ZHAO et al., 2018

O adesivo usado para fixar duas camadas é normalmente removido através de um solvente específico. Novos processos para reciclagem de embalagem multicamada para alimentos, que contenham PE, alumínio e PET foram estudados por Fávoro et al. (2013). Acetona foi usada para delaminar o filme multicamada e o PET poderia ser dissolvido com um dos solventes e condições apresentados na Tabela 19.

Os solventes usados podem ser recuperados por destilação, tanto que tal processo podem ser considerados ambientalmente amigável.



**Figura 43** - Desenho esquemático da técnica de dissolução / reprecipitação de polímeros



**Fonte:** Adaptado de Adaptado de ZHAO et al., 2018.

Conforme mostra a Figura 43, o processo de separação de materiais poliméricos por dissolução/re-precipitação, também serve para retirar impurezas contidas na mistura de materiais. Os solventes/não solventes podem ser re-avaliados no processo (re-circulação). Ao final, o material separado, pode ser extrudado e granulado, como no final da reciclagem mecânica, para obter forma homogênea para comercialização e utilização na produção de outras peças plásticas.

A Tabela 20 apresenta vantagens e desvantagens comparando se o processo de recuperação de polímero de uma mistura por dissolução/re-precipitação versus a reciclagem mecânica convencional de uma mistura de materiais.

**Tabela 20** - Comparação geral da extração por solvente com recuperação mecânica primária.

	<b>Dissolução / Re-precipitação</b>	<b>Reciclagem mecânica</b>
<b>Procedimentos</b>	(1) Corte e remoção de a impurezas. (2) Dissolução na concentração mais alta possível. (3) Re-precipitação do polímero no solvente através da adição de não-solventes. não solventes (adicione fluidos supercríticos para extrair solventes) (4) Filtração, lavagem e secagem para obter o polímero separado (5) Separação e recuperação do solvente / não solvente	(1) Moagem/picotagem do resíduo de forma uniforme (2) Lavagem dos plásticos com água (3) Aglutinação e secagem (4) Adição de pigmentos e aditivos (5) extrusão (6) Granulação
<b>Vantagens</b>	(1) Obtido na forma comercial de grânulos ou pó. (2) Remove os aditivos e contaminantes insolúveis. (3) Nenhuma degradação adicional ocorre, exceto o aquecimento para uma dissolução completa. (4) As propriedades do produto reciclado (5) Uma diminuição maciça no volume a granel.	(1) Tecnologia dominada (2) Operação simples
<b>Desvantagens</b>	(1) Requisitos técnicos relativamente altos (2) Custos relativamente altos	(1) Degradação do produto recuperado (2) Aplicações limitadas

**Fonte:** adaptado de ZHAO et al., 2018.

O processo de dissolução e re-precipitação de polímeros se mostra como potencial solução para separação de materiais que compõe as estrutura da embalagem multicamadas, formadas normalmente por PE, PP e PET. Para estes materiais, há vários estudos com solventes e condições de processos, conforme exemplos listados na Tabela 19. Este processo além de representar uma potencial solução para a separação de alguns polímeros, ainda apresenta o benefício de retirar as impurezas e aditivos incorporados aos polímeros, obtendo ao final, material reciclado com características similares ao do material virgem. Comparado com a reciclagem mecânica, ela apresenta maior complexidade, requerendo maior nível de conhecimento técnico para operá-la, além de custos mais altos.

#### V.4.6.4. Aditivação do material na reciclagem

Dada a diversidade de tipos e de propriedades dos resíduos plásticos na entrada do processo de reciclagem mecânica, e das propriedades requeridas para o produto final, há a necessidade do processando juntamente com aditivos para melhora das propriedades desejadas.

Alguns aditivos podem ser classificados segundo os seus mecanismos de atuação, conforme Tabela 16. Tem atuação tanto durante o processo de extrusão do material, quando para melhor as propriedades do produto final, como resistência a raios UV e resistência ao impacto.

**Tabela 21:** Aditivos para processamento de plástico e respectiva função

Aditivo	Função
Lubrificante interno (plastificante)	Redução da viscosidade com o aumento do índice de fluidez da massa polimérica fundida, melhorando a dissipação do calor, prevenindo a degradação pelo cisalhamento e reduzindo a fratura do fundido com a redução da viscosidade a altas taxas de cisalhamento
Lubrificantes externos	Atuam na interface entre a massa polimérica e outros equipamentos, reduzindo a adesão entre resina e metal das paredes e rosca extrusora, reduzem a fricção e melhoram a incorporação e dispersão das cargas e pigmentos.
Estabilizadores primários	Captação de radicais livres gerados no sistema
Estabilizadores secundários	Auxiliam na decomposição de hidroperóxidos, os quais promovem a degradação
Agentes de compatibilização	Compostos químicos que podem interagir com grupos polares e apolares, compatibilizando-os
Antioxidantes e Anti-UV	Proteção do material final contra intempéries e contra raios UV, prolongando a vida útil.
Modificadores de impacto	Conferem maior resistência ao impacto ao produto final

**Fonte:** Adaptado de MONDARDO, 2006

A quantidade e o tipo de antioxidantes e plastificantes adicionados nos polímeros pós-consumo normalmente são os mesmos utilizados para os polímeros virgens. Após a formulação com aditivos, o polímero pode ser reprocessado e finalmente obtido o material reciclado, pronto para produção de algum outro objeto plástico.

### **Madeira Plástica**

As embalagens plásticas flexíveis (filmes) ou rígidas multicamadas que atualmente apresentam baixo interesse comercial para a reciclagem, podem ser transformados em madeira plástica, sem a necessidade de separação das camadas. Elas devem em primeiro lugar passar pela reciclagem mecânica, isto é, os filmes devem ser aglutinados e as embalagens rígidas devem ser moídas, e em seguida eles seguem o processo de mistura e extrusão para obter madeira plástica (JORGE, 2015)

Neste tipo de processo pode-se utilizar uma mistura de PEBD, PEAD, poli(acrilonitrila-butadieno-estireno) (ABS) e PP. O PS e as poliamidas são aceitáveis até 10% m/m e o PET deve ser usado numa proporção máxima de 5% m/m para não prejudicar a resistência e o acabamento dos perfis. A madeira plástica pode ser utilizada e trabalhada como a madeira comum (SOUZA, 1993).

A madeira plástica é comumente utilizada em móveis de jardim, revestimentos de parede, plataformas (“*deck*”), mourões de cerca, cruzetas para sustentação de fios elétricos, pontalotes de construção civil, bancos de praças, postes de sinalização de ruas e estradas, instalações para marinas, e locais onde a corrosão seja elevada, pois estes objetos podem ficar expostos a intempéries sem sofrerem uma degradação muito rápida. A Figura 44 mostra alguns produtos e aplicações da madeira plástica.

**Figura 44** – Peças e aplicações de madeira plástica



**Fonte:** GREENMAD, 2020

No Brasil estão disponíveis no mercado, madeira plástica provenientes da reciclagem de plásticos recuperados dos RSU, cujas marcas foram registradas pelo IMA; o IMAWOOD® (constituído de mistura de poliolefinas provenientes de sacos

e sacolas plásticas, principalmente PEBD e PEAD) e o IMACAR® (constituído de uma mistura de poliolefinas com predominância de PP e baixo teor de EPDM provenientes de pára-choques descartados), cujas marcas foram registradas pelo Instituto de Macromoléculas (MARTINS et al., 1999).

#### **V.4.6.5. Compósito de termoplásticos com reforço**

Os materiais compósitos são caracterizados como sendo a combinação de dois ou mais materiais diferentes, que são insolúveis entre si, que formam um material com propriedades melhores do que às dos materiais isoladamente. Assim, os compósitos possuem uma fase contínua e outra descontínua, onde a fase contínua é denominada matriz e será responsável pela transferência de esforços para a fase descontínua que é denominada de carga de reforço (PAOLI, 2008). Dentre os materiais que podem ser constituídos como matriz destaca-se os poliméricos, que no caso, podem ser os oriundos de reciclagem de materiais plásticos (MACÊDO, 2018).

As cargas adicionadas durante o processo de reciclagem dos materiais plásticos são utilizadas para modificar as propriedades dos materiais plásticos, como a resistência mecânica, a rigidez etc. (ALMEIDA, 2015). As cargas podem ser definidas como materiais sólidos, não solúveis, que são adicionadas aos polímeros em quantidades suficientes para diminuir custos e/ou alterar suas propriedades físicas (RABELLO, 2000). Desse modo, as cargas podem ser classificadas de acordo com a sua capacidade de reforço como: ativas ou reforçantes; e inerte ou de enchimento (MACÊDO, 2018).

As cargas utilizadas como reforço, como o próprio nome diz, tem como principal função a de melhorar e maximizar principalmente as propriedades mecânicas do produto final, tais como rigidez, dureza, entre outras propriedades estruturais, a estabilidade térmica e a resistência às intempéries. A matriz, é responsável pela forma estrutural do produto final. A matriz também isola as fibras e partículas evitando trincas e melhorando o acabamento superficial e os aspectos estéticos do produto final (POLETTO, 2017).

As cargas podem ser minerais tais como: carbonato de cálcio, argilas, sílicas, mica, talco, alumina e dióxido de titânio. E as cargas não minerais incluem negro de fumo, esferas e fibras de vidro e vários materiais orgânicos, tais como fibras vegetais que também podem ser usadas (RABELLO, 2000; PAOLI, 2008). A adição

destas cargas de reforço é uma alternativa viável, podendo melhorar as propriedades dos polímeros reciclados e torná-los competitivos em relação aos polímeros virgens. Os compósitos ao final, apresentam uma combinação melhorada das propriedades dos elementos que os formam, que não poderia ser alcançada com qualquer um dos constituintes agindo isoladamente (POLETTTO, 2017).

Os compósitos apresentam uma versatilidade de aplicações, dados pela ampla gama de propriedades físicas, químicas e mecânicas que podem ser obtidas no produto final, através de diferentes combinações de tipo de matriz e pelas várias opções de tipo de reforço (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Os polímeros mais comumente utilizados nos compósitos como matriz são PE, PP, PS, PVC, sendo possível a utilização de polímeros reciclados oriundos da coleta seletiva dos RSU, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais não renováveis, como o petróleo (POLETTTO, 2017).

Aplicações para compósitos poliméricos têm sido desenvolvidas na indústria automotiva, aeronáutica, moveleira e na construção civil, principalmente em peças internas, onde aspecto estético não seja a prioridade, ou seja, caso eventualmente tenha alguma variação de cor, ou presença de alumínio da metalizado do BOPP, sejam aceitáveis. Representa a possibilidade de utilização de material reciclado, em substituição ao consumo de matéria-prima virgem.

O compósito formado pela incorporação de “pó” de madeira no plástico é conhecido como WPC – “Wood Plastic Composite” (Compósito de plástico e madeira).

O compósito de plástico e madeira utiliza serragem e restos de madeira para composição de 70% de sua matéria-prima. Os outros 30% são oriundos de plásticos recicláveis, como garrafas PET e embalagens multicamadas com BOPP metalizado. O produto tem alta tecnologia e vem sendo utilizado em materiais para a construção civil, mobiliário, peças de decoração, utensílios para área externa (piscina, jardim), com beleza e alta durabilidade, (ECOPEX, 2019).

Os compósitos de termoplásticos representam uma alternativa de custo relativamente baixo para a produção de plástico reciclado reforçado e que podem ser aplicados na produção de produtos acabados com valor agregado, a partir de plásticos reciclados dos RSU

#### V.4.7. Reciclagem mecânica de embalagens plásticas pós-consumo no Brasil

Dados da Abiplast de 2018, publicados em 2019, mostram que há recicladores de materiais plásticos em todas as regiões do Brasil (Tabela 22). Porém não há informação específica sobre quais destes reciclam embalagens plásticas flexíveis.

**Tabela 22** - Localização de empresas do setor de reciclagem de material plástico, por região (2016)

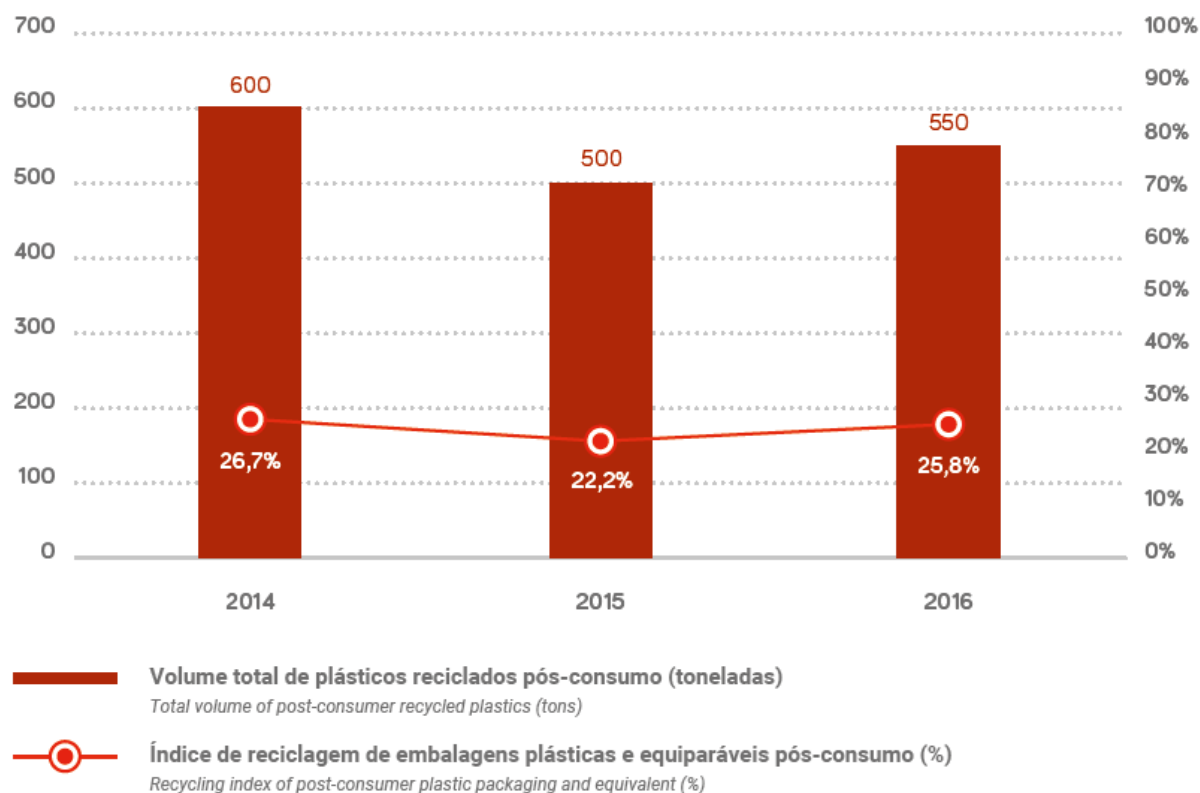
	<b>Empresas recicladoras de plásticos</b>	<b>%</b>
<b>SUDESTE</b>	<b>417</b>	<b>39%</b>
<b>SUL</b>	<b>359</b>	<b>34%</b>
<b>CENTRO OESTE</b>	<b>87</b>	<b>8%</b>
<b>NORDESTE</b>	<b>170</b>	<b>16%</b>
<b>NORTE</b>	<b>28</b>	<b>3%</b>
	<b>1061</b>	

**Fonte:** ABIPLAST, 2019

Pelos dados da Tabela 22, observa-se que as empresas recicladoras de plásticos no Brasil, estão mais concentradas no Sul e Sudeste do país, que também são as regiões de maior concentração populacional e, conseqüentemente, de maior geração de RSU, onde há maior disponibilidade do serviço de coleta seletiva (Tabela 5).

Já a Figura 45 ilustra que um total de 550 mil toneladas de plásticos pós-consumo foram reciclados no Brasil no ano de 2016, representando um índice 25,8% de reciclagem plásticas e equiparáveis pós-consumo (ABIPLAST, 2019). Houve uma recuperação do volume reciclado e do índice de reciclagem em 2016 comparado com o ano anterior, 2015, porém em 2016 tanto volume quanto o índice de reciclagem estavam levemente abaixo do reportado em 2014.

**Figura 45** - Evolução do consumo aparente e índice de reciclagem mecânica de embalagens e equiparáveis do setor plástico (em milhares de toneladas) no Brasil



**Fonte:** (ABIPLAST, 2019)

De acordo com a ABIPLAST, a reciclagem de embalagens plásticas e equiparáveis oscila de acordo com o momento econômico, mas mostra que a atividade vem apresentando um desempenho melhor na reciclagem de materiais do que o crescimento da atividade. O índice de reciclagem apresentou uma retração em 2015 por conta da fraca demanda, mas uma melhora de 16% no índice em 2016 (Figura 45), frente acréscimo de aproximadamente 4% do consumo de embalagens, evidenciando a melhora na eficiência da atividade de reciclagem e retirada das embalagens do meio ambiente (ABIPLAST, 2019).

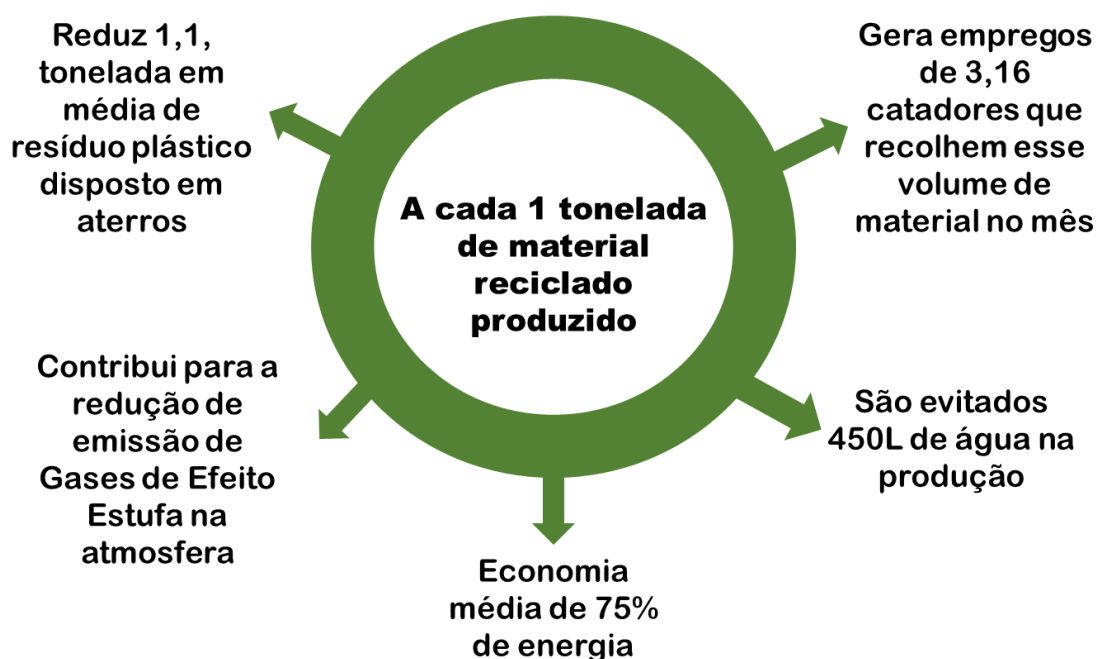
Para muitos materiais, a própria indústria produtora de matéria-prima recicla seus produtos. No caso do plástico, há uma indústria recicladora estabelecida no Brasil. Devido à complexidade do material plástico, surgiu a indústria de reciclagem, responsável pela aquisição da sucata e dos resíduos para fabricação da matéria-prima reciclada. Essa indústria fabrica as novas matérias-primas que entrará novamente no processo produtivo.

Além do benefício do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, a atividade da reciclagem das embalagens plásticas pós-consumo também traz



vários benefícios sociais, conforme mostra a Figura 46. Para cada tonelada de material plástico reciclado produzido, reduz em 1,1 tonelada de resíduo plástico disposto em aterros e gera 3,16 empregos para cada tonelada de resíduos plásticos por mês. Outros benefícios da reciclagem mecânica de plásticos destacados na figura são os relacionados à redução de impacto ambiental, como a economia de água e energia e, a redução de emissão de gases de efeito estufa no processo de obtenção de plástico reciclado, comparado com o processo para obtenção da matéria-prima virgem.

**Figura 46** - Benefícios socioambientais da reciclagem de materiais plásticos



**Fonte:** ABIPLAST, 2019

Não há informação oficial de números de recicladores que processam embalagens plásticas flexíveis pós-consumo e da capacidade instalada. Em relação às informações do percentual de plásticos flexíveis nos resíduos obtidos pela coleta seletiva ou outros serviços de coleta, dão conta de que este percentual varia de localidade a localidade. Porém, quando são divulgados como composição gravimétrica dos resíduos sólidos, sempre são percentuais baixos. Com interesse comercial principalmente pelas embalagens mono-material, sendo as multicamadas ou as muito contaminadas, na maioria das vezes descartadas em aterros sanitários, não fechando desta maneira o ciclo da economia circular.

## V.5. Reciclagem química

Despolimerização por solvólise (hidrólise, alcoólise, metanólise, glicólise e amilose) e quebras por métodos térmicos (*pirólise à baixa e alta temperaturas, gaseificação, hidrogenação*) são os principais processos de reciclagem química. A pirólise é amplamente utilizada para reciclagem de poliolefinas e outros polímeros de adição (Panda et al., 2010).

A pirólise tem chamado a atenção por sua flexibilidade de mistura de materiais na alimentação do reator, evitando o custo da operação de separação que costuma ser alto e de baixa eficiência e ainda, gerando produtos reciclados que podem ser usados como combustível ou outros produtos químicos de valor agregado (HORODYTSKA, 2018).

### V.5.1. Pirólise

A pirólise de materiais plásticos têm sido implementada com relativa eficiência em países com elevada densidade populacional, com restritas opções de fontes energéticas convencionais e geralmente economicamente desenvolvidos (FORLIN e FARIA, 2002). Uma das grandes vantagens da pirólise é a possibilidade de utilização de muitos tipos de matéria-prima, incluindo resíduos industriais e domésticos. Diferentes tipos de pirólise foram desenvolvidos: rápida, catalítica, lenta, “*flash*” e vácuo. (PIECUCH e DA BROWSKI, 2014).

Os processos de transformação energética (pirólise e também a incineração) representam uma redução significativa do volume de materiais de embalagem pós-consumo lançados sem destinação racional no meio ambiente ou em aterros sanitários, para os quais não exista outros processos viáveis de reciclagem apropriados. Também, permite uma redução considerável da utilização de outras fontes de matérias-primas tradicionalmente utilizadas para obtenção de energia, como é o caso da queima de madeira e até de fontes não renováveis, como é o caso do óleo combustível extraído do refino do petróleo (FORLIN e FARIA, 2002).

Como vantagens relativas do processo de pirólise em relação à combustão podem ser destacadas (FORLIN e FARIA, 2002):

- (a) a possibilidade de armazenamento, transporte e utilização do produto líquido como óleo bruto;

(b) a viabilidade de refino do óleo bruto para a obtenção de monômeros para síntese de outros produtos plásticos;

(c) a transformação do óleo bruto para composição de materiais com aplicação na construção civil (isolante, impermeabilizante, etc.) e como componente de material asfáltico na construção de rodovias.

Ainda, a pirólise tem uma temperatura de processo mais baixa e emissões mais baixas de poluentes no ar (WYRZYKOWSKA et al., 2011). Além disso, a escala das plantas de pirólise é mais flexível do que instalações de incineração (CHEN et al., 2014).

As frações de RSU sujeitos à pirólise consistem principalmente de papel, tecido, plástico, resíduos de alimentos e resíduos de jardinagem. Além disso, diferentes tipos de reatores foram desenvolvidos, como leito fixo, leito fluidizado, reator de jorro ou forno rotatório. O pré-requisito para a aplicação bem-sucedida da pirólise é a escolha apropriada dos materiais de entrada e o ajuste das condições ideais do processo. Por essas razões, a adequação ou inadequação de tipos selecionados de resíduos e suas misturas para o processo de pirólise foi verificada muitas vezes por experimentos de laboratório com avaliação subsequente da quantidade e qualidade dos produtos individuais da pirólise (GRYCOVÁ et al., 2016).

O retorno ou ganho energético positivo e uma redução de impacto ambiental que justifique economicamente os processos utilizados, são os principais fatores críticos da reciclagem química pela pirólise (FORLIN e FARIA, 2002). Para isso, é requerido equipamentos e instalações apropriados para os processos, o controle e monitoramento das emissões gasosas, dos resíduos sólidos e das frações decompostas na degradação térmica.

O processo de pirólise para tratamentos dos materiais plásticos oriundos de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo tem sido motivo de vários estudos e aprimoramento da tecnologia, das condições do processo e dos equipamentos, maximizando a performance principalmente em função das condições iniciais do material (separado, limpo, misturados com outros plásticos, ou parte da mistura dos resíduos sólidos urbanos) e dos produtos resultados da pirólise, que tipicamente são: óleo de pirólise, gás de síntese e carvão (CZAJCZYNSKA et al., 2017). O interesse está no resultado do tratamento dos resíduos plásticos por pirólise, uma

vez que estes podem se tornar fonte de matéria-prima secundária ou ser usado para geração de energia a partir do tratamentos de resíduos.

Vários estudos de pirólise têm sido realizados, na maioria ainda em escala de laboratório, considerando variações nos seguintes parâmetros:

- Composição do material na entrada do processo de pirólise
  - Plástico puro, mono-material
  - Mistura de plásticos, inclusive filmes flexíveis multicamadas
  - Mistura de plásticos com madeira
  - Mistura de plásticos com papel / cartão / papelão
  - Mistura que compõe os resíduos sólidos urbanos
- Tipo de equipamento
  - Batelada ou semi-batelada
  - Leito fluidizado
  - Equipamento rotativo
  - Aquecimento por micro-ondas
- Temperatura: baixa, média, alta
- Taxa de aquecimento: baixa, média, alta

Além da composição da alimentação, conforme Tabela 18, algumas variantes do processo são: tempo de residência e temperatura do processo (°C). Dependendo das condições do processo, pode-se obter como resultado da pirólise: carvão vegetal, bio-óleo, gás, gás combustível, produtos químicos ou uma mistura deles. Em relação às variantes do processo, a pirólise pode ser classificada em: lenta ou carbonização, convencional, rápida, flash-liquido, flash-gás, vácuo, metano-pirólise e hidro-pirólise. O carvão é obtido com maior tempo de residência. Óleo, gás e outros produtos químicos são obtidos com uma combinação de tempo de residência menor e maiores temperaturas.

**Tabela 23** – Variantes do processo de pirólise

Variantes de Processo	Tempo de Residência	Temperatura do processo [°C]	Produtos obtidos
<b>Lenta</b>	Horas ou Dias	400 – 450	Carvão vegetal
<b>Convencional</b>	5 - 30 min	Até 600	Bio-óleo, carvão e gás
<b>Rápida</b>	0,5 a 5 s	500 a 550	Bio-óleo
<b>Flash-líquido</b>	<1s	< 650	Bio-óleo
<b>Flash-gás</b>	<1s	> 650	Gás-combustível
<b>Vácuo</b>	2 – 30s	400	Bio-óleo
<b>Metano-pirólise</b>	<10s	> 700	Produtos químicos
<b>Hidro-pirólise</b>	<10s	> 500	Bio-óleo e produtos químicos

**Fonte:** Adaptado de VIEIRA et al., 2014

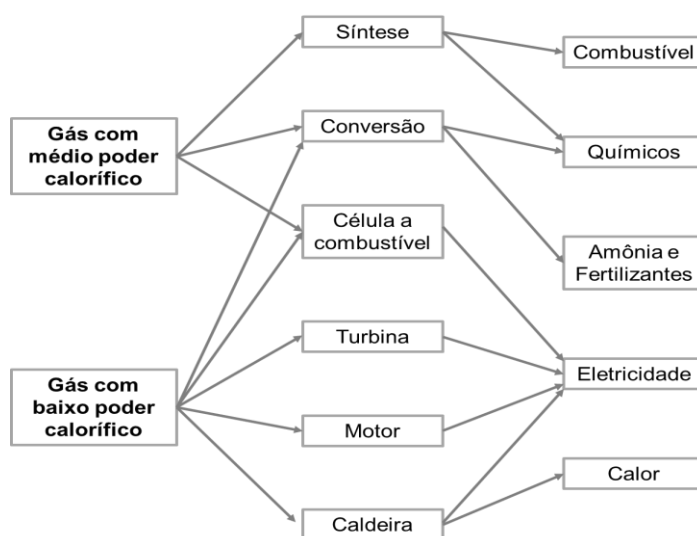
Dependendo das condições e dos parâmetros do processo de pirolização, obtém-se diferentes composição e potencial calorífico dos sub-produtos da pirólise.

O poder calorífico do gás produzido pode ser classificado da seguinte forma (LORA et al., 2004)

- Gás de baixo poder calorífico - até 5 MJ/Nm<sup>3</sup>.
- Gás de médio poder calorífico - de 5 a 10 MJ/Nm<sup>3</sup>.
- Gás de alto poder calorífico - de 10 a 40 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Conforme a Figura 47, o gás resultante pode ter diferentes aplicações. Gás com poder calorífico baixo, tem aplicação para geração de energia e calor. A partir do poder calorífico médio, pode ter aplicações como combustível ou na produção de produtos químicos e fertilizantes.

**Figura 47:** Aplicações do gás de acordo com o poder calorífico do gás



**Fonte:** Adaptado de Lora et al. (2004).

A transformação de materiais durante a pirólise pode produzir muitos poluentes, como compostos sulfurosos, metais pesados, compostos de nitrogênio, etc. A concentração desses componentes também depende fortemente da composição da matéria-prima no processo (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

### V.5.2. Tipos de reatores de pirólise utilizados para tratamento de diferentes composições de resíduos

Deve se dar grande importância para o tipo de reator usado para a pirólise de resíduos devido à grande quantidade de calor a ser transferido através da parede do reator para garantir a degradação do material (AISHWARYA e SINDHU, 2016).

Reatores descritos na literatura utilizados na pirólise de diferentes resíduos incluem reatores de leito fixo, reatores de batelada ou semi-batelada, fornos rotativos, reatores de leito fluidizado, reatores assistidos por micro-ondas e algumas soluções inovadoras, como reatores a plasma ou solares (CZAJCZYNSKA et al., 2017). Por muitos anos, os cientistas exploraram os mecanismos desse processo em laboratórios ao redor do mundo, de modo que a pirólise lenta, rápida e convencional já são bem conhecidas. Várias usinas de resíduos industriais usam com sucesso a pirólise para tratamento dos resíduos (GERLACH, 2019).

No entanto, ainda existe um desafio para viabilizar economicamente a pirólise, onde os estudos devem se concentrar na implementação, em escala industrial, dos últimos desenvolvimentos em plantas pilotos (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Normalmente, o processo de pirólise é conduzido sob pressão atmosférica. Por outro lado, a pirólise a vácuo é realizada sob pressões muito baixas, que podem ser de cerca de 5 kPa. A pirólise a vácuo tem algumas vantagens em comparação à pirólise sob pressão atmosférica, devido ao curto tempo de permanência do vapor orgânico no reator e à menor temperatura de decomposição, o que reduz a ocorrência e a intensidade de reações secundárias (ZHOU e QIU, 2010). De acordo com CZAJCZYNSKA et al. (2017), na prática é muito difícil de se operar sob a condição de vácuo e não há relato de plantas industriais utilizando esta tecnologia para tratamento de resíduos sólidos urbanos.

#### **V.5.2.1. Reatores de leito fixo e reatores de batelada**

Nos reatores de leito fixo e de batelada, a matéria-prima é aquecida externamente, por exemplo utilizando um forno elétrico. Antes da reação do experimento, o reator é inundado por um gás inerte e o fluxo de gás é mantido durante todo o processo, a fim de fornecer uma atmosfera anaeróbica. Os gases e vapores obtidos são descarregados do reator durante a pirólise. O carvão é geralmente removido após o processo. O reator de leito fixo é caracterizado por uma baixa taxa de aquecimento. A matéria-prima não se move durante o processo, sendo difícil obter um aquecimento uniforme de uma grande porção de RSU em escala industrial. Este tipo de reator pode ser usado em uma escala maior, desde que a tecnologia utilizada permita uma melhor transferência de calor (JOUHARA et al, 2017).

Reatores semi-batelada permitem a adição de reagentes e a remoção de produtos enquanto o processo está ocorrendo. Os produtos não são uniformes de lote para lote e o aumento da escala é problemático (SHARUDDIN et al., 2016). Outras desvantagens deste tipo de reator são o longo tempo de residência e a dificuldade de remover o carvão.

### V.5.2.2. Reatores de leito fluidizado

Normalmente, os reatores de leito fluidizado são usados para pirólise rápida e para o craqueamento secundário do óleo em períodos de residência mais longos. São caracterizados por uma alta taxa de aquecimento e uma boa mistura da matéria-prima. Amplamente utilizados em estudos de laboratório para descrever a influência da temperatura e do tempo de permanência no comportamento e produtos da pirólise (CHEN et al., 2014).

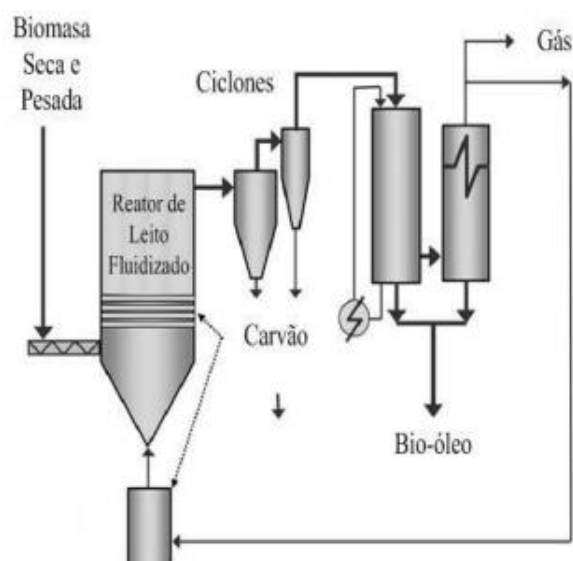
Pode fornecer vantagens notáveis sobre os processos em outros reatores nos quais o calor não é transferido com a mesma eficiência para o craqueamento de polímeros uma vez que os polímeros têm uma condutividade térmica muito baixa e alta viscosidade (CHEN et al., 2014). A matéria-prima fornecida ao reator deve ser de tamanho pequeno, para que possa flutuar no fluido e há um grande problema em separar o carvão do leito do material. Raramente é usado em projetos de larga escala.

Ding et al. (2016) provaram em escala de laboratório ser possível obter óleo de alta qualidade a partir de RSU em um reator de leito fluidizado, conforme Figura 48. Há a necessidade de atender a alguns requerimentos como a moagem do material em pedaços pequenos, para que a biomassa dos RSU tenha no máximo 1cm e plásticos com no máximo 5mm e também, a secagem à 80°C por 48 horas para remoção da umidade do material. Nestas condições o material é homogeneizado e alimentado no leito fluidizado com gás inerte aquecido.

No entanto, reportaram ser complicado e problemático aumentar a escala devido às dificuldades da manutenção da composição do material na alimentação do sistema.



**Figura 48** - Pirólise de biomassa em reator de leito fluidizado



**Fonte:** Mota et al., 2015

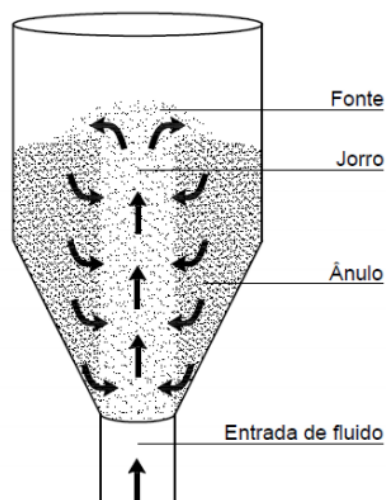
### V.5.2.3. Reatores em leito de jorro

Os reatores em leito de jorro são adequados para lidar com partículas de textura irregulares, partículas finas e sólidos pegajosos. Apresentam grande versatilidade em relação ao fluxo de gás, permitindo a operação com curtos tempos de permanência de gás. Excelente movimento dos sólidos neste reator, com altas taxas de transferência de calor entre as fases, o torna adequado para pirólise instantânea. O reator de jorro com leito cônico é apropriado para operação contínua, relevante para pirólise de biomassa em maior escala (AMUTIO et al., 2012). Também foram aplicadas com sucesso em estudos de pirólise de vários polímeros, incluindo PS, PE, PP e PET (NIKSIAR et al., 2015).

Este tipo de reator apresenta condições interessantes para a pirólise de resíduos plásticos devido à baixa segregação do leito e menor atrito em comparação com o leito fluidizado borbulhante (ELORDI et al., 2009). Os plásticos são derretidos rapidamente à medida que são alimentados no reator. Oferece alta transferência de calor entre fases e problemas menores de desfluidização com sólidos pegajosos de plásticos. O padrão de fluxo dos sólidos e a ação do bico diminuem a formação de aglomerados (ÇEPELIOGULLAR e PUTUN, 2013).

O regime de jorro é estabelecido pela injeção de um fluido em um leito de sólidos particulados. Esse fluido entra na parte inferior do equipamento e quando atinge uma vazão suficientemente alta, provoca a formação de três regiões distintas, como pode ser observado na Figura 49.

**Figura 49** - Diagrama esquemático de reator pirolítico em leito de jorro



**Fonte:** BARCELOS, 2016

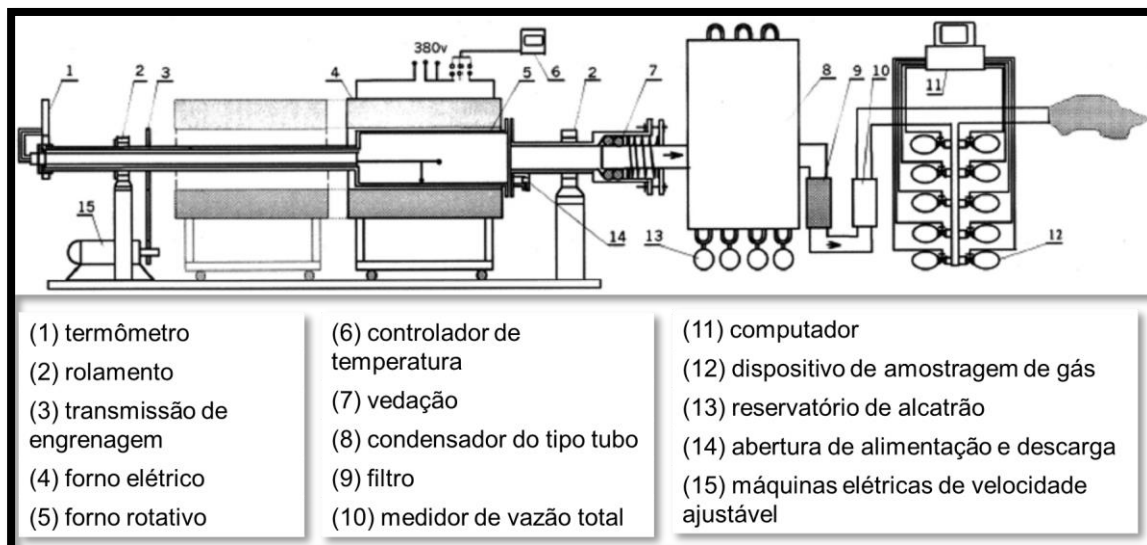
O movimento característico do leito de jorro produz um efetivo contato entre o fluido e o sólido e proporciona altas taxas de transferência de calor e massa, inclusive quando se trabalha com mistura de partículas (BACELOS e FREIRE, 2006).

Não há informações sobre o uso deste reator com RSU mistos, que requer que a matéria-prima esteja em dimensões reduzidas para fornecer as vantagens mencionadas (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

#### V.5.2.4. Reatores de forno rotativo

Reatores de leito de forno rotativo são utilizados na pirólise lenta de RSU em plantas localizadas na Alemanha e no Japão, entre outras. Realizam o processo em temperaturas em torno de 500°C com um tempo de permanência de cerca de 1h. É o único implementado com sucesso como uma solução industrial prática em várias escalas até o momento (CHEN et al., 2014; GALLOWAY, 2007; BIOGREEN-ENERGY, 2019). Entretanto, pode precisar de um pré-tratamento de RSU bastante simples (classificação, remoção de materiais indesejados e trituração) antes da pirólise para se obter produtos de maior valor (CHEN et al., 2014).

A Figura 50 apresenta uma instalação completa, considerando forno rotativo, horizontal, com aquecimento elétrico. Para este tipo de forno de pirólise, o forno também pode ser instalado inclinado.

**Figura 50:** Reator pirolítico de forno rotativo

**Fonte:** Adaptado de Czajczynska et al. (2017)

Resíduos sólidos de várias formas, tamanhos e valores de aquecimento podem ser alimentados em lotes ou continuamente. Esse recurso permite um uso extensivo. Oferecem melhor transferência de calor para a matéria-prima do que os leitos fixos e são menos complicados na operação do que os leitos fluidizados. O tempo de permanência da matéria-prima no reator é um parâmetro muito importante, pois determina a energia recebida pela carga a uma determinada taxa de aquecimento. Em fornos rotativos, o tempo de permanência geralmente é uma função do fluxo volumétrico médio e da velocidade de rotação do forno, e isso foi estudado por Fantozzi et al. (2007). Além disso, um pirolisador de forno rotativo tem muitas vantagens sobre outros tipos de reatores. Por exemplo, a rotação lenta de um forno inclinado permite uma boa mistura de resíduos, portanto, é possível obter produtos pirolíticos mais uniformes. E ainda, o ajuste flexível do tempo de permanência pode facilitar a execução da reação de pirólise em ótimas condições (LI et al., 2002).

#### V.5.2.5. Reatores assistidos por micro-ondas

Estudando processos de resíduo-à-energia (*“Waste-to-Energy”*), Lam e Chase (2012) caracterizaram com precisão a pirólise em reatores assistido por micro-ondas. Eles concluíram que o crescimento das aplicações industriais de aquecimento por micro-ondas é dificultado por uma aparente falta de entendimento dos sistemas de microondas e pelas informações técnicas para projetar

equipamentos comerciais para esse tipo de pirólise. A combinação de microondas e pirólise atraiu muita atenção devido à natureza e muitas vantagens do aquecimento por microondas. As vantagens mais importantes fornecidas pelas microondas são aquecimento interno uniforme e rápido das partículas de biomassa, resposta imediata para inicialização e desligamento rápido, alta eficiência energética, sem necessidade de agitação e controlabilidade (ZHANG et al., 2014). Esta solução foi proposta para pirólise de papel, biomassa e plásticos (AISHWARYA e SINDHU, 2016). No entanto, como observado em outros estudos, o sistema enfrenta problemas semelhantes aos do reator de leito fluidizado - as partículas da matéria-prima devem ser muito pequenas e os vapores orgânicos devem ser removidos do reator muito rapidamente, a fim de evitar reações secundárias ao craqueamento. Além disso, altos custos operacionais relacionados ao alto consumo de energia elétrica devem ser levados em consideração.

#### **V.5.2.6. Reatores de plasma**

O plasma é um gás ionizado considerado por muitos como o quarto estado da matéria, próximo ao sólido, líquido e gás. Pode ser considerado como uma mistura gasosa de elétrons e íons com carga positiva, criada pelo aquecimento intenso de um gás ou pela submissão de um gás a um forte campo eletromagnético. Pode-se distinguir dois grupos principais de plasmas, os de alta temperatura ou fusão e os de baixa temperatura ou descargas de gás. A geração térmica do plasma pode ser alcançada usando uma corrente direta ou uma descarga elétrica de corrente alternada ou usando indução de radiofrequência ou descarga de microondas. Quando partículas carbonáceas derivadas de resíduos são injetadas no plasma, elas são aquecidas muito rapidamente pelo plasma, então a matéria volátil é liberada e quebrada, dando origem a hidrogênio e hidrocarbonetos leves, como metano e acetileno (JOUHARA et al., 2017).

A pirólise plasmática está se tornando cada vez mais interessante devido à sua capacidade de gerenciamento, pois permite aquecimento rápido e pode funcionar efetivamente com consumo de energia relativamente baixo (KHONGKRAPAN et al., 2013). Huang e Tang (2007) revisaram tecnologias de pirólise por plasma térmico no tratamento de resíduos orgânicos, que produz apenas duas correntes: um gás combustível e um resíduo sólido, ambos produtos úteis e relativamente fáceis de manusear. Os rendimentos de gás variam entre 50%

e 98% em peso. Esse gás combustível é composto de  $H_2$ ,  $CO$ ,  $C_2H_2$ ,  $CH_4$  e  $C_2H_4$  e possui um valor de aquecimento na faixa de 4-9 MJ/Nm<sup>3</sup>, que pode ser considerado de médio poder calorífico, conforme Lora et al.(2004). Assim, pode ser usado diretamente como combustível em várias aplicações de energia, como queima direta em caldeiras, turbinas a gás ou motores a gás.

Guddeti et al. (2000) relataram que o resíduo sólido da pirólise de polipropileno continha quase 100% de carbono. Eles observaram algumas novas estruturas de carbono, indicando o potencial de várias aplicações de alto valor desse carbono sólido, como a produção de catalisadores de alta área superficial, adsorvente de carbono ou aplicações eletrônicas, como super capacitores.

#### **V.5.2.7. Reatores Solares**

Zeng et al. (2015) propuseram uma solução muito interessante para o aquecimento do reator de pirólise usando energia solar. As experiências de pirólise com madeira de faia foram realizadas em um reator de balão de Pyrex transparente sob um fluxo de argônio. Essa construção permite que o sistema atinja temperaturas entre 600°C e 2000°C sem nenhuma fonte de aquecimento adicional. O objetivo deste estudo foi verificar o efeito da temperatura e taxa de aquecimento na composição e na estrutura do carvão. O maior rendimento de carvão foi de cerca de 14%, que foi obtido a 600°C com uma taxa de aquecimento de 50°C/s e o menor rendimento de carvão foi de cerca de 6,5% quando a temperatura e a taxa de aquecimento foram de 2000°C e 450°C/s, respectivamente.

Embora este seja um estudo em escala de laboratório, ele merece atenção pela possibilidade de usar recursos de energia renovável para fornecer energia a reações endotérmicas, o que torna a pirólise menos poluente. Além disso, a eficiência energética aumenta. Essa deve ser a direção das soluções de design mais recentes.

#### **V.5.3. Pirólise de materiais plásticos pós-consumo e produtos obtidos**

A pirólise de plásticos foi revisada anteriormente por Sharuddin et al. (2016). Eles concluíram que a pirólise tem um grande potencial para converter resíduos de plástico em óleo, gás e carvão líquido valiosos e com energia. Portanto, é uma das melhores soluções para a conversão de resíduos de plástico e também é econômica em termos de operação. A flexibilidade que fornece em termos de

mistura de materiais na alimentação e produtos desejados pode ser alcançada alterando os parâmetros operacionais de acordo.

A pirólise oferece mais uma vantagem importante. Nesse processo, os componentes orgânicos do material, naturais ou artificiais, são decompostos e os ingredientes inorgânicos (cargas, metais, etc.) permanecem praticamente inalterados e livres de matéria orgânica e patógenos. Portanto, os metais podem ser separados e o sólido restante reutilizado ou, como último recurso, o desperdício a ser depositado em aterro seria mínimo.

A pirólise é especialmente apropriada para os resíduos que contêm diferentes plásticos e outros ingredientes orgânicos e inorgânicos, para os quais a reciclagem mecânica não é viável (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

#### **V.5.3.1. Pirólise de PEAD e PEBD**

A Tabela 19 apresenta um resumo de estudos publicados, considerando a pirólise de PEAD e PEBD em diversos tipos de reatores, em diferentes condições de temperatura e taxa de aquecimento, e os produtos resultantes em cada caso. A maioria dos resultados tem o foco na formação da parte líquida.

Marcilla et al. (2009) estudaram a pirólise de PEAD e PEBD em reator batelada, com temperatura de 30°C a 550°C e obteve um rendimento de líquido de 84,7% e 91,3% (em massa) respectivamente. Onwudili et al. (2009) obtiveram um rendimento melhor para PEBD, sendo de 89,5% (em massa) à 425°C

**Tabela 24:** Pirólise de PEAD e PEBD – Condições e resultados

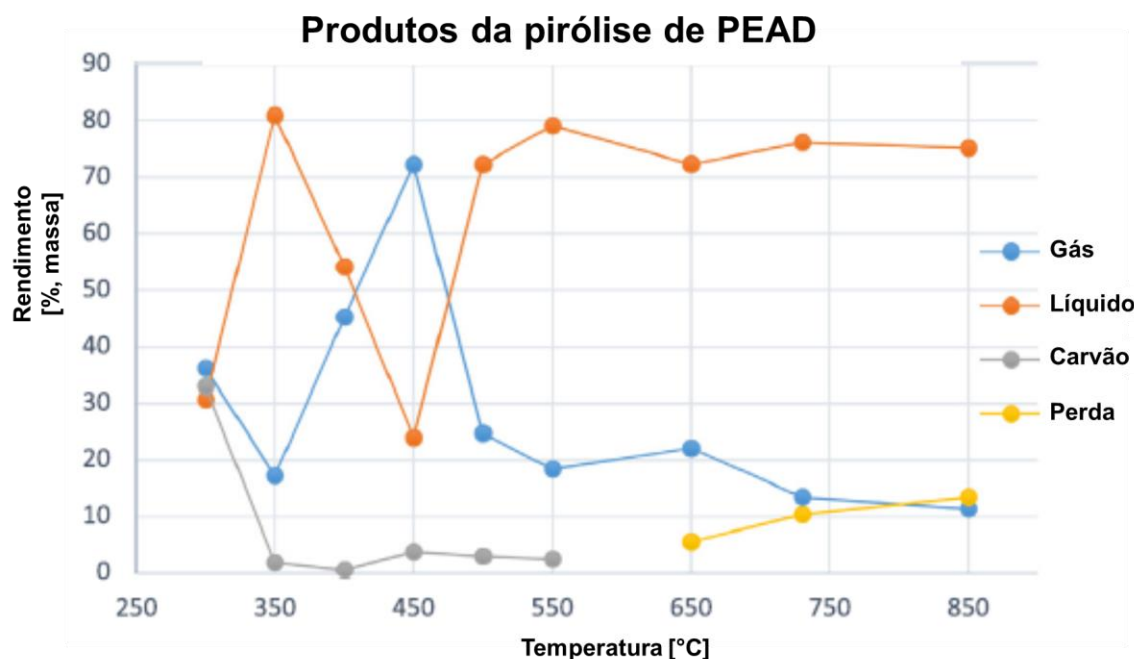
Alimentação	Reator	Referência	Condições da pirólise	Resultado da pirólise		Observações
			Temp. [°C]	Gás %	Óleo %	
PEAD	-	AHMAD et al., 2015	250	X	X	Não foi observado craqueamento do PEAD
			350	-	80,88	Pico da conversão do PEAD em óleo, rica em hidrocarbonetos da faixa de nafta com uma preponderância de hidrocarbonetos da faixa de gasolina e diesel. A distribuição de hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e naftênicos no óleo foi de 59,70; 31,90 e 8,40% em peso, respectivamente, com excelentes propriedades para combustão
			400	42,29	-	Maior produção de gás e redução da conversão em óleo
PEAD	Leito fluidizado	MASTRAL et al., 2002	>650	-	-	Grande dificuldade para medir os resíduos
PEAD	Batelada	MARCILLA et al., 2009	30 a 550	-	84,7	Nessas condições, com taxa de aquecimento de 5°C/min todos os plásticos foram convertidos em petróleo e gás sem um resíduo sólido. Os produtos líquidos consistiam em n-parafinas, 1-olefinas e olefinas em proporções bastante diferentes.
PEBD				-	93,1	
PEBD	-	ONWUDILI et al., 2009	350	-	-	Os grânulos de polietileno derreteram apenas com formação de gás muito pequena.
			410	-	-	A conversão em óleo começou a temperaturas acima de 410°C, onde o principal produto era uma cera oleosa
			>425	10	89,5	Conversão completa. O óleo marrom escuro de baixa viscosidade com pequenas quantidades de componentes cerosos. Consistia principalmente em compostos alifáticos que eram dominados por alcanos com alto número de carbono, seguidos por alcenos. Os produtos aromáticos foram 12% em peso de óleo obtido a 425°C (pressão de 1,60 MPa) e 68% em peso a 500°C (pressão de 4,31 MPa).
PEBD	Semi-batelada com misturador	PARK et al., 2002	440	-	84	Estudo para produzir óleos leves. Maior rendimento de óleo com tempo de retenção era relativamente longo de 132 min. Este óleo foi caracterizado por hidrocarboneto de baixo peso molecular. Taxa de mistura 100rpm

Fonte: Adaptado de CZAJCZYNSKA et al. (2017).

\* % (massa)

A Figura 51 mostra os resultados obtidos por pesquisas realizadas por Ahmad et al. (2015), Kumar e Singh (2010) e Mastral et al. (2002) para pirólise de PEAD, sendo possível observar que em temperaturas acima 500°C predomina a formação de líquido. À 450°C há um pico de formação de gás. Há pouca formação de carvão em temperaturas entre 350°C e 550°C. A partir dos 650°C o índice de perdas começa a aumentar.

**Figura 51** – Produtos da pirólise de PEAD



**Fonte:** Adaptado de CZAJCZYNSKA et al. (2017).

### V.5.3.2. Pirólise de PP

A pirólise tem sido aplicada para tratamento de PP rígido, mas também é comumente aplicada para BOPP (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Abbas-Abadi et al. (2014) investigaram a influência dos parâmetros de pirólise de PP no rendimento do produto e na posição do produto condensado. Eles usaram um reator semi-batelada e uma temperatura entre 420°C e 510°C. O maior rendimento de óleo foi de 92,3% em peso a 450°C. Temperaturas mais altas e mais baixas causaram diminuição na produção de óleo. Os componentes do óleo foram agrupados em quatro classes diferentes: cicloalcanos, alcanos, alcenos e aromáticos. As frações aromáticas e olefinas aumentaram, mas as frações de parafina diminuíram com o aumento da temperatura. Os autores também verificaram o efeito da taxa do fluxo de gás e do agitador no rendimento do produto e na composição do óleo. Outros pesquisadores estudaram a pirólise do PP e



obtiveram 69,82% de óleo em peso a 300°C (AHMAD et al., 2015) e 82,12% em peso a 500°C (FAKHHOSEINI e DASTANIAN 2013). Acima de 500°C, o rendimento de óleo diminuiu com o aumento da temperatura.

#### **V.5.3.3. Pirólise de PET**

FakhrHoseini e Dastanian (2013) caracterizaram os rendimentos dos produtos da pirólise do PET a 500°C em um leito fixo. A taxa de aquecimento variou entre 6 e 14°C/min. O rendimento do resíduo sólido foi inferior a 10% em peso e diminuiu com o aumento da taxa de aquecimento. O rendimento do produto líquido foi o mais alto (quase 39% em peso) quando a taxa de aquecimento foi a mais baixa. O rendimento de gás atingiu 65,12% em peso. Brems et al. (2011) investigaram a pirólise de garrafas de PET em um leito fluidizado de 420°C a 450°C. Essa faixa de temperatura foi escolhida após análise termogravimétrica como a mais favorável para este plástico. Os vapores foram condensados e o resíduo sólido foi melhorado por ativação de vapor a pressões de até 30 bar. A fração oleosa consistiu em ácido benzóico e tereftalato de monovinil, pois os componentes principais foram tereftalato de divinil, benzoato de vinil e vestígios de benzeno em menor quantidade. Além disso, o carvão da pirólise de PET tinha uma boa área específica - 286 m<sup>2</sup>/g e, após a ativação, a área específica atingiu 1012 m<sup>2</sup>/g, valor esse comparável ao carvão ativado comercial.

#### **V.5.3.4. Co-Pirólise de mistura de resíduos domésticos - biomassa e resíduos plásticos**

Os resíduos geralmente não são coletados separadamente, de acordo com seus critérios. Assim, pode ser interessante desenvolver a co-pirólise de misturas de resíduos. Para experimentos, os mais desejáveis são misturas, cuja composição se assemelha à composição de RSU ou que são amostras reais deles. Essa abordagem leva ao conhecimento da composição real e dos rendimentos dos produtos da pirólise do lixo doméstico. Devido à complexidade do RSU, a maioria das pesquisas estudou a pirólise de componentes únicos. No entanto, os componentes não agem independentemente durante a pirólise, sendo muito importante observar seu comportamento real durante a co-pirólise.

A coexistência de plásticos e matéria orgânica nos resíduos é uma vantagem definitiva, que diminui os gastos com o pré-tratamento de resíduos e aumenta a eficiência de todo o processo (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

A Tabela 20, apresenta um resumo dos resultados já realizados considerando a co-pirólise de plásticos com vários outros materiais, principalmente os coexistentes nos RSU. Independentemente do estudo, observa-se que é possível realizar a pirólise com mistura somente de plásticos, até com uma mistura real retirada de aterro, na qual havia a presença de plástico. Além da variação das composições, observa-se que são estudos considerando diferentes tipos de reatores, o que denota ainda muita exploração de conhecimento sobre o tema.

Ainda na Tabela 20, observa-se que quanto maior a participação de plásticos na mistura, maior a produção de líquidos e gases pirolíticos, independentemente do tipo de reator, chegando a atingir 42% de gás, quando a mistura é de PE e PP (DONAJ et al., 2012), e de 65% de líquido, numa mistura de papel, vidro e rica em plásticos (LÓPEZ et al., 2010). Cada condição de composição de material a ser pirolisado, tipo de reator e condições de operação, resultam em diferentes proporções de gás pirolítico, líquido pirolítico e carvão. Por esta amostra de resultados compilados, observa-se que os materiais plásticos pós-consumo, misturado com RSU ou separados, podem ser pirolisados, obtendo-se produtos de interesse comercial para utilização em indústria química, como combustível ou como matéria-prima para fabricação de outros produtos.

**Tabela 25:** Resultados de pirólise de plásticos em diferentes misturas

Entrada	Referência	Temp. [°C]	Result. pirólise* Rendimento [%]			Observações
			Gás	Óleo	Sólido	
PP, PE e PS	DEMIRBAS, 2004	-	35	-	2,2	Material de aterro. Identificado 4ppm de cloro, provavelmente de resíduo de PVC na mistura inicial. O cloro não deve ultrapassar 1% do peso inicial da mistura, para garantir a qualidade do óleo produzido. A fração oleosa consistia em parafinas, olefinas, naftenos e aromáticos, uma mistura de frações de nafta pesada (C7-C10), gasolina (C8-10) e óleo leve de gás (C10-C20); e o produto gasoso normalmente consiste em parafinidrocarbonetos C1-C4 com algumas olefinas.
PE e PP	DONAJ et al., 2012	650	37	48	-	Uma parte significativa do líquido consistia em frações pesadas (incluindo óleo pesado, cera e negro de fumo). O aumento da temperatura resultou em um aumento na produção de frações líquidas mais leves.
		728	42	44	-	
Plásticos resíduos domésticos	AISHWARY A e SINDHU, 2016	-	-	-	-	Reator: Plasma assistido por micro-ondas / Batelada Óleo produzido levemente viscoso e rico em compostos aromáticos. Identificada a presença de compostos não aromáticos, como aldeídos, ácidos, alcinos e alcenos. Além disso, o MEV foi usado para descrever a morfologia da superfície do carvão produzido e isso mostrou claramente a presença de poros na superfície devido à remoção de componentes voláteis.
Plástico	LÓPEZ et al., 2010	-	-	-	-	Amostras com 97,03%, 92,30%, 43,46% e 59,98% em peso de plásticos, respectivamente. O rendimento de gás foi de 41,5% na amostra rica em plástico e foi de até 15,2% em peso na amostra rica em papel. O rendimento líquido variou entre 35,1 e 65,7% em peso e foi o mais alto para a amostra rica em filme. A fase gasosa consistiu em hidrocarbonetos leves, CO e CO2 e pequenas quantidades de hidrogênio. a composição da matéria-prima afetou significativamente a distribuição e a qualidade dos produtos de pirólise.
Filme Rico		-	41,5	65,7	-	
Papel		-	15,2	12,4	-	
Vidro		-	-	-	-	
Resíduos de plástico de uma instalação recuperação de materiais**	ADRADOS et al., 2012	500 20°C /min	25,6	40,9	5,3	Reator: semi-contínuo não agitado O óleo consistia em compostos agrupados em três categorias: C5-C9, C10-C13 e > C13. O conteúdo aromático era muito alto (superior a 70%), apesar de a matéria-prima ser composta principalmente de poliolefinas. Os compostos mais comuns foram estireno, etil-benzeno, tolueno, a-metil estireno, xileno e naftaleno, que representaram 33,5%, 16,4%, 14,9%, 7,0%, 4,1% e 3,1%, respectivamente. Os pirogases consistiam em hidrocarbonetos leves (como metano, etano, eteno e outros com menos de 6 átomos de carbono por molécula), CO2, CO e hidrogênio. Seu valor de aquecimento era muito bom - cerca de 37 MJ / kg. Resíduo sólido: carvão com alto teor de carbono (29,3% em peso) e alto valor de aquecimento também era alto, oportunidades para uso como combustível sólido. Outras aplicações: pigmentos, componentes de asfalto e carvão ativado. No entanto, o resíduo de plásticos continha muitas impurezas, portanto 61,4% em peso do resíduo sólido era cinza.

**FONTE:** Elaborado pelo Autor, adaptado de (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

\* %peso \*\* Bizkaia Espanha - 28,2% em peso eram resíduos inorgânicos, havia materiais de embalagem não plásticos na amostra

Paradela et al. (2009) estudaram a co-pirólise lenta da madeira de pinho e os principais componentes plásticos dos resíduos sólidos municipais em equilíbrio adequado. As condições experimentais influenciaram muito o rendimento do produto e sua composição. Um aumento na temperatura da reação de 350°C para 450°C levou a uma diminuição na fração líquida e a um aumento correspondente nos produtos de gás e carvão. A temperatura também teve uma influência significativa na composição do gás. Em temperaturas mais baixas, a formação de CO e CO<sub>2</sub> foi favorecida e, em temperaturas mais altas, a formação de alcanos foi maior, o que levou a uma melhor qualidade do “syngas”<sup>8</sup> obtido. Além disso, o aumento do tempo de reação entre 5 e 30min causou um aumento no teor de alcano da fração gasosa, à custa de uma diminuição no teor de CO e CO<sub>2</sub>. O aumento deste parâmetro também levou a um aumento do conteúdo aromático da fração líquida, com uma diminuição correspondente nos hidrocarbonetos alifáticos formados.

O papel usado em escrita diária e para fins domésticos foi usado como material de biomassa. O papel tinha a seguinte composição: celulose 76,5% em peso, hemiceluloses 15,2% em peso, lignina 3,3% em peso e extrativos aquosos em 5% em peso. Chattopadhyay et al. (2016) investigaram a co-pirólise de plásticos e papel em diferentes proporções a 800°C. A biomassa de papel puro foi convertida em gás, líquido e carvão, que eram aproximadamente 53%, 15% e 32%, respectivamente. Por outro lado, a pirólise de uma mistura de plásticos permitiu obter cerca de 51,5% de gás, 21% de óleo e 27,5% de carvão. Efeitos sinérgicos claros foram observados entre a biomassa e os plásticos durante a co-pirólise, resultando no aumento de produtos líquidos com mais conteúdo plástico na matéria-prima, enquanto produtos gasosos e sólidos seguiram a tendência inversa. Geralmente, há várias vezes mais biomassa do que plásticos nos RSU. O mais representativo seria uma amostra contendo três vezes mais biomassa que o plástico. A pirólise dessa mistura deu cerca de 55% de produtos gasosos, 17% de líquidos e 30% de resíduo sólido.

Também, Grieco e Baldi (2012) verificaram a interação do polietileno misturado com a biomassa (papel e serragem de madeira de faia) durante a co-

---

<sup>8</sup> Syngas, também conhecido como gás de síntese, é uma valiosa mistura de gases inflamáveis de hidrogênio e monóxido de carbono e quantidades menores de metano, dióxido de carbono e hidrocarbonetos

pirólise. Eles usaram grânulos de resíduos em vez do pó normalmente usado anteriormente, porque os grânulos podem dar origem a fenômenos de transporte interno de calor e massa mais próximos das condições reais nos processos comerciais. Eles observaram que a quantidade de carvão e gás aumentou com o aumento dos materiais de biomassa e a quantidade de óleo diminuiu. A mesma conclusão foi feita por Paradela (2009).

Em geral, a co-pirólise de biomassa e polímeros sintéticos pode ser uma maneira ambientalmente correta para a transformação de resíduos em produtos com maior valor agregado, como produtos químicos ou combustíveis. Além disso, a co-pirólise permite a simplificação de processos de separação e classificação de resíduos (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

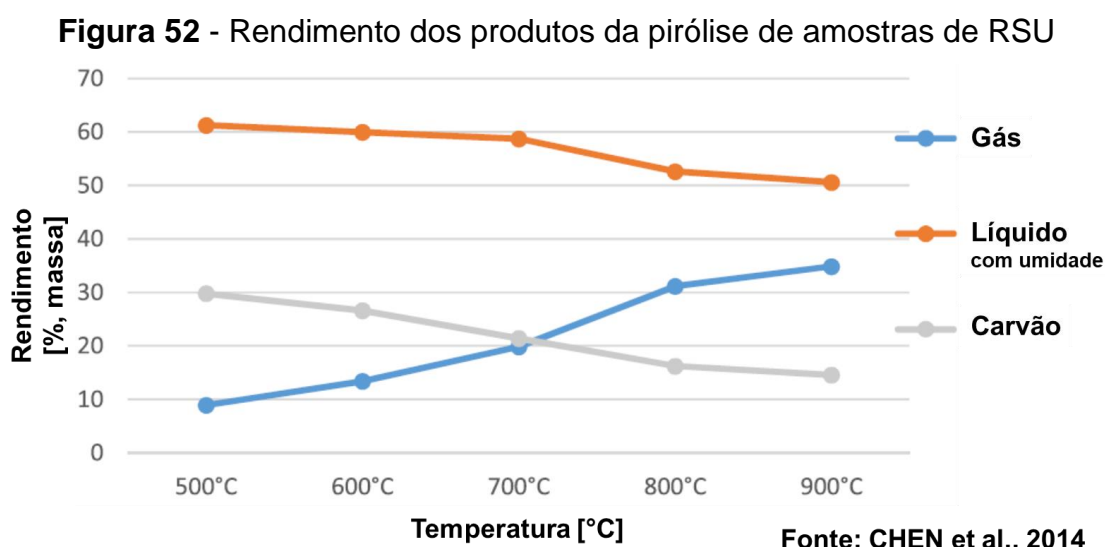
#### **V.5.3.5. - Pirólise de RSU**

Verificar a composição e a qualidade dos produtos da pirólise de RSU usando amostras reais é uma das melhores maneiras de fornecer informações para o processo, assim, alguns pesquisadores investigaram a pirólise de amostras de RSU. Em experimentos em escala de laboratório, a amostra pirolisada é geralmente especialmente preparada, isto é, seca e moída em partículas muito pequenas e depois completamente misturada para unificar a composição. É relativamente fácil ver o que acontece durante a pirólise de uma pequena amostra homogênea de material em condições de laboratório. Sob condições reais, se lida geralmente com uma mistura altamente heterogênea de RSU com flutuação significativa de tipos de materiais, tamanhos e no teor de umidade. Quando um projeto adequado é proposto, os resultados do laboratório podem ser usados para comparar a eficácia do processo em pequena e grande escala.

Luo et al. (2010) verificaram a influência do tamanho das partículas na pirólise dos RSU. As amostras coletadas de RSU foram de uma estação de transferência em Wuhan, na China. Elas foram secas e trituradas e depois separadas em três frações de tamanhos diferentes (abaixo de 5 mm, 5-10 mm e acima de 10 mm). A pirólise foi realizada em um reator de leito fixo em escala de laboratório e a temperatura do leito variou de 600 a 900°C. O tamanho e a temperatura das partículas tiveram efeitos integrados no rendimento e na composição do produto: uma temperatura mais alta resultou em um maior

rendimento de gás com menos alcatrão e carvão, e, à mesma temperatura, o rendimento de gás seco aumentou com uma diminuição no tamanho de partícula e no rendimento de carvão e alcatrão diminuiu. As diferenças devido ao tamanho das partículas no desempenho da pirólise praticamente desapareceram nas temperaturas mais altas testadas. Seria necessário estender a linha de resíduos de processamento com um triturador poderoso e seria muito difícil obter essa fragmentação de RSU mistos. Além disso, cada dispositivo adicional significa mais consumo de energia e custos extras.

Chen et al. (2014) estudaram a pirólise dos RSU em 2014. Uma mistura de resíduos de cozinha, papel, tecido, bambu, plástico e vidro foi pirolisada a temperaturas variando de 500°C a 900°C. Os rendimentos dos produtos obtidos são mostrados na Figura 52. Além disso, o valor de aquecimento do carvão aumentou com o aumento da temperatura de 18,3 MJ/kg a 500°C para 30,4 MJ/kg a 900°C. Como mostrado, os maiores rendimentos da fase líquida e do carvão foram obtidos a 500°C. O aumento da temperatura causou um aumento na produção de gás e uma diminuição no carvão e no óleo.



Fonte: CHEN at al., 2014

Velghe et al. (2011) compararam a pirólise rápida e lenta de amostras de RSU de uma estação de tratamento. O valor calorífico médio dos resíduos foi de 27 MJ/kg e as amostras foram secas antes da pirólise. Foi utilizado um reator semi-batelada em escala de laboratório. A pirólise lenta foi caracterizada por um tempo de permanência de 2 horas e uma taxa de aquecimento lenta (4°C/min) até 550°C. Por outro lado, a pirólise rápida foi caracterizada por um curto tempo de

permanência (apenas alguns segundos) a uma temperatura constante de 450°C, 480°C, 510°C e 550°C. A pirólise lenta produziu aproximadamente 48% em peso de líquido ( $30,5 \pm 2,1\%$  em peso de água e  $17,5 \pm 2,1\%$  em peso de óleo) seguido por cerca de 18% em peso de resíduo sólido e 34% em peso de gás. A melhor temperatura para pirólise rápida foi de 510°C e a essa temperatura o rendimento de óleo foi o mais alto,  $67,0 \pm 0,4\%$  em peso. Essa fração líquida continha o maior rendimento de material ceroso e óleo. O óleo tem o menor teor de água e um valor satisfatório de aquecimento por calor, o que o torna promissor como combustível. A fração oleosa era rica em hidrocarbonetos alifáticos (63,5% com 44,1% de alcenos) além de 23,5% de compostos aromáticos. Os hidrocarbonetos alifáticos C<sub>8</sub>-C<sub>28</sub> podem ser úteis como matéria-prima química em várias indústrias. Por outro lado, a pirólise lenta não resultou em fração cerosa no produto líquido. O produto líquido obtido foi separado em uma fração rica em água e uma fração oleosa. O rendimento do óleo era baixo, mas sua composição consistia principalmente em hidrocarbonetos alifáticos (mais de 70%), que são altamente desejáveis como fonte de produtos químicos valiosos. Além de ter um baixo teor de água, o óleo tem um valor de aquecimento comparável ao do Diesel, o que o torna um bom candidato para uso como combustível.

Além disso, a fase gasosa obtida também apresentava excelentes propriedades, continha principalmente hidrocarbonetos e um valor de aquecimento em torno de 20 MJ/Nm<sup>3</sup>. Etano, eteno, propeno, 2-metil-1-propeno, pentano, 2-metil-1-penteno e acetaldeído estavam presentes em proporções significativas e o gás também pode ser valioso como matéria-prima para a indústria química.

Dong et al. (2016) também estudaram a pirólise e a gaseificação de RSU, mas eles escolheram um leito de fluidização. Eles consideraram a influência do teor de temperatura e umidade na conversão de RSU. Uma amostra de resíduos simulada foi composta por resíduos alimentares (29% em peso de arroz e 29% em peso de repolho), papelão (13% em peso), plástico (17% em peso de polietileno e 3% em peso de PVC), têxtil (2% em peso), madeira (5% em peso) e borracha (2% em peso). O teor de umidade era de 9,2% em peso. A temperatura desempenhou um papel importante na pirólise de RSU e os pesquisadores descobriram que o

rendimento de “syngas”<sup>9</sup> aumentou de 60,1% em peso ou 1,0 Nm<sup>3</sup>/kg-RSU a 550°C para 68,8% em peso ou 1,2 Nm<sup>3</sup> / kg-RSU a 850°C. Ao mesmo tempo, os rendimentos de alcatrão e carvão diminuíram. Os principais componentes obtidos das “syngas” a 650°C foram CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> com a concentração em torno de 9% em mol, 5,5% em mol, 5% em mol, 4% em mol, 3% molar, 0,5% mol e 0,1% mol, respectivamente. O menor valor de aquecimento foi de aproximadamente 6 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Como o próximo passo após a pirólise foi a gaseificação, os pesquisadores não consideraram a composição de carvão ou líquido. No entanto, as propriedades do “syngas” tornaram-no um bom combustível gasoso.

#### **V.5.4. Produtos de pirólise e suas possíveis aplicações**

Normalmente, a pirólise de resíduos visa à recuperação de energia, porque os produtos geralmente têm boas propriedades como combustíveis e a energia é sempre um produto desejável, fácil de vender. Além disso, partes dos produtos podem ser utilizados para atender à demanda de energia da própria reação de pirólise. A pirólise também torna possível converter resíduos em uma fonte de energia para domicílios (JOUHARA et al., 2017) e em larga escala as plantas de pirólise podem usar os produtos de pirólise para outros fins, o que aumenta a lucratividade do processo. A complexa composição do óleo pirolítico e algumas propriedades do carvão podem torná-lo favorável como matéria-prima para alguns setores da indústria e algumas proposições são mencionadas a seguir.

Os rendimentos obtidos pela pirólise do plástico, a 600°C-700°C em um reator de leito fluidizado, fornecem diretamente 15% a 30% de olefinas gasosas dos resíduos, que podem ser usados imediatamente em uma instalação de polimerização. O líquido constituído por componentes do tipo nafta deve ser atualizado para olefinas ou outros produtos químicos, utilizando as tecnologias petroquímicas disponíveis. Alguns dos hidrocarbonetos de menor valor também podem ser usados para fornecer energia para impulsionar o processo de pirólise. O refino de poliolefinas apenas por pirólise (com uma eficiência de 25%) pode cobrir

---

<sup>9</sup> Syngas, também conhecido como gás de síntese, é uma valiosa mistura de gases inflamáveis de hidrogênio e monóxido de carbono e quantidades menores de metano, dióxido de carbono e hidrocarbonetos



até 20% da matéria-prima total de monômeros, aumentar a taxa de recuperação de resíduos e reduzir o consumo de combustíveis fósseis (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

#### **V.5.4.1. Gás pirolítico**

A pirólise de plásticos produz gás pirolítico, dos quais os principais componentes são hidrocarbonetos leves: metano, etano, eteno, propano, propeno, butano e buteno. Este gás tem um valor calorífico significativo, por exemplo, o valor de aquecimento do gás de PP e PE variou entre 42 e 50 MJ/kg (JUNG et al., 2010).

Por sua vez, a co-pirólise de polímeros e biomassa leva a uma maior produção de CO e CO<sub>2</sub> especialmente em temperaturas mais baixas. Finalmente, o pirogás de RSU consistem em CO<sub>2</sub>, CO, hidrogênio, metano e outros hidrocarbonetos leves com um valor médio de aquecimento de cerca de 15 MJ/Nm<sup>3</sup>, o que aumenta com o aumento da temperatura (HWANG et al., 2014). A demanda mais adequada de pirogás é seu uso como fonte de energia necessária para o próprio processo de pirólise. No entanto, o gás de escape deve ser controlado. Usualmente a composição precisa dos resíduos não é conhecida, portanto, alguns compostos indesejados podem aparecer no pirogás. Portanto, devem ser usadas unidades de controle de emissões e dispositivos de limpeza de gás e não importa se o gás será queimado ou não.

#### **V.5.4.2. Óleo pirolítico**

O óleo pirolítico oferece mais oportunidades de uso que o gás, mas, dependendo da composição da matéria-prima e dos parâmetros do processo, a composição do produto líquido da pirólise pode diferir radicalmente. O óleo pirolítico dos plásticos tem um valor de aquecimento mais alto, cerca de 30-45 MJ/kg, dependendo do polímero e contém uma fração aquosa menor (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Ahmad et al. (2015) compararam o óleo da pirólise de PP e HDPE com gasolina e diesel. A tabela 21, apresenta propriedades físicas como viscosidade, número de octanas do líquido de pirólise e número de octanas do motor, ponto de fluidez, ponto de inflamação ou índice de diesel podem ser uma boa indicação da

qualidade do óleo pirolítico como combustível (Ahmad et al., 2015 e KHAN, 2016). O valor de aquecimento de óleos de resíduos plásticos misturados pode ser estimado em 40 MJ/kg (LOPÉZ, 2010 e ADRADOS, 2012).

**Tabela 26:** Comparação de algumas propriedades do óleo pirolítico de alguns polímeros com combustíveis líquidos padrão

Propriedades	PEAD	PP	Gasolina	Diesel
Valor de aquecimento / calorífico (MJ/kg)	40.5	40.8	42.5	43.0
Viscosidade à 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	5.08	4.09	1.17	1.9–4.1
Densidade à 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	0.89	0.86	0.780	0.870
Número de octanas <sup>1</sup> - pesquisa	85.3	87.6	81–85	–
Número de octanas - motor	95.3	97.8	91–95	–
Ponto de Fluidez <sup>2</sup> (pour point)	-5	-9	–	6
Flash point <sup>3</sup>	48	30	42	52
Índice de Diesel <sup>4</sup>	31.05	34.35	–	40

**Fonte:** Adaptado de CZAJCZYNSKA et al., 2017

<sup>1</sup> Octanas: Octanagem ou índice de octano, é o índice de resistência à detonação de combustíveis usados em motores no ciclo de Otto (como gasolina, álcool, GNV e GPL Auto). O índice faz relação de equivalência à resistência de detonação de uma mistura percentual de isoctano (2,2,4 trimetilpentano) e n-heptano.

<sup>2</sup> Pour point: O ponto de fluidez de um combustível líquido é definido como a temperatura mais baixa na qual um líquido deixa de fluir, o que descreve a fluidez dos combustíveis a baixas temperaturas.

<sup>3</sup> Flash Point: O ponto de inflamação de um combustível líquido é definido como a temperatura mais baixa na qual os vapores acima do líquido inflamam quando uma chama externa é aplicada

<sup>4</sup> Índice de Diesel: O índice diesel fornece uma idéia razoável sobre a qualidade da ignição dos combustíveis diesel. As propriedades de combustão do óleo diesel são descritas pelo número de cetano ou pelo índice de diesel

Pode-se resumir que a fase líquida é geralmente o produto predominante da pirólise de plásticos. Esses óleos são um material valioso, que pode ser usado de várias maneiras.

O óleo obtido a partir da pirólise do polietileno a 425°C consiste em mais de 30% em peso das frações alifáticas de C<sub>12</sub> a C<sub>18</sub> e alfa-olefinas<sup>10</sup>. Nas indústrias de

<sup>10</sup> Alfa-olefinas (ou α-olefinas) são uma família de compostos orgânicos os quais são olefinas ou alcenos com fórmula química C<sub>x</sub>H<sub>2x</sub>, distingue-se por ter uma ligação dupla na posição primária ou alfa (α).

detergente, esses componentes são matérias-primas altamente desejáveis para a fabricação de matérias-primas como ácido alquilbenzeno sulfônico e laurel éter sulfato de sódio (ONWUDILI, 2009).

A pirólise de resíduos plásticos que consistem em polietileno, polipropileno, poliestireno, poli(tereftalato de etileno) e PVC permite a extração de uma fração líquida valiosa. Os líquidos de pirólise têm um alto valor de aquecimento (37 MJ/kg) para que possam ser usados como uma alternativa aos combustíveis fósseis (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Este óleo também contém quantidades significativas de estireno, tolueno e etilbenzeno. Portanto, pode ser uma fonte de produtos químicos (ADRADOS, 2012). Esses aromáticos são altamente valiosos como solventes e precursores de uma ampla variedade de compostos, incluindo lubrificantes, detergentes, plásticos (por exemplo, poliestireno, policarbonato) e explosivos. A possibilidade de obter hidrocarbonetos aromáticos valiosos a partir de resíduos de plástico torna a pirólise mais atraente, embora não seja fácil conseguir uma extração eficiente de tais produtos químicos (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Finalmente, a co-pirólise de plástico e biomassa, dois dos componentes mais importantes do RSU, produz líquido que consiste em uma fase aquosa e alcatrão, estudado por Brebu et al. (2010). Em comparação com a degradação térmica da biomassa sozinha, a co-pirólise produz menos fase aquosa e mais óleo que consiste em hidrocarbonetos (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

#### **V.5.4.3. Carvão pirolítico**

As condições de pirólise são geralmente otimizadas para maximizar os produtos líquidos e gasosos; no entanto, também é produzida uma fração sólida denominada carvão pirolítico. O carvão pirolítico consiste principalmente de uma matriz rica em carbono que contém quase todos os compostos inorgânicos presentes nos resíduos brutos e uma quantidade significativa de subprodutos condensados formados durante o processo de pirólise e dispersos por toda a estrutura porosa sólida (MUHAMMAD et al., 2015).

O valor de aquecimento do carvão obtido da co-pirólise de resíduos (mistura de biodegradável e não biodegradável) é de aproximadamente 34 MJ/kg (WIDIYANNITA et al., 2016), o que é comparável ao carvão típico. No entanto, como esperado, alguns metais pesados e outros elementos perigosos, como S, Cl e N,

também podem ser retidos nos produtos sólidos. Portanto, é importante caracterizar completamente o carvão para avaliar seu impacto no meio ambiente e nos seres humanos. Em geral, este produto pode ser queimado para fornecer energia ao processo de pirólise ou a outros fins.

O carvão obtido na pirólise não é apenas um bom combustível, mas também pode ser processado em carvão ativado. Essa possível aplicação foi investigada por Zeng et al. (2015). A composição do carvão consistiu principalmente de carbono com conteúdo de massa superior a 75%. A uma temperatura de 2000°C, o carvão foi completamente carbonizado com quase 100% de teor de carbono. Além disso, a área de superfície aumentou de 70m<sup>2</sup>/g para 110 m<sup>2</sup>/g e o volume de adsorção também aumentou de 0,0028 cm<sup>3</sup>/g para 0,047 cm<sup>3</sup>/g quando a temperatura aumentou de 800°C para 1200°C com uma taxa de aquecimento de 50°C/s. Para fins de comparação a madeira de pinho amarelo pirolisada a 474°C em uma planta de pirólise em escala piloto produziu bio-carvão com 70,27% de carbono fixo e 186 m<sup>2</sup>/g de área de superfície medida (LEE et al., 2012).

O uso de resíduos para produzir carvão ativado reduz o custo de produção dele. Uma aplicação interessante do carvão vegetal a partir da pirólise de misturas de resíduos é sua valorização como adsorvente de poluentes. Geralmente, carvão de pirólise têm estruturas porosas compatíveis com a finalidade de adsorção. Além disso, devido às suas potenciais propriedades adsorptivas, os caracteres sólidos são bons precursores para a fabricação de carvão ativado por meio da ativação físico-química (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Em 2012, BERNARDO et al. (2012) verificaram as propriedades físico-químicas do carvão obtido na co-pirólise de madeira e plásticos, entre outros. Os metais predominantes no carvão obtido da co-pirólise de plásticos e biomassa são o magnésio (Mg), Cálcio (Ca), potássio (K) e ferro (Fe) também são elementos significativos nesse carvão. Contudo, também aparecem zinco (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdênio (Mo), manganês (Mn) e alumínio (Al). Como nenhum tratamento de ativação foi realizado, o carvão apresenta áreas superficiais relativamente baixas (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

Outra aplicação do carvão produto da pirólise da madeira é seu uso como fertilizante orgânico, o que oferece muitas vantagens, tomando-se a precaução de garantir que ele não esteja contaminado. O bio-carvão aumenta a retenção de

nutrientes e água no solo e fornece habitats para microrganismos simbióticos, aumentando assim o rendimento das culturas. Além disso, o bio-carvão também pode fixar carbono por muitos anos devido à forte resistência de sua estrutura de carbono aromático à decomposição biológica (PARK et al., 2014). Os gases e alcatrões produzidos são queimados no local para geração de calor, satisfazendo a demanda de calor do reator de pirólise e gerando calor para outros usos. A co-produção de bio-carvão e calor por pirólise lenta mostra um potencial significativo de redução de GEE. (CZAJCZYNSKA et al., 2017).

## V.6. Reciclagem energética e Incineração

Os plásticos têm um valor calorífico muito alto, que pode exceder 40 MJ/kg . Os dados de caracterização dos RSU indicam que a proporção global de plásticos é em média de 10% e pode ser maior nos países de renda média e alta. A coleta eficaz de todos os resíduos de plástico e a garantia de que eles formam uma proporção significativa da matéria-prima da instalação de incineração podem melhorar a combustibilidade dos RSU (MAKARICHI, 2018). Na prática, a reciclagem energética do plástico pós-consumo, ocorre na Europa, na Ásia e nos Estados Unidos, através da incineração dos RSU, o qual tem o plástico como um dos seus integrantes. Mas, uma grande proporção de lixo plástico não está sendo canalizada para incineração de RSU (MAKARICHI, 2018).

O processo de incineração é considerado uma das formas para tratamento dos RSU, uma vez que estes são a matéria-prima para os incineradores, que geram energia – “*Waste-to-Energy*” – (WtE). Olhando somente por este espectro, parece ser uma solução interessante. O ponto de muita discussão e de movimentos contrários vem em função de que, além da geração de energia, a incineração também gera outros subprodutos gasosos, além de um resíduo próprio do processo, as cinzas. Dependendo das condições dos RSU e do nível de contaminação inicial, os sub-produtos e resíduos finais da incineração poderão ser poluentes, mais ou menos tóxicos, representando riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Pode se citar alguns elementos típicos presentes nos sub-produtos gasosos da incineração tais como as dioxinas e gases tóxicos (PARADELA et al., 2009), sendo também uma fonte significativa de poluição por metais pesados tais como o

mercúrio, chumbo, cádmio, arsênico, cromo e berílio. Há outros elementos que também preocupam, tais como gases ácidos, hidrocarbonetos halogênicos, e outros micro-particulados presentes na emissão dos gases e nas cinzas. Como a composição dos efluentes varia com a composição dos resíduos incinerados, muitos dos sub-produtos do processo de incineração ainda estão por ser identificados. A preocupação maior, é que muitos destes elementos trazem riscos para a saúde humana e para o meio ambiente.

A solução do tratamento dos RSU através da incineração requer um alto nível de investimento para sua construção e há um custo elevado para a sua operação. Em muito dos casos, estes custos são arcados pelo poder público. Muitas empresas têm se juntado, na forma de consórcio, para obter a concessão pública, para operar este tipo de tecnologia e tem apresentado cálculos e justificativas bastante complexos, com o objetivo de obter financiamento público, de longo prazo, para viabilizar este tipo de investimento (FISCHER, 2011).

Do ponto de vista social, as incineradoras geram menos empregos por toneladas de resíduos tratados quando comparadas com outras soluções tais como a reciclagem de material pós-consumo, que se utilizada da coleta seletiva. Sendo que esta também tem um benefício social, ao dar oportunidade aos menos favorecidos que trabalham na informalidade.

Dado a todos desafios enfrentados ao longo dos anos, muito investimento foi realizado para melhorar a segurança do sistema, o controle de emissões e a sua eficiência em relação à geração de energia, promovendo o movimento “energia a partir de resíduos” (WtE – “*Waste to Energy*”).

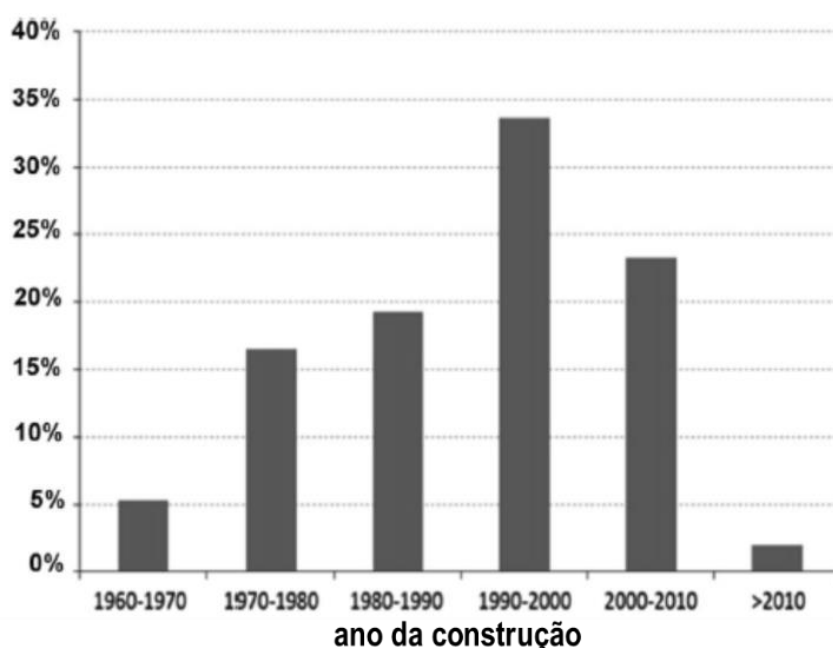
Calcula-se que os sistemas “*Waste-to-Energy*” em 2022 vão queimar, pelo menos 261 milhões de toneladas de resíduos por ano, com uma produção de energia elétrica e térmica estimada 283 TWh, em comparação a 221 TWh em 2010. No cenário descrito como o “mais otimista”, as usinas WtE poderiam tratar 396 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano, produzindo 429 TWh de energia (PRS, 2013).

Como ponto positivo, além da geração de energia, seria o fato do tratamento dos RSU pelo processo de incineração reduzir muito o volume do material.

Embora novas plantas de incineração de RSU estejam sendo construídas a cada ano, uma pesquisa realizada por Lombardi et al. (2015), que classificaram as plantas de acordo com o primeiro dia de construção, mostraram que o aumento

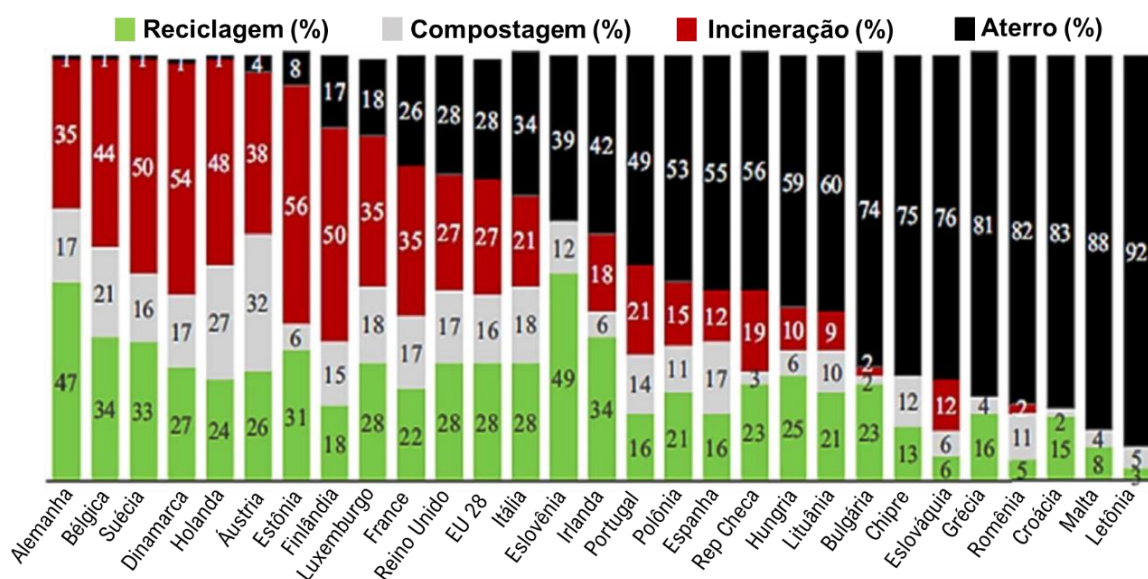
mais rápido no número de plantas ocorreu globalmente entre 1990 e 2010 (Figura 53). Também pode ser observado nesta Figura 53 que após 2010 o número de novas plantas que estavam sendo construídas diminuiu. O maior declínio ocorreu nos EUA em comparação à Europa ou à Ásia. Um dos fatores que contribuíram para esse declínio na construção de novas plantas de incineração de RSU foi a forte oposição pública decorrente de preocupações com a poluição por incineração de RSU (MAKARICHI, 2018).

**Figura 53** – Distribuição de plantas de incineração de RSU de acordo com a idade (com base no início da construção)



**Fonte:** Adaptado de LOMBARDI et al., 2015

Dinamarca, Suécia, Estônia e Finlândia estão entre os líderes globais no setor de WtE (*Waste-to-Energy*), incinerando pelo menos 50% de seus RSU, conforme Figura 54. Estes países reduziram o aterro para menos de 10% dos RSU gerados (com exceção da Finlândia, que ainda aterros sanitários 17% de sua produção total de RSU).

**Figura 54** – Tratamento e destinação de RSU na Europa

**Fonte:** Adaptado de MAKARICHI, 2018

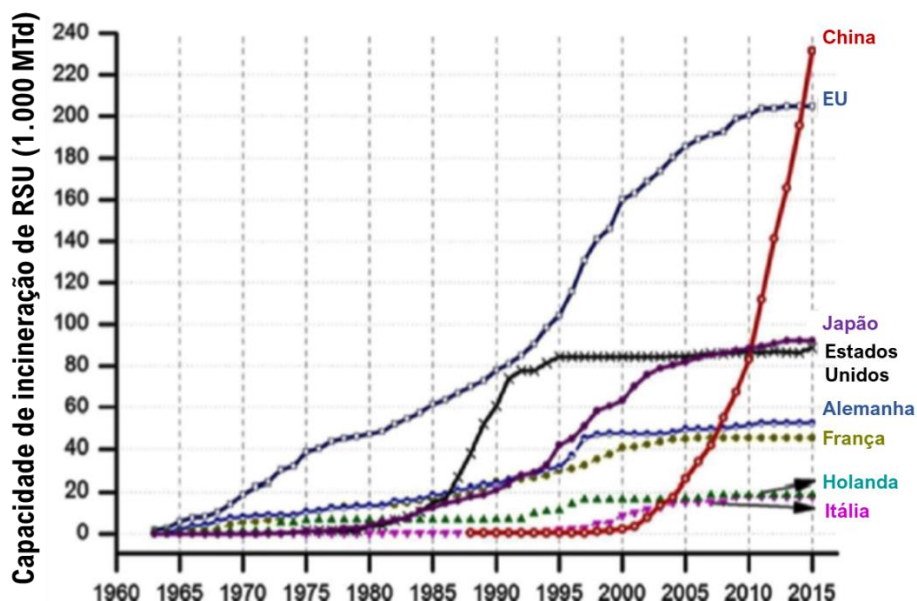
No leste da Ásia, o Japão é igualmente um jogador competitivo. 67% das 65 milhões de toneladas de RSU geradas no Japão são tratadas termicamente. Em 2013, o Japão tinha 1172 estações de tratamento térmico de RSU com capacidade para processar 182.683 t por dia de RSU. Destas, 778 usinas fazem uso de calor residual, enquanto 328 usinas possuem sistemas de CHP com capacidade de geração de aproximadamente 1,8 GW. Em 2010, a Europa possuía mais de 452 plantas operacionais de incineração de RSU com capacidade para tratar resíduos de RSU e perigosos, no valor estimado de 73,4 milhões de toneladas por ano. Até 2014, apenas o Reino Unido incinerou 35% (6,72 milhões de toneladas) do fluxo total de RSU, gerando 3,94 TWh de eletricidade (representando 1,1% do suprimento geral de energia do Reino Unido em 2014) (MAKARICHI, 2018).

Em 2014, pelo menos 80 incineradores WtE estavam em operação nos EUA. Eles tinham capacidade para processar mais de 96.000 t de RSU por dia, gerando 2769MWh vendidos diariamente para a rede nacional e recuperando 730.000 t de metais ferrosos e não ferrosos para reciclagem (ERC, 2014)

A China, que iniciou a incineração de WtE algumas décadas depois da UE e dos EUA (Figura 55), passou a ter a maior capacidade de incineração de RSU nos últimos anos (LU et al., 2017).



**Figura 55** - Capacidade de incineração de RSU para varios países entre 1960 e 2015.



Fonte: Adaptado de MAKARICHI, 2018

No Brasil, Barueri, no estado de São Paulo, deverá ser a primeira cidade do Brasil a ter uma usina de incineração de lixo doméstico. A chamada Usina de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos e Recuperação de Energia (URE) deverá estar pronta em meados de 2021 (ProteGEEr, 2018). A usina, licenciada pela Cetesb, terá capacidade para tratar 825 toneladas de lixo por dia, com potência instalada de 20MW, suficiente para abastecer 80 mil residências, em torno de 240 mil habitantes, que equivale a uma população de uma cidade similar à própria Barueri. Com base no Processo “*Waste-to-Energy*” (WtE), a obra está firmada em um sistema de Parceria Público-Privado (PPP) e tem investimento estimado entre R\$ 300 milhões a R\$ 400 Milhões. Estima-se que a prefeitura de Barueri economizará 20% dos gastos com tratamento de lixo, que atualmente é feito fora da cidade. Sobre a preocupação dos efluentes gasosos, os empreendedores afirmam que da chaminé somente sairá vapor d’água (BARUERI NA REDE, 2018). Considerando-se o percentual de 13,5% de plásticos nos RSU (Figura 9), esta usina, quando em operação, estará incinerando em torno de 111 toneladas de plásticos pós-consumo por dia.

### V.7. Políticas fiscais e tributárias para reciclagem e materiais reciclados no Brasil

Existem nas bases de dados da OCDE mais de 1.400 diferentes tipos de impostos ambientais. Nos países da OCDE são mais de 530 tipos de taxas, em mais de 49 países. Em relação à Fundos de Depósito/Reembolso, existem 60 tipos diferentes dessas taxas em 29 países. Para subsídios, 900 tipos de subsídios por motivos ambientais em 53 países (HAJAJ, 2019).

No Brasil, a PNRS há artigos que preconizam a criação de instrumentos de incentivos fiscais para reciclagem, sendo eles (BRASIL, 2010):

“Art. 8º São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

IX - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;”

“Art. 44. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, no âmbito de suas competências, poderão instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, respeitadas as limitações da Lei Complementar no 101, de 4 de maio de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal), a:

I - indústrias e entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional;”

A Tabela 27, apresenta um resumo das políticas tributárias de incentivo à reciclagem do plástico no Brasil.

**Tabela 27** – Políticas tributárias de incentivo à reciclagem do plástico no Brasil.

O que existe	Pleito para incentivar a reciclagem
Alíquota zero de IPI para desperdícios, resíduos e aparas. A Lei Nº 12.375/2010 concedia até 31/12/2018 crédito presumido na aquisição de sucata proveniente somente de cooperativas o que restringia o alcance e benefício da medida.	Crédito presumido de IPI sobre o uso de resíduo sólido como matéria-prima. Proposta é prorrogar a Lei existente estendendo o benefício a qualquer tipo de aquisição de resíduo sólido de empresas da cadeia de reciclagem.
Suspensão de PIS/COFINS sobre aquisições de sucatas para empresas do Lucro Real.	Ampliação da suspensão de PIS/COFINS para incluir também empresas de lucro presumido e Simples aliado a sistemática de crédito presumido.

Diferimento de ICMS para operações com sucatas e resíduos recicláveis. Existem estados que adotam sistemáticas de crédito presumido. Incidência de ICMS sobre transporte de sucata e burocracia para transporte.	Harmonização das regras de diferimento e crédito presumido para todos os estados. Simplificar as obrigações acessórias e diferir impostos incidentes sobre o serviço de transporte de materiais recicláveis/sucatas.
Linhas tradicionais de BNDES para financiamento.	Abatimento do imposto de Renda de recursos utilizados no investimento em projetos de reciclagem. PL 7535/2017 cria o FAVORECICLE e o PRORECICLE que preveem a aplicação de parcela do imposto de renda devido por pessoas jurídicas tributadas sobre o regime de lucro real em projetos para fomento da atividade de reciclagem.
Matéria-prima reciclada é comercializada na mesma classificação fiscal que a virgem.	Criação de uma nomenclatura específica para reciclados poderá: 1. Facilitando controles, tanto por parte do contribuinte, como também para a Fazenda 2. Estimulando o setor com simplificação e melhoria dos controles e aferição de reciclagem de materiais plásticos 3. Ajudando na mensuração da efetividade das medidas que vêm sendo adotadas em razão da Política Nacional de Resíduos Sólidos. 4. Identificando o setor de reciclagem como elo importante da cadeia produtiva 5. Facilitar o atendimento as demandas de mercado por produtos reciclados

**Fonte:** Elaborado pelo Autor, adaptado de HAJAJ, 2019

A Tabela 27 apresenta os vários pleitos do segmento de reciclagem de plásticos, visando benefícios fiscais e tributários que incentivem o desenvolvimento da cadeia de reciclagem no Brasil. Considera-se que um ponto de virada da reciclagem de plásticos no Brasil, será quando os incentivos os previstos na PNRS nos Art 8º e Art 44º sejam aprovados e implematados (Hajaj, 2019). O fato da matéria-prima reciclada ser comercializada com a mesma classificação de matéria-prima virgem, demonstra que não há diferenciação e nem benefício fiscal dado pelo governo à indústria da reciclagem de plásticos.

Somente disponibilizar coleta seletiva e alternativas tecnológicas para a reciclagem dos plásticos pós-consumo, não suficientes para viabilizar a cadeia da reciclagem do plástico. Esta atividade deve ter viabilidade financeira e gerar lucros. Neste quisito, os benefícios e incentivos fiscais e tributários, podem se tornar o fator decisivo para o desenvolvimento do setor.

## VI. COMENTÁRIOS FINAIS e CONCLUSÃO

Buscou-se durante este trabalho identificar empresas no Brasil atuando com a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo. Observou-se que a realidade encontrada é que não há conhecimento de qualquer empresa dedicada à reciclagem deste material pós-consumo. As embalagens plásticas flexíveis produzidas com mais de um material (multicamadas) não tem tido como destinação final, nenhuma das formas de reciclagem de forma consistente.

Do ponto de vista social, o setor de reciclagem mecânica de materiais pós-consumo, a partir de RSU, gera muito mais empregos por tonelada de lixo do que outras soluções para o tratamento dos RSU. Se concretizado, geraria um benefício adicional que é a matéria prima para outros setores industriais, contribuindo para a economia circular.

Alguns desafios e dificuldades mapeados para a expansão da reciclagem mecânica de embalagens plásticas flexíveis com mais de um material são:

- Descarte com mistura de diferentes materiais poliméricos, às vezes na mesma estrutura multicamadas;
- Material sujo e contaminado;
- Dificuldade no processo de triagem e separação dos diferentes materiais.

E algumas oportunidades mapeados para a expansão da reciclagem mecânica de embalagens plásticas flexíveis multicamadas são:

- Ampliar a consciência ecológica, conhecimento e engajamento dos consumidores para descartarem as embalagens plásticas flexíveis multicamadas pós-consumo da maneira correta para a reciclagem;
- Engajamento das entidades que atuam na coleta seletiva, que capturem todo o material disponível, primeiro evitando que o mesmo acabe em local indevido, e segundo, para poder ter volume, principalmente contínuo, que encoraje as empresas recicladoras a investirem na reciclagem deste material;
- Melhoria no processo de triagem e separação dos diferentes materiais, ou de forma automática, manual ou semi-automática. Capacitação técnica dos operadores no processo de triagem e separação dos diferentes materiais;

- Viabilizar do ponto de vista econômico a implementação das tecnologias já existentes tais como separação automática, processo para delaminação de estrutura multicamadas, processo da remoção da tinta de impressão e desmetalização;
- Viabilizar a instalação de equipamento de extrusão muito mais eficientes, com todas as novas tecnologias desenvolvidas para processamento de embalagens plásticas flexíveis, tais como: alimentação forçada, dosagem automática de aditivos, dupla rosca, sistema de desagem e troca automática de filtros;
- Desenvolvimento de novos produtos com maior valor agregado, onde possam ser utilizados as resinas recicladas, também com melhores propriedades óticas e mecânicas e melhor qualidade;
- Conscientização dos consumidores para ampliar a aceitação de produtos a partir de material reciclado;

No tocante à reciclagem mecânica, todos desafios e as tecnologias, direcionam para se obter o material para extrusão, como material único (mono-material), limpo e o mais isento possível de contaminantes (tinta de impressão, adesivo de laminação, etc.). Soluções e tecnologias já existem e continuam evoluindo.

O maior desafio está em fechar esta questão de forma que se obtenha um material reciclado com melhor qualidade e propriedades, equiparadas com as do material virgem. Como consequência, o valor de mercado seria suficiente para viabilizar o investimento no processo e nas tecnologias e melhorias que atualmente estão disponíveis. Ou então, desenvolvimento de aplicações em produto de longo período de vida, que represente maior valor para o consumidor.

Entre os meios de alcançar a redução na fonte destaca-se o uso de embalagens mais duráveis e para maiores capacidades. Do ponto de vista de sustentabilidade do planeta, a estrutura de filme multicamadas melhora as características de proteção ao produto, ampliando tempo de vida (*“shelf-life”*), reduzindo desperdícios. Isso porém, impacta no processo de reciclagem mecânica, principalmente na qualidade da resina reciclada. Soluções a este tema já estão sendo endereçadas, com o objetivo de aumentar a reciclabilidade dos materiais, principalmente visando o uso em sua aplicação original, da economia e racionalização de recursos naturais não renováveis e da redução do impacto

ambiental ao evitar o seu descarte não racional pós-consumo. Desafio maior seria para utilização para alimentos, devido às restrições relacionadas à segurança dos alimentos.

Não sendo viável a reciclagem mecânica, outras alternativas seriam a reciclagem química, reciclagem energética e incineração.

A reciclagem química apresenta tecnologias que possibilitam a transformação de plásticos com maior dificuldade de serem reciclados mecanicamente, em novos produtos químicos e insumos petroquímicos básicos, como monômeros e hidrocarbonetos. Esses elementos resultantes da reciclagem química do plástico então servem como matéria-prima base para a produção de novos produtos – que podem, ou não, ser plásticos. Uma das vantagens da reciclagem química é a possibilidade de se usar diferentes misturas plásticas, que muitas vezes dificultam a reciclagem mecânica. Resultados de vários estudos foram apresentados considerando misturas de plástico e até co-pirólise de plástico com outros materiais, como biomassa ou RSU, despertando o interesse de empresas por esta tecnologia para tratamento dos plásticos presentes nos RSU, com um mínimo de separação, podendo-se obter como resultado produtos químicos, líquidos ou gasosos, combustível e energia.

A pirólise fornece combustíveis prontos para uso de maneira fácil e segura. Normalmente, gás e/ou carvão são usados como fonte de energia, porque a energia é o produto mais fácil de utilizar e vender. Os produtos líquidos da pirólise de RSU são muito complexos e podem conter água. No entanto, a decomposição térmica de polímeros produz óleos com boas qualidades, que podem ser usados como combustível líquido ou como fonte de produtos químicos. Além disso, após o controle de qualidade e/ou algumas melhorias, o carvão pode ser usado como carvão ativado ou fertilizante.

Duas grandes empresas brasileiras do setor de plástico, uma produtora de resinas plásticas (Braskem) e outra da área de conversão (Val Group), que foram entrevistadas, após vários estudos de tecnologia e viabilidade, estão lançando plantas pilotos no mercado, baseadas em reciclagem química de embalagens plásticas pós-consumo. De início já apresenta o benefício de consumir material que via de regra, tem sido enviado aos aterros.

A solução para tratamento de resíduos através do processo de pirólise tem sido ofertada no mercado brasileiro, principalmente por “start-up’s”, cujo foco está

na geração de energia. Uma das vantagens deste processo é que ele aceita mistura de plásticos, principalmente poliolefinas, como matéria-prima na entrada. Mas acaba sendo benéfico do ponto de vista de tratamento dos RSU's, evitando que os materiais sejam enterrados nos aterros. Dentre estas, pode mencionar a ZEG Environmental, a Valora, a Wise e a EKT Global.

A vantagem da pirólise em relação à combustão é a redução de 5 a 20 vezes no volume do produto gasoso, conduzindo a uma considerável economia na purificação do gás obtido. Adicionalmente é possível obter hidrocarbonetos e, em alguns casos, produtos químicos brutos com alto valor comercial.

Na situação do material plástico estar muito misturado, inclusive com outros tipos de materiais e até carga orgânica, composição parecida com a que tem sido desgarregada nos aterros sanitários atualmente, outra alternativa de tratamento é a incineração, ou reciclagem energética, que demanda altos investimentos, principalmente para cumprimentos dos requisitos da legislação ambiental, que requer um rígido sistema de controle dos efluentes, principalmente gasosos.

Pelos resultados deste trabalho, é possível reciclar as embalagens plásticas flexíveis, mesmo as multicamadas, pelos processos mecânicos, químico e energético. Não se avaliou o diferencial do impacto ambiental entre elas através de uma avaliação de ciclo de vida e nem do ponto de índice de circularidade. O foco esteve em identificar soluções para reciclagem, com o benefício de evitar que estes resíduos acabem ocupando volume nos aterros sanitários ou sejam descartados inadequadamente no meio ambiente.

O sucesso na reciclagem de materiais de embalagem descartados pós-consumo ou retornáveis está estreitamente relacionado com fatores culturais, políticos e sócio-econômicos da população e de uma responsabilidade compartilhada entre o poder público, as empresas privadas, as ONG's e o consumidor para que os desafios nas várias etapas da cadeia de reciclagem sejam superados. Ações como educação e conscientização ambiental dos consumidores, parceria público-privado para a expansão do serviço de coleta seletiva, a melhoria no sistema de separação dos materiais, a viabilização e implementação das tecnologias disponíveis para melhorar a qualidade dos materiais reciclados, projetos que valorizem produtos com material reciclado, programas de fomento para projetos de reciclagem; redução de tributação ou isenção fiscal para a comercialização de produtos reciclados, esforço das indústrias de bens de

consumo em desenvolver materiais de embalagens de fácil reciclabilidade; e, sanções legais para ações ou agentes não integrados com sistemas de reciclagem na cadeia produção, ampliarão a atratividade da cadeia da reciclagem, promovendo uma solução ambientalmente correta para as embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil.

A pressão da sociedade, dos órgãos públicos e agentes ambientais é cada vez maior para a solução do problema. Pressão esta sobre as indústria de bens de consumo, de reduzir o uso de materiais, promover a aplicação do eco-design nas embalagens e utilização de materiais de fácil reciclagem. Sobre todos os elementos da cadeia da embalagem de plástico, desde a petroquímica até o reciclador, exigindo a participação efetiva na implementação de soluções para a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo de forma que estas não sejam descartadas nos aterros sanitários, com o apoio da área acadêmica.

Este movimento tem surtido efeito em nível global. No que tange às embalagens plásticas flexíveis laminadas pós-consumo, ainda não há muitas referências práticas de processos industriais implementados, mas há muita tecnologia em escala de laboratório sendo desenvolvidas, tanto para reciclagem mecânica, como as tecnologias de delaminação (no caso de laminação por adesivo), remoção de tintas, agentes compatibilizantes, separação por dissolução, quanto para reciclagem química, com resultados apresentados em pesquisas com diferentes tipos de reatores com diferentes misturas de plásticos ou de outros materiais com plásticos.

Com algumas destas tecnologias sendo introduzidas no Brasil, tais como uso de materiais monocamada, remoção de tinta, extrusoras com alimentação forçada, rosca dupla e degasagem, pirólise e reciclagem química, a conscientização dos consumidores em relação à separação e destinação para coleta seletiva e o apoio governamental em relação à legislação e incentivos fiscais e tributário, a expectativa é de que o panorama da reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo melhore, com aumento dos índices atuais, promovendo a economia circular e reduzindo o montante desperdiçado em aterros e lixões.



## VII. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- i. Aprofundamento no estudos e no desenvolvimento das tecnologias de delaminação e compatibilização visando ampliar as possibilidades de reciclagem de filme multicamadas, foco na viabilidade técnica e principalmente econômica.
- ii. Estudo aprofundado para identificação das melhores condições (equipamento, parâmetros de processo, localização, capacidade) para reciclagem química, via pirólise, dos RSU no Brasil.
- iii. Ampliar banco de dados e estudos de ACV, comparando impacto ambiental das diferentes rotas para a reciclagem ou destinação das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo.

## VIII. - BIBLIOGRAFIA

Abbas-Abadi, M.S., Haghghi, M.N., Yeganeh, H., McDonald, A.G., **Evaluation of pyrolysis process parameters on polypropylene degradation products**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 109, 272–277, 2014.

Abipet, Associação Brasileira da Indústria do PET, **10º. Censo da Reciclagem de PET**. 01/11/2016, disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=7>>, acesso em: 23/11/2019, 2016.

Abiplast, Associação Brasileira da Indústria do Plástico, **Perfil 2018**, Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2018/>>, 2019, acesso em: 09/12/2019

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **ABNT NBR 13230:2008: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia**, 2008

Abralatas, Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio, **A reciclagem no Brasil em número**, 05-09-2017, 2017, Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/a-reciclagem-do-brasil-em-numeros/>>, acesso em: 20/11/2019

Abralatas, Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio, **Lata de alumínio: 30 anos de economia circular**, 2019, disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/lata-de-aluminio-30-anos-de-economia-circular/>>, acesso em 19/01/2020

Abre, Associação Brasileira de Embalagem, **Meio ambiente e a indústria de embalagem**, 2012, disponível em: <[http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/07/cartilha\\_meio\\_ambiente.pdf](http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/07/cartilha_meio_ambiente.pdf) >, acesso em: 09/12/2019.

Abrelpe, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**, 2019, disponível em: < file:///C:/Users/80011008/Downloads/PanoramaAbrelpe\_2018\_2019%20(2).pdf >, acesso em 28/02/2020.

Achilias, D.S., Giannoulis, A., Papageorgiou, G.Z. **Recycling of polymers from plastic packaging materials using the dissolution-precipitation technique**, 2009, Polymer Bulletin 63, 449–465.

Achilias, D.S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A.A., Antonakou, V., 2007. **Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)**. Journal of Hazardous Materials 149, 536–542.

Adrados, A., de Marco, I., Caballero, B.M., López, A., Laresgoiti, M.F., Torres, A., **Pyrolysis of plastic packaging waste: a comparison of plastic residuals from material recovery facilities with simulated plastic waste**, 2012. Waste Management 32, 826–832.

Ahlhaus O.E., **Verpackung mit Kunststoffen**. Munich: Hanser; 1997, XVII, 502 pp.III.

Ahmad, I., Khan, M.I., Khan, H., Ishaq, M., Tariq, R., Gul, K., et al., **Pyrolysis study of polypropylene and polyethylene into premium oil products**, International Journal of Green Energy 12, 2015, 663–671.

AIMPLAS - Technological Institute of Plastics - **Final report summary – CLIPP. Study of recyclability of printed or laminated plastic packaging films using CO2 supercritical technologies**, Valencia, Espanha, 2013.

Aishwarya, K.N. e Sindhu, N., **Microwave assisted pyrolysis of plastic waste**, Procedia Technology 25, 2016, 990–997.

Akatu, Instituto Akatu, **Usina de triagem de material reciclável é inaugurada em São Paulo**, 2014, disponível em: <<https://www.akatu.org.br/noticia/usina-de-triagem-de-material-reciclavel-e-inaugurada-em-sao-paulo/>>, acesso em: 23/02/2020.

Al-AbdulRazzak, S.; Jabarin, S. A., **Processing characteristics of poly(ethylene terephthalate): Hydrolytic and thermal degradation**, Polymer International 2002, 51, 164, 2002.

Allen, A., a.criação.com / **Economia Circular e Blockchain**, Disponível em: <http://www.acriacao.com/economia-linear-economia-circular-e-blockchain/>, 9/07/2018, 2018, acesso em: 09/12/2019.

Allen, V.; Kalivas, J. H.; Rodrigues, E. G.; Applied Spectroscopy, 1999, 53, 672.

Almeida, G.S., Souza, W.B., **Engenharia dos Polímeros - Tipos de Aditivos, Propriedades e Aplicações**. 1. ed. – São Paulo: Érica, 2015.

Alves, E., Souza, G.S., Marra, R., **Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010**, Revista de Política Agrícola, Ano XX – No 2 – Abr./Mai/Jun., pág. 81 e 82, 2011.

Ambiente Brasil, **Reciclagem de Plástico**, 2019, disponível em: <[https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_plastico.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_plastico.html)>, acesso em 23/11/2019.

AMEC e Axion Consulting, **WRAP - Collection and recycling of household plastic film packaging**, 2016, disponível em: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/MST1445\\_Plastic\\_Film\\_Breifing\\_Note\\_final%20for%20web.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/MST1445_Plastic_Film_Breifing_Note_final%20for%20web.pdf), acesso em 19/01/2020

Amutio, M., Lopez, G., Artetxe, M., Elordi, G., Olazar, M., Bilbao, J., **Influence of temperature on biomass pyrolysis in a conical spouted bed reactor**, Resources, Conservation & Recycling 59, 2012, 23–31

ANCAT, Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, **Anuário da Reciclagem 2017-2018**, 05/09/2019, 2019, disponível

em: <<https://ancat.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Anua%CC%81rio-da-Reciclagem.pdf>>, acesso em: 08/02/2020.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, **Materiais em contato com alimentos – Perguntas & Respostas**, 4ª. edição, Brasília, Nov/2019, pag.18, 2019.

Anyadike, N., **Embalagens Flexíveis**, Volume 1, Editora Blucher, São Paulo, 2009.

ASTM, American Society for Testing and Materials, **ASTM D7209-06 - Standard Guide for Waste Reduction, Resource Recovery, and Use of Recycled Polymeric Materials and Products**, 2015

Aznar, M.P., Caballero, M.A., Sancho, J.A., Francés, E. **Plastic waste elimination by co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant**, 2006, Fuel Processing Technology, 87, 409–420.

Bacelos, M. S. e Freire, J. T. **Stability of spouting in conical spouted beds with inert particle mixtures**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 45, p. 808-817, 2006.

Barcelos, K.M., **Análise do potencial do leito de jorro como reator para pirólise da casca de coco: estudo experimental e simulação via CFD**. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2016.

Barros, N.G., **Propriedades de material polimérico obtido da reciclagem de embalagens multicamadas**, dissertação de mestrado em Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2013.

Barueri na rede, **Barueri terá incineração de lixo na aldeia**, 2018, publicado em 31/07/2018, disponível em: <<http://www.baruerinarede.com.br/barueri-tera-usina-de-incineracao-de-lixo-na-aldeia/>>; acesso em 11/12/2019.

Bailey, K.D. **Methods of social research**. New York, NY: The Free Press, 1987.

Bernardo, M., Lapa, N., Gonçalves, M., Mendes, B., Pinto, F., Fonseca, I., Lopes, H., **Physico-Chemical properties of chars obtained in the co-pyrolysis of waste mixtures**, Journal of Hazardous Materials 219–220, 2012, 196–202.

Bicca, V., **A reciclagem do Brasil em números**, 05/09/2017, 2017, Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/a-reciclagem-do-brasil-em-numeros/>>, acesso em: 23/11/2019.

Bio Intelligence Service, **Plastic waste in the environment. Final report.**, 02/04/2011, European Commission (DG Environment), disponível em: <<https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/plastics.pdf>>, acesso em: 19/11/2019, 2011.

Biogreen Energy, **Pyrolysis of plastics: continuous waste to energy process**, 2019, disponível em: [www.biogreen-energy.com/plastics-pyrolysis/](http://www.biogreen-energy.com/plastics-pyrolysis/), acesso em 28/12/2019.

Biswal, B., Kumar, S., Singh, R.K., **Production of hydrocarbon liquid by thermal pyrolysis of paper cup waste**, Journal of Waste Management, 2013, 1–7

Bockhorn, H.; Hentschel, J.; Hornung, A.; Hornung, U.; **Environmental engineering: Stepwise pyrolysis of plastic waste**, Chemical Engineering Science, 1999, 54, 3043.

Brasil. Governo Federal, Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado, 1988. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**; altera a Lei no. 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 03 Ago. 2010.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, MMA, Comitê Gestor Nacional de Produção e Consumo Sustentável \_ **Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis** \_ Portaria nº 44, de 13/02/2008, 2008.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, MMA, **Programa Nacional Lixão Zero**, 2019a

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 17°. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018**, 2019b.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, MMA, **O papel de cada um**, disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/7657-o-papel-de-cada-um.html>>, acesso: 18/01/2020.

Braskem, "Posicionamento da Braskem em Economia Circular", 2018, Disponível em: <http://www.braskem.com/Principal/economiacircular>, acesso em: 19/11/2019.

Braskem, **O plástico no planeta**, 2012, disponível em: <[file:///C:/Users/80011008/Downloads/Cartilha\\_Braskem%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/80011008/Downloads/Cartilha_Braskem%20(2).pdf)>, acesso em 20/12/2019.

Braskem, **Braskem anuncia estudos na área de reciclagem química**, 14/02/2019, disponível em: <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-anuncia-estudos-na-area-de-reciclagem-quimica>, acesso em: 10/12/2019

Braun, D - **Simple Methods for Identification of Plastics**, 2013, 5a. edição, Hanser Publishers, Munich, p. 76-79.

Braun, D.; Von Gentzkow, W.; Rudolf, A. P.; **Polymer Degradation and Stability**, 2002,74, 25.

Brandrup, J.; Bittner, M.; Michaeli, W.; Menges, G., **Recycling and recovery of plastics**; Willenberg, B., ed.; Hanser Publishers ed.: Munich, 1996

Brebu, M., Ucar, S., Vasile, C., Yanik, J., **Co-pyrolysis of pine cone with synthetic polymers**, Fuel 89, 2010, 1911–1918.

Breck, D. W.; **Zeolites molecular sieves: structure, chemistry and use**, John Wiley & Sons: New York, 1974.

Brems, A., Baeyens, J., Vandeele, C., Dewil, R., **Polymeric cracking of waste polyethylene terephthalate to chemicals and energy**, Journal of the Air & Waste Management Association, 61, 2011, 721–731

Briassoulis, D., Babou, E., Hiskakis, M., Scarascia, G., Picuno, P., Guardé, D., Dejean, C., 2013a. **Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe**. Waste Management & Research, 31, 1262–1278.

Briassoulis, D., Hiskakis, M., Babou, E., 2013b. **Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste**. Waste Management & Research, 33, 1516–1530.

Briassoulis, D., Hiskakis, M., Babou, E., Antiohos, S.K., Papadi, C., 2012. **Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential**. Waste Management & Research, 32, 1075–1090.

Buenrostro, O., e Bocco, G., **Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives**, 2003.

Cabral, E., **Gestão de Resíduos Sólidos**, IFCE/PGTGA, 2010.

Cadel Deinking, n.d. **The deinking process**, 2017, disponível em: <<http://cadeldeinking.com/en/>>, acesso em: 19/12/2019.

Canevarolo JR, S.V.; **Ciência dos Polímeros - Um Texto Básico Para Tecnólogos e Engenheiros**, 3ª. Edição, São Paulo, 2010.

Carrefour, **Carrefour instala máquinas de reciclagem que geram desconto em lojas de São Paulo**, São Paulo, agosto de 2016, disponível em: <<https://www.carrefour.com.br/institucional/imprensa/releases/carrefour-instala-maquinas-de-reciclagem-que-geram-desconto-em-lojas-de-sao-paulo>>, acesso em: 22/02/2020.

Carrijo, T.S., **Tratamento de resíduos agregando valor ao processo produtivo**, 15/05/2019, 2019, disponível em: <https://betaeq.com.br/index.php/2019/05/15/tratamento-de-residuos-agregando-valor-ao-processo-produtivo/>, acesso em: 08/02/2020.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Ciclosoft 2016**, Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/8>, acesso em: 02/12/2019.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Ciclosoft 2018**, Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/9>, acesso em: 02/12/2019.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Relatório técnico/Acordo Setorial de Embalagens em Geral, 2017**, disponível em: [https://sinir.gov.br/images/sinir/LOGISTICA\\_REVERSA/RELATORIOS\\_ANUAIS/E](https://sinir.gov.br/images/sinir/LOGISTICA_REVERSA/RELATORIOS_ANUAIS/E)

mbalagens\_em\_Geral/RELATORIOPARCIALFASE1\_2016.pdf, acesso em: 17/02/2019.

Çepeliogullar, Ö., Pütün, A.E., **Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis**, Energy Conversion and Management, 75, 2013, 263–270.

Cervantes-Reyes, A., Núñez-Pineda, A., Barrera-Díaz, C., Varela-Guerrero, V., Martínez-Barrera, G., Cuevas-Yañez, E., **Solvent effect in the polyethylene recovery from multilayer postconsumer aseptic packaging**, 2015. Waste Management, 38, 61–64.

Chattopadhyay, J., Pathak, T.S., Srivastava, R., Singh, A.C., **Catalytic co-pyrolysis of paper biomass and plastic mixtures (HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene) and PET (polyethylene terephthalate)) and product analysis**, Energy 103, 2016, 513–521.

Chen, D., Yin, L., Wang, H., He, P., **Pyrolysis technologies for municipal solid waste: a review**, Waste Management, 34, 2014, 2466–2486.

Chowdhury, R., Sarkar, A., **Reaction kinetics and product distribution of slow pyrolysis of Indian textile wastes**, International Journal of Chemical Reactor Engineering, 10, 2012.

Ciclo Vivo, **Boticário dá 20% de desconto para quem levar embalagens vazias**, 27/09/2018, disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/negocios/boticario-desconto-embalagens-vazias/>, acesso em: 22/02/2020.

Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., Wenzel, H., **Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling**, 2015, Journal of Environmental Management, 156, 181–199.

Cinelli, P., Schmid, M., Bugnicourt, E., Coltelli, M.B., Lazzeri, A., **Recyclability of PET/WPI/PE multilayer films by removal of whey protein isolate-based coatings with enzymatic detergents**, 2016.

Coltro, L et al, **Reciclagem de Embalagens Plásticas Flexíveis: Contribuição da Identificação Correta**, Cetea, 2013, p. 2

Coltro, L., **Relatório de reciclagem para laminados de BOPP**, CETEA, 20/01/2009, 2009, disponível em: < <https://docplayer.com.br/21489926-Simbologia-de-reciclagem-para-laminados-de-bopp-interessado-vitopel-do-brasil-ltda-rua-irma-ferraresi-s-no-votorantim-sp-cep-18110-008.html> >, acesso em 15/12/2019.

Cooperare, **Cooperativa de catadores de lixo reciclável**, 17/01/2017, disponível em: <<http://cooperare.com.br/site/2017/01/17/cooperativa-de-catadores-de-lixo-reciclavel/>>; acesso em 23/02/2020.

Corrêa, L.C., **Alternativa para o Plástico: Reciclagem Energética**, Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo, Número VI Jul-dez 2012, trab. 03 Pág. 49-60, 2012.

Crippa, A., **Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas**, 2006, Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, PR, Brasil.

Czajczynska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyzynska, R., Reynolds, A.J., Spencer, N., Jouhara, H., **Potential of pyrolysis processes in the waste management sector**, 2017.

Czerniawski J, Michniewicz B., **Specific systems of food packaging**, Agro Food Technology; 1998.

Dale, S. R. e Tibben-Lembke, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**. Reno, Nevada: Center for Logistics Management - University of Nevada, 1998.

Datamark, **Mercado de Embalagem 2016 - Uso final por peso 2016**, 2017, disponível em: <https://datamark.com.br/freestuff/>, acesso em: 16/11/2019.

Davis, M. E.; Accounts of Chemical Research, 1993, 26, 111.

Davies, A., **Lightweight plastic carrier bags**, 2014.

De Marco, I.; Caballero, B.; Torres, A.; Laresgoiti, M. F.; Chomon, M. J.; Cabrero, M. A.; **Recycling polymeric wastes by means of pyrolysis**, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2002, 77, 817.

Demajorovic, J. e Massote, B., **Acordo setorial de embalagem: avaliação à luz da responsabilidade estendida do produtor**, Revista Administração de Empresas, vol.57 no.5 São Paulo Sept./Oct. 2017, 2017.

Demirbas, A., **Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline range hydrocarbons**, J. Anal. Appl. Pyrolysis 72 (2004) 97–102

Dias, Vini, **Logística global e macro logística**. Lisboa: Edições Sílabo, 2005.

DiBenedetto, A. T.; **Tailoring of interfaces in glass fiber reinforced polymer composites: a review**, Materials Science and Engineering, A, 2001, 302, 74.

Ding, K., Zhong, Z., Zhong, D., Zhang, B., Qian, X., **Pyrolysis of municipal solid waste in a fluidized bed for producing valuable pyrolytic oils**, Clean Technologies and Environmental Policy, 18, 2016, 1111–1121.

Donaj, P.J., Kaminsky, W., Buzeto, F., Yang, W., **Pyrolysis of polyolefins for increasing the yield of monomers' recovery**, Waste Management, 32, 2012, 840–846.

Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., Weiss-Hortala, E. et al., **Effect of operating parameters and moisture content on municipal solid waste pyrolysis and gasification**, Energy Fuels 30, 2016, 3994–4001.



DOW, **Enhancing the Value of Barrier Film Recycle Streams with Dow's Compatibilizer Technology**, Retain<sup>MR</sup> Polymer Modifier, 2014, disponível em: < [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_093c/0901b8038093c374.pdf?filepath=packaging/pdfs/noreg/273-05901.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_093c/0901b8038093c374.pdf?filepath=packaging/pdfs/noreg/273-05901.pdf&fromPage=GetDoc) >, acesso em: 15/12/2019.

Dubbeling, M., **A alimentação na agenda urbana**, Revista de Agricultura Urbana no . 29 – Maio de 2015, 2015

DuPont, Fusabond<sup>MR</sup> - **Aditivos e Modificadores**, 2019, disponível em: <http://www.dupont.com.br/produtos-e-servicos/additives-modifiers.html> ; acesso em 09/12/2019

Eco.nomia \_ **O que é economia circular?** Disponível em: <http://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias>, acesso em: 10JUL2019.

Ecombes, **Light Weight Packaging Sorting Plants**, 2016, disponível em: [https://www.ecombes.com/sites/default/files/archivos\\_estudios\\_idi/light-weight-packaging-sorting-plants.pdf](https://www.ecombes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/light-weight-packaging-sorting-plants.pdf); acesso em: 08/12/2019.

Ecopex, **Madeira plástica e ecológica**, 2019, disponível em: <https://ecopex.com.br/madeira-plastica/>, acesso em: 10/12/2019.

eCycle, **Economia linear: o que é e por que é preciso mudar**, 2020, disponível em: <https://www.ecycle.com.br/7073-economia-linear.html>, acesso em 18/01/2020.

Ehrig, R. J.; Curry, M. J., **Plastics recycling: products and processes**; Ehrig, R. J., ed.; Oxford University Press: New York, 1992.

Ellen MacArthur Foundation, **The new plastics economy. Rethinking the future of plastics**, 2016.

Elordi, G., Olazar, M., Lopez, G., Amutio, M., Artetxe, M., Aguado, R. et al., **Catalytic pyrolysis of HDPE in continuous mode over zeolite catalysts in a conical spouted bed reactor**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 85, 2009, 345–351.

Embalagem Ideal, **Filmes Coex**, disponível em: <http://www.filmesplasticosjpr.com.br/filmes-coex>, acesso em: 09/05/2020.

EmbalagemMarca, **Pool de empresas recicla 136 tons de BOPP**, 2012, disponível em: < <https://www.embalagemmarca.com.br/2012/02/pool-de-empresas-recicla-136-toneladas-de-bopp/> >, acesso em 05/07/2019.

Epa, **Climate changes indicators in the USA**, 2014, disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-07/documents/climateindicators-full-2014.pdf>>, acesso em 18/12/2019.

ERC, Energy Recovery Council, **Directory of Waste-to-energy facilities in the United States**; 2014, disponível em: <http://www.wte.org>, acesso em 28/02/2020.

EU Office, Directive (EU) 2015/720 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 amending Directive 94/62/EC about **reducing the consumption of lightweight plastic carrier bags**, 2015, disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/58d93aee-f3bc-11e4-a3bf-01aa75ed71a1/language-en>, acesso em: 19/01/2020.

Exame, **Heineken troca embalagens de cerveja por 30% de desconto**, 13 jan 2016, disponível em: <https://exame.abril.com.br/marketing/heineken-troca-embalagens-de-cerveja-por-30-de-desconto/>, acesso em 22/02/2020.

Faber, M., **A importância dos rios para as primeiras civilizações**, 2011, disponível em: < [http://www.historialivre.com/antiga/importancia\\_dos\\_rios.pdf](http://www.historialivre.com/antiga/importancia_dos_rios.pdf)>, acesso em: 18/07/2019.

Fábrica de idéias, **Display Ecológico Lego**, 2014, Disponível em: <https://fabricadeideias.net/cases/case-pepsico/>, acesso em: 08/12/2019

FakhrHoseini, S.M., Dastanian, M., **Pyrolysis of LDPE, PP and PET Plastic Wastes at Different Conditions and Prediction of Products Using NRTL Activity Coefficient Model**. Arabian Journal of Chemistry, 2013.

Fantozzi, F., Colantoni, S., Bartocci, P., Desideri, U., **Rotary Kiln slow pyrolysis for syngas and char production from biomass and waste—Part I: working envelope of the reactor**, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 129, 2007, 901.

Fávaro, S.L., Freitas, A.R., Ganzerli, T.A., Pereira, A.G.B., Cardozo, A.L., Baron, O., Muniz, E.C., Giroto, E.M., Radovanovic, E., **PET and aluminum recycling from multilayer food packaging using supercritical ethanol**, 2013. The Journal of Supercritical Fluids, 75, 138–143.

Ferreira, V.R., **Compostos tensoativos**, 2016, disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/compostos-tensoativos/>, acesso em: 24/02/2020.

Fischer, G.R., Programa Ecologia em Ação - **Processamento de Resíduos - Incinerador** - 13-08-2011, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=qX9G-YFkECc&feature=youtu.be>; acesso em: 28/02/2020.

Forlin, F. S. e Faria, J. A. F., **Reciclagem de embalagens plásticas, Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 12, nº 1, p. 1-10, 2002.

Foster, A., Roberto, S.S., Igari, A.T., **Economia Circular e Resíduos Sólidos: Uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica**, 2016.

Fragmag, **Quantidade de lixo produzido no Brasil**, Disponível em: <https://www.fragmaq.com.br/blog/descubra-quantidade-de-lixo-produzido-no-brasil-e-porcentagem-do-que-e-reciclado/>, 2018, acesso em: 09/12/2019.

Fullana, A., Lozano, A., **Method for removing ink printed on plastic films** EP20130770017, 2015.

Galloway, T.R., **Appliance for converting household waste into energy**. US Patent US2007/0099039 A1, 2007.

Gamma Meccanica, Eco Clean, **Cleaning system for the removal of printing ink from flexible plastic films**, 2017.

García, S., **Procedimiento para la obtención de rPET (poli-tereftalato de etileno recuperado) a partir de láminas complejas adhesivas con poliuretanos**, 2013. ES20110000972.

García, S., **Procedimiento para la obtención de rPET (poli-tereftalato de etileno recuperado a partir de la lámina compleja, subproducto de las industrias de extrusión, terconformado y envasado**, 2011. ES20090001571.

Gecol, H., Scamehorn, J.F., Christian, S.D., Grady, B.P., Riddell, F., **Use of surfactants to remove water-based inks from plastic films**. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 189, 55–64, 2001.

Gecol, H., Scamehorn, J.F., Christian, S.D., Grady, B.P., Riddell, F.E., 2004. **Use of surfactants to remove water-based inks from plastic film: Effect of calcium ion concentration and length of surfactant hydrophobe**. Colloid and Polymer Science, 283, 154–163.

Gecol, H., Scamehorn, J.F., Christian, S.D., Grady, B.P., Riddell, F.E., 2002. **Deinking of water-based ink printing from plastic film using nonionic surfactants**. Journal of Surfactants and Detergents, 5, 363–374.

Gecol, H., Scamehorn, J.F., Christian, S.D., Riddell, F.E., 2003. **Use of surfactants to remove solvent-based inks from plastic films**. Colloid and Polymer Science, 281, 1172-1177.

Geo-Tech Polymers, **Engineering Plastics Recovery Process**, 2019, disponível em: < <http://www.geo-tech.com/>>, acesso em: 18/07/2019.

Gerlach, D., **Pyrolysis rotary kiln plants for municipal waste disposal**, 2019, disponível em: <http://www.dgengineering.de/Rotary-Kiln-Reference-Plants-Municipal-Waste-Disposal.html>, acesso em 24/12/2019.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. **Production, use, and fate of all plastics ever made**, 2017, Science Advances, 3.

Goerz, R.; **Barrier screws for film extrusion specially designed for recycle**, 1999.

Gondal, M. e Siddiqui, M.N., **Identification of different kinds of plastics using laser-induced breakdown spectroscopy for waste management**, 2007.

Goulart, E. A.; Mariotoni, C. A. e Sanchez, C. G.; **Polímeros: Ciência e Tecnologia.**, 1999, 9, 123.

Gouveia, N., **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**, 2012.

GreenMad, **Peças em Madeira Plástica**, disponível em: [https://www.greenmad.com.br/madeira\\_plastica\\_macica.php](https://www.greenmad.com.br/madeira_plastica_macica.php), acesso em 25/02/2020, 2020.

Grieco, E.M. e Baldi, G., **Pyrolysis of polyethylene mixed with paper and wood: interaction effects on tar, char and gas yields**, *Waste Management*, 32, 2012, 833– 839.

Grycová B., Koutník, I., Prysycz, A., Kaloc. M., **Application of pyrolysis process in the processing of food waste**, *Polish Journal of Chemical Technology*, 18, 2016, 19–23.

Guddeti, R.R., Knight, R., Grossmann, E.D., **Depolymerization of polypropylene in an induction-coupled plasma (ICP) reactor**, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 39, 2000, 1171–1176.

Gundupalli, S.P., Hait, S., Thakur, A., **A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling**, 2016

Haig, S., Morrish, L., Morton, R., Wilkinson, S., **Film reprocessing technologies and collection schemes**, 2012.

Hajaj, R.J., **Políticas fiscais e tributárias dos materiais recicláveis no Brasil**, Recy-Plastech 2019 - Seminário Internacional sobre novas tecnologias para reciclagem de plástico, São Paulo (Brasil), 03 e 04/09/2019, 2019.

Hamad, K., Kaseem e M., Deri, F. **Recycling of waste from polymer materials: an overview of the recent works**. *Polymer Degradation and Stability*, 98, 2801–2812, 2013.

Hannequart, J-P., **Good practices guide on waste plastics recycling a guide by and for local and regional authorities**, 2004.

Hansen, C.M. e Just, L., **Prediction of environmental stress cracking in plastics with hansen solubility parameters**, 2001. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40, 21e25.

Harman, W. e Horman, J., **O Trabalho criativo: o papel construtivo dos negócios numa sociedade em transformação**. 15<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Cultrix, 1998.

Helsen, L. e Bosmans, A.; **Waste-to-Energy through thermochemical processes: matching waste with process**, 1st Int. Symposium on Enhanced Landfill Mining | Houthalen-Helchteren | 4-6/10/2010, 2010.

Hisazumi T, Gotoh T, Irie S, **Method and apparatus for identifying plastic**, European Patent EP1286153; 2003.

Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E., 2009. **Plastics recycling: Challenges and opportunities**. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biology Science. 364, 2115–2126, 2009.

Horodytska et al.; **Plastic flexible films waste management – A state of art review**; Alicante, 2018.

How2Recycle, 2019, disponível em: <https://how2recycle.info/>, acesso em: 08/12/2019.

Hu, Y., Yang, J., Tian, J., Jia, L.J., Y. **Green and size-controllable synthesis of photoluminescent carbon nanoparticles from waste plastic bag**, 2014. RSC Adv. 4, 47169–47176.

Huang, H., Tang, L., **Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology**, Energy Conversion and Management, 48, 2007, 1331–1337.

Hwang, I.H., Kobayashi, J., Kawamoto, K., **Characterization of products obtained from pyrolysis and steam gasification of wood waste**, RDF, and RPF, Waste Manag. 34, 2014, 402–410.

IBGE, **Censo demográfico 1940/2010**, 2010, (rural/urbano) disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>, acesso em: 20/11/2019.

IBGE, **IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios para 2017**, (31/08/2017), Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para-2017>, acesso em: 20/11/2019

IBGE – **Tendências Demográficas 2000**, 2001

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Brasil ainda não tem cidades sustentáveis**, Agência IBGE de notícias, 31/05/2019, 2019, Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/10508-brasil-ainda-nao-tem-cidades-sustentaveis>, acesso em: 09/12/2019.

Impact Air Systems, Film screw compactor, 2019, disponível em: <https://www.impactairsystems.com/files/film-screw-compactor.pdf>, acesso em 08/12/2019.

Instituto de Embalagens, **Embalagem: Design, Materiais, Processos e Máquinas**, São Paulo, 2009 – pag. 42-46.

IPEA, **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**, 2012.

IPEA, Silva, S.P., **Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem** (25/01/2017), 2017, Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=292](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=292)

96:apenas-13-dos-residuos-urbanos-no-pais-vao-para-reciclagem&catid=1:dirur&directory=1, acesso em 15/01/2020.

Impact Air Systems, **Film Vacuum System**, 2017, disponível em: <https://www.impactairsystems.com/separation-solutions/film-vacuum-system-plastic-bags-film-separation-manual-sorting.html>, acesso em 23/02/2020.

Inada, K.; Matsuda, R.; Fujiwara, C.; Nomura, M.; Tamon, T.; Nishihara, I.; Takao, T.; Fujita, T.; **Resources Conservation & Recycling**, 2001, 33, 131.

ISO, International Organisation for Standardization, **ISO 15270:2008: plastics – guidelines for the recovery and recycling of plastics waste**. Genebra, Suíça, 2008.

Jayaraman, K., Bhattacharya, D. **Mechanical performance of wood fibre–waste plastic composite materials**, 2004. *Resources, Conservation and Recycling* 41, 307–319.

Jeziórska, R., **Recycling of multilayer films by reactive extrusion**, 2003. *Polimery* 48, 130–133.

Jilin, W., **Recycling of waste polystyrene foam by solvent**, 2010. *Plastics Science and Technology*, 38, 69-73.

Jorge, L. M., **A cadeia de reciclagem do plástico pós-consumo na Região Metropolitana de Porto Alegre**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

Jorge, N., **Embalagens para alimentos**, 2013, pag 19-20 e 24-28.

Jouhara, H., Nannou, T.K., Anguilano, L., Ghazal, H., **Spencer, N., Heat pipe based municipal waste treatment unit for home energy recovery**, 2017.

Jung, S.H., Cho, M.H., Kang, B.S., Kim, J.S., **Pyrolysis of a fraction of waste polypropylene and polyethylene for the recovery of BTX aromatics using a fluidized bed reactor**, *Fuel Process Technology*, 91, 2010, 277–284.

Kafruni, S., **Economia Circular**, *Correio Brasiliense*, disponível em: <http://blogs.correiobraziliense.com.br/4elementos/2019/09/24/economia-circular-esta-presente-em-764-das-industrias-brasileiras-diz-cni/economia-circular/>, acesso em: 24/11/2019.

Kaiser, K., Schmid, M., Schlumme, M., **Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review**, 2017.

Kaminsky, W.; Eger, C.; **Pyrolysis of filled PMMA for monomer recovery**, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2001, 58, 781.

Kaminsky, W.; Schimidt, H.; Simon, C. M.; **Recycling of mixed plastics by pyrolysis in a fluidized bed**, *Macromolecular Symposia*, 2000, 152, 191, 2000

Kao, C. Y.; Cheng, W. H.; Wan, B. Z.; **Investigation of catalytic glycolysis of polyethylene**, *Thermochimica Acta*, 1997, 292, 95.

Kawazumi, H., Tsuchida, A., Yoshida, T. e Tsuchida Y., **High-Performance Recycling System for Waste Plastics Using Raman Identification**, 2014.

Khan, M.Z.H., Sultana, M., Al-Mamun, M.R., Hasan, M.R., **Pyrolytic waste plastic oil and its diesel blend: fuel characterization**, *Journal Environmental Public Health*, 2016.

Khongkrapan, P., Thanompongchart, P., Tippayawong, N., Kiatsiriroat, T., **Fuel gas and char from pyrolysis of waste paper in a microwave plasma reactor**, *International Journal of Energy and Environment*, 4, 2013, 969–974.

Kumar, S. e R.K. Singh, **Recovery of hydrocarbon liquid from waste high density polyethylene**, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28, 2011, 659–667.

La Mantia F. P.; Effects of fillers on the properties of recycled polymer, *Macromolecular Symposia*, 2003, 194, 101

Lam, S.S., Chase, H.A., **A review on waste to energy processes using microwave pyrolysis**, *Energies* 5, 2012, 4209–4232.

Landim, A. P. M., Bernardo, C. O., Martins, I. B. A., Francisco, M. R., Santos, M. B., & Melo, N. R.; **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**, 2015.

Lee, C.Y., Kim, J.M., Lee, C.H., **A recycling method of multilayer packaging film waste**, 2006. EP20050028722. (patente)

Lee, J.W., Hawkins, B., Kidder, M.K., Evans, B.R., Buchanan, A.C., Day, D., **Characterization of biochars produced from peanut hulls and pine wood with different pyrolysis conditions**, 2012, *Bioresour Bioprocess* 3, 15.

Levy Neto, F. e Pardini, L.C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

Li, S.Q., Yan, J.H., Li, R.D., Chi, Y., Cen, K.F., **Axial transport and residence time of MSW in rotary kilns – Part I. Experimental**, *Powder Technology*, 126, 2002, 217– 227.

Life rPack2L, 2017. **Recycling packs to life**, 2017, disponível em; M < <http://www.liferpack2l.eu/en/>>, acesso em: 16/12/2019.

Linder, W., Thiele, A., Gorski, G., **Method for obtaining LDPE from used plastic films**, 2004. EP20020742797.

Lombardi, L., Carnevale, E., Corti, A., **A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste**, 2015.

Lontra, B.G.F., **Reciclagem mecânica de PEAD obtido a partir de sacolas plásticas**, 2011.

López, A., de Marco, I., Caballero, B.M., Laresgoiti, M.F., Adrados, A., Torres, A., **Pyrolysis of municipal plastic wastes: influence of raw material composition**, Waste Management, 30, 2010, 620–627.

Lora, E.E.S., Andrade, R.V. e Aradas, M.E.C.; **Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa**, An. 5. Enc. Energia Meio Rural, 2004.

Lu, J., Zhang, S., Hai, J. e Lei, M., **Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China: A comparison with developed regions**, 2017.

Luo, S., Xiao, B., Hu, Z., Liu, S. Y., Cai, Guan L., **Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixe bed reactor**, Bioresource Technology, 101, 2010, 6517–6520.

Macêdo, O.B., **Efeito das modificações superficiais do resíduo de concha de molusco nas propriedades térmicas e mecânicas do PP reciclado**, Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2018.

Mader, F. W.; **Plastics waste management in Europe**, Macromolecular Symposia, 1992, 57, 15.

Mählmann, C. M., Marquardt, L., Lawisch, A.A. e Lucca, J.A., **Embalagens Plásticas utilizadas na indústria de alimentos: características, propriedades, ensaios e normas técnicas**, 1999.

Maia, S.F.D., **Viabilidade técnica de plástico na fabricação do frechal utilizado na construção de habitação unifamiliar**, 2013.

Mais polímeros, **Entenda como funciona uma extrusora de plástico**, 12/08/2019, 2019, disponível em: <http://www.maispolimeros.com.br/2019/08/12/extrusora-de-plastico/>, acesso em 24/02/2020.

Makarichi, L., Jutidamrongphan, W., Techato, K., **The evolution of waste-to-energy incineration: A review**, 2018.

Mancini, S.D., **Prevenção de Resíduo Sólido**, palestra na Unesp-Sorocaba, 22/07/2019, UNESP \_ Sorocaba, 2019, disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/#!/noticia/1015/prevencao-de-residuo-solido-e-tema-de-palestra-na-unesp-sorocaba/>, acesso em 19/01/2020.

Manrich, S., Frattini, G., Rosalini, A.C., **Identificação de polímeros: uma ferramenta para a reciclagem**, São Carlos. Editora da UFSCar, 1997.

Mantovani, V.A., **Caracterização detalhadas dos resíduos sólidos domiciliares de Sorocaba visando melhorias do sistema de coleta seletiva**, 2013, pag. 69-70.



Marcilla, A., Beltrán, M.I., Navarro, R., **Thermal and catalytic pyrolysis of polyethylene over HZSM5 and HUSY zeolites in a batch reactor under dynamic conditions**, Applied Catalysis B: Environmental, 86, 2009, 78–86.

Marques, G.A., **Estudo encontra método econômico na separação dos plásticos PET e PVC para reciclagem**, 2003, Disponível em: <http://www.usp.br/agen/repags/2003/pags/163.htm>, acesso em: 25/11/2019.

Martine, G. e McGranahan, G. - **A transição urbana brasileira: trajetória, dificuldades e lições aprendidas** – Campinas: Núcleo de Estudos de População Nepo/Unicamp; Brasília: UNFPA, 2010 - p. 12-17.

Martins, A. F.; Suarez, J. C. M.; Mano, E. B.; **Polímeros: Cienc. Tecnol.**, 1999, 9, 27.

Martins, M. H.; De Paoli, M A.; **Compósito de polipropileno com material pós-consumo**, Degradação e estabilidade de polímeros, 2002, 78, 491.

Mastellone, M. L.; Perugini, F.; Ponte, M.; Arena, U.; **Polymer Degradation and Stability**, 2002, 76, 479.

Mastral, F., Esperanza, E., Garcia P., Juste, M., **Pyrolysis of high-density polyethylene in a fluidized bed reactor. influence of the temperature and residence time**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 63, 2002, 1–15.

Matos, T.F.L. e Schalch, V., **Composição dos Resíduos Poliméricos, Pós-consumo, Gerados no Município de São Carlos, SP**, 2007.

MAXWELL, J.A., **Qualitative Research Design: An Interactive Approach**. United States of America: Sage Publications Inc, 1996.

Maxiquim, relatório “**Desempenho da indústria brasileira de embalagens plásticas flexíveis - 2017**” de junho de 2018, 2018.

McKinlay, R., Morrish, L., **A summary report on the results and findings from the REFLEX project**. Axion Consulting, 2016.

Mepex Consult AS, **Basic facts report on design for plastic packaging recyclability**, 2017.

Mestriner, Fabio, **Design de Embalagem – Curso Básico**, 2a. Edição, São Paulo, 2002, Pearson Education do Brasil, pag 09-12.

Michelena, J., Pérez, E., Marco, C., García, J.M., **Procedure is for separation of polyethylene terephthalate from multi-layer laminas comprising at least one layer of polyethylene**, 2004. ES20020003006.

Mihut, C.; Captain, D. K.; Gadala-Maria, F.; **Recycling of nylon from carpet waste**. Polymer Engineering & Science, 2001, 41, 1457.

Mohan, D., Pittman, C.U., Steele, P.H., **Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review**, Energy Fuels 20, 2006, 848–889.

Moldes de Injeção de Plásticos, **Moldes de injeção de plásticos**, disponível em: <http://moldesinjecao plasticos.com.br/sistema-de-alimentacao-em-moldes/>, acesso em 06/12/2019.

Mondardo, F.H., **Compósitos de polipropileno e farinha de madeira**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Monte, S. J.; **Titanate and zirconate coupling agents in foamed polymers**, Cellular Polymers, 2001, 20, 149.

Monte, S. J.; **Plástico Industrial 2002**, 44, 72.

Monte, S. J.; **Neoalkoxy titanate and zirconate coupling agent additives in thermoplastics**, Polymers and Polymer Composites, 2002, 10, 121.

Monte, S. J.; Sugerman, G.; Mittal, K. L.; **Adhesion aspects of polymeric coatings**, ed Plenum Press: New York, 1983.

Montejo, C., Tonini, D., Márquez, M.D.C., Fruergaard Astrup, T. **Mechanical-Biological treatment: Performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization**, 2013, Journal of Environmental Management, 128, 661–673.

Moore Recycling Associates Inc., **2017 National Post-consumer Plastic Bag&fil Recycling Report - July'2019**, 2019, disponível em: <https://plastics.americanchemistry.com/2017-National-Post-Consumer-Plastic-Bag-and-Film-Recycling-Report.pdf>, acesso em 19/01/2020.

Mota, F.A.S., Viegas, E.A., Lima, A.A.S., Santos, F.F.P., Caselli, F.T.R.; **Pirólise da biomassa lignocelulósica: revisão**, 2015.

MPT, **Movimento Plástico Transforma, Etapas do processo de reciclagem do plásticos**, disponível em: <http://www.plasticotransforma.com.br/etapas-do-processo-de-reciclagem-do-plastico> acesso em 17/01/2020.

Muhammad, C., Onwudili, J.A., Williams, P.T., **Catalytic pyrolysis of waste plastic from electrical and electronic equipment**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 113, 2015, 332–339.

Mundo do plástico, **Extrusora com degasagem: O que é? Por que investir?** 13/08/2018, 2018, disponível em: <https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/gest-o/extrusora-com-degasagem-o-que-por-que-investir>; acesso em 08/12/2019.

Murphy, W.R., Otterburn, M.S., Ward, J.A. **Solvent recycling of polypropylene .1. properties of the recycled polymer**, 1979. Polymer 20, 333e336.

NAJFI, S.K., **Waste Management\_ Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review**, 2013.

Nascimento, I.R., **Recolhimento de embalagens pela indústria, através de um programa de educação ambiental: estudo de caso**, 2010.

Neuplast, **Reciclagem de BOPP**, 24/01/2019, Disponível em: <http://www.neuplast.com.br/blog/reciclagem/bopp-e-politicas-de-residuos-solidos/>, acesso em: 08/12/2019.

Niksiar, A., Faramarzi, A.H., Sohrabi, M., **Mathematical modeling of polyethylene terephthalate pyrolysis in a spouted bed**, AIChE J. 61, 2015, 1900–1911

Novolex, **Sustainability Report 2018**, 2019, disponível em: [https://novolex.com/wp-content/uploads/Novolex\\_SusReport\\_R8\\_Web\\_spreads.pdf](https://novolex.com/wp-content/uploads/Novolex_SusReport_R8_Web_spreads.pdf) acesso em: 19/01/2020, pag. 20 - 21.

Ohara, W.S., **Estudo das propriedades mecânicas da madeira plástica**, TCC, Unesp Guaratinguetá, 2011.

Oliveira, A.A. e Silva, J.T.M., **A Logística Reversa no Processo de Revalorização dos Bens Manufaturados**, 2005, disponível em <http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/view/191/43>, acesso em 16/01/2020.

Onwudili, J.A., Insura, N., Williams, P.T., **Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: effects of temperature and residence time**, J. Anal. Appl. Pyrolysis 86, 2009, 293–303.

Panda, A.K., Singh, R.K., Mishra, D.K. - **Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-a world prospective**, 2010. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 14, 233–248.

Paoli, M. A., **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2ª versão online (revisada). 2008.

Pappa, G., Boukouvalas, C., Giannaris, C., Ntaras, N., Zografos, V., Magoulas, K., Lygeros, A., Tassios, D.- **The selective dissolution/precipitation technique for polymer recycling: a pilot unit application.**, 2001. Resources, Conservation & Recycling, 34, 33 - 44

Paradela, F., Pinto, F., Gulyurtlu, I., Cabrita, I., Lapa N., **Study of the co-pyrolysis of biomass and plastic wastes**, Clean Technol. Environ. Policy 11, 2009, 115–122,

Park, J., Lee, Y., Ryu, C., Park, Y.K., **Slow pyrolysis of rice straw: analysis of products properties, carbon and energy yields**, Bioresource Technology, 155, 2014, 63–70.

Park, J.J., Park, K., Park, J., Kim, D.C., **Characteristics of LDPE Pyrolysis** 19, 2002, 658–662.

Park, J.W.; Kim, J-H.; Seo, G.; *Polymer Degradation and Stability*, 2002, 76, 495,

Payne, J., McKeown, P. e Jones, M.D., **A circular economy approach to plastic waste**, 2019.

Paszun, D. e Spychaj, T.; **Industrial & Engineering Chemistry Research** 1997, 36, 1373, 1997.

Pawlak, A., Morawiec, J., Pazzagli, F., Pracella, M., Galeski, A., **Recycling of postconsumer poly (ethylene terephthalate) and high-density polyethylene by compatibilized blending**, 2002. *Journal of Applied Polymer Science*, 86, 1473–1485.

Pereira, S.S., **A problemática dos resíduos sólidos urbanos e os instrumentos de gestão do meio ambiente na cidade de Campina Grande/PB**, 2011, disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/a-problematica-dos-residuos-solidos-urbanos-e-os-instrumentos-de-gestao-do-meio-ambiente-na-cidade-de-campina-grande-pb/>, acesso em: 13/01/2020

Pfaendner, R.; **Plástico Industrial** 2001, 37, 26, 2001.

Piecuch, T., Da Browksi, J., **Conceptual project of construction of waste incineration plant for Polczyn Zdrój** (in Polish), *Ann. Set Environ. Prot.* 16 (2014) 21–38.

Pintaudi, S. M., **Os supermercados na Grande São Paulo: contribuição ao estudo da transformação do comércio**, 1981.

Piolat, A., 2004. **Method and apparatus for recycling printed plastic films** EP20030356181.

Plastic Europe, 2016. **An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Plastic-The Facts**, 2016. Association of Plastics Manufacturers.

Plástico, **Reciclagem: separação automática de lixo facilita e aumenta a eficiência da operação**, 28/10/2015, disponível em: <https://www.plastico.com.br/reciclagem-separacao-automatizada-de-lixo-facilita-e-aumenta-eficiencia-das-operacoes/>, acesso em: 23/02/2020.

Plasticonline, **Aplicativo Estimula a Reciclagem** (04/05/2017), Disponível em: <http://www.plasticonline.com.br/2017/05/04/aplicativo-estimula-a-reciclagem/>, acesso em: 18/12/2019.

Plasticonline – **Cientistas descobrem larva que degrada plástico** (04/05/2017), Disponível em: <http://www.plasticonline.com.br/2017/05/04/cientistas-descobrem-larva-que-degrada-plastico>, acesso em: 14/12/2019.

Plastivida, O Plástico – **Esquema de separação por densidade**, disponível em: <http://www.plastivida.org.br/index.php/os-plasticos/18-os-plasticos?lang=pt>, acesso em: 20/01/2020.

Plastimax, Plastimax Máquinas para Plásticos, **Conjunto de Reciclagem PEAD - Moagem e Lavagem Plásticos**, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dgX7PLnsl5A>, acesso em 21/01/2020.

Poletto, M., **Compósitos termoplásticos com madeira - uma breve revisão**, 2017.

Poletto Filho, J.A., **Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem**, 2008. Dissertação de Mestrado, Unesp, Bauru, SP, Brasil.

Portal Saneamento Básico, **Reciclagem de embalagens plásticas flexíveis no Brasil** (16/01/2017), Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/reciclagem-de-embalagens-plasticas-flexiveis-no-brasil/>, acesso em: 10/01/2020.

Portal Saneamento Básico, **Elos da cadeia para a logística reversa. Empresas deverão realizar logística reversa para obter licença ambiental em São Paulo**, Disponível em: [https://www.saneamentobasico.com.br/empresas-logistica-reversa-licenca-ambiental/?rdst\\_srcid=1707263&utm\\_source=Newsletter&utm\\_medium=Portal%20SB&utm\\_campaign=Vin%C3%ADcius&utm\\_term=Log%C3%ADstica%20reversa&utm\\_content=Log%C3%ADstica%20reversa](https://www.saneamentobasico.com.br/empresas-logistica-reversa-licenca-ambiental/?rdst_srcid=1707263&utm_source=Newsletter&utm_medium=Portal%20SB&utm_campaign=Vin%C3%ADcius&utm_term=Log%C3%ADstica%20reversa&utm_content=Log%C3%ADstica%20reversa) , acesso em: 25/03/2019.

Portal Saneamento Básico, **Empresas deverão realizar logística reversa para obter licença ambiental em São Paulo**, Disponível em: [https://www.saneamentobasico.com.br/empresas-logistica-reversa-licenca-ambiental/?rdst\\_srcid=1707263&utm\\_source=Newsletter&utm\\_medium=Portal%20SB&utm\\_campaign=Vin%C3%ADcius&utm\\_term=Log%C3%ADstica%20reversa&utm\\_content=Log%C3%ADstica%20reversa](https://www.saneamentobasico.com.br/empresas-logistica-reversa-licenca-ambiental/?rdst_srcid=1707263&utm_source=Newsletter&utm_medium=Portal%20SB&utm_campaign=Vin%C3%ADcius&utm_term=Log%C3%ADstica%20reversa&utm_content=Log%C3%ADstica%20reversa), acesso em: 25/03/2019.

Poulakis, J.G., Varelidis, P.C., Papaspyrides, C.D. **Recycling of polypropylene based composites**, 1997. Advances in Polymer Technology,16, 313-322.

Poulakis, J.C., Papaspyrides, C.D., **Dissolution/reprecipitation: a model process for PET bottle recycling**, 2001. Journal of Applied Polymer Science, 81, 91e95.

ProteGEEr, (Cooperação para proteção do clima na gestão dos resíduos sólidos urbanos), **Barueri terá usina de incineração de lixo na Aldeia**, publicado em 31.07.18, última modificação em 07.08.18, disponível em: <http://protegeer.gov.br/clipping/341-barueri-tera-usina-de-incineracao-de-lixo-na-aldeia>, acesso em 11/12/2019.

PRS - Portal dos Resíduos Sólidos - **Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008**, 28/09/2018, Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/central-de-tratamento-de-residuos-solidos-ctrs/estimativa-da-composicao-gravimetrica-dos-residuos-solidos-urbanos-coletados-no-brasil-em-2008/>, acesso em: 15/10/2019.

PRS - **Portal dos Resíduos Sólidos, Incineração de resíduos – uma tecnologia a desaparecer**, 25/04/2014, Disponível em:

<https://portalresiduossolidos.com/incineracao-de-residuos-uma-tecnologia-desaparecer/>, acesso em: 09/12/2019

**PRS - Produção de energia produzida a partir de resíduos está aumentando no mundo** (02/07/2013), disponível em:

<https://portalresiduossolidos.com/producao-de-energia-produzida-a-partir-de-residuos-esta-aumentando-no-mundo/>, acesso em: 02/12/2019

Pujado, P. R.; Rabo, J. A.; Antosf, G. J.; Gembicki, S. A.; *Catalysis Today*, 1992, 13, 113.

Rabello, M. S., **Aditivação de Polímeros**. São Paulo. Artliber Editora, 2000.

RES Polyflow, **Plastics-to-Fuel Facilities Generate Low Emissions**, 31/07/2017, 2017, disponível em: <http://www.respolyflow.com/2017/07/plastics-to-fuel-facilities-generate-low-emissions-per-recent-report/>, acesso em: 19/01/2020.

Rogers, D.S.; Tibben-Lembke, R. S. - **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: Reverse Logistics Executive Council, 1998. Disponível em: <http://www.rlec.org/reverse.pdf>, acesso em: 18/09/2019.

RSE USA 2017, **Film Recycling Investment Report**, 2017, disponível em: [https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2017/09/FilmRecyclingInvestmentReport\\_Final.pdf](https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2017/09/FilmRecyclingInvestmentReport_Final.pdf), acesso em: 19/01/2020

Rutkowski, P. e Kubacki, A., **Influence of polystyrene addition to cellulose on chemical structure and properties of bio-oil obtained during pyrolysis**, *Energy Convers Management*, 47, 2006, 716–731.

Sadat-Shojai e M., Bakhshandeh, G., **Recycling of PVC wastes**, *Polymer Degradation and Stability*, 2011, 96, 404–415.

Sahnoune, F.; Lopez Cuesta, J. M.; Crespy, A.; *Polymer Engineering & Science*, 2003, 43, 647

Sammarco, C.; Delfini, L.; *Plástico Industrial* 1999, 7, 106.

Sandani, G.; **Mechanical and chemical recycling of polymers and the energy recovery from plastic wastes**, *Chemical Engineering*, 1995, 102, 15

Santiago, L.S. e Dias, S.M.F; **Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos**; 2012.

**Santos, A. S. F.; Polímeros: Ciênc. Tecnol.1999, 9, 189.**

Santos, A. S. F., Agnelli, J. A. M. e Manrich, S., **Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas**; *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 14, nº 5, p. 307-312, 2004

Santos, C.M.A.S., Gonçalves, A.C.R., Cintra, A.C.C., Silva, L.A., Rossi, A., Oliveira, H.P., Alves, V.A., **Processo de reciclagem química de PET em meio**

**alcalino: efeito da concentração do íon hidróxido, da cor do PET e do tempo de reação**, Revista Matéria, v.23, n.4, pp., 2018.

Sarantópoulos, C. I. G. L.; Oliveira, L. M.; Padula, M.; Coltro, L.; Alves, R. M. V.; Garcia, E. E. C., **Embalagens plásticas flexíveis: Principais polímeros e avaliação de propriedades**. 1. ed. Campinas: Cetea Ital. 2002. p.1 e p.267.

Schabel, J., Schwarz, R., Grispin, C.W., Gencer, M.A., Hensel, J.D., 2017. **Process, apparatus, controller and system for producing petroleum products**. WO2017US24872.

Schubert, T.; Ehrenstein, G. W.; Plástico Industrial 2001, outubro, 76.

Seyring, N., Dollhofer, M., Weißenbacher, J., Herzog, M., McKinnon, D., Bakas, I., **Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU**. 2015. Final report, Nov.

Sharuddin, S.D.A., Abnisa, F., Wan Daud, W.M.A., Aroua, M.K., **A review on pyrolysis of plastic wastes**, Energy Conversion and Management ,115, 2016, 308–326.

SILVA, C.H.C., **O tempo e o espaço do comércio 24 horas na metrópole paulista**, 2003, p.111.

SILVA, C.H.C, **24 Horas de Comércio na Cidade de São Paulo: Estudo sobre os Supermercados e as Lojas de Conveniência**, 2002, p.01.

Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I.P.S., Feo, L., Fraternali, F., 2017. **Recycling of plastic solid waste: a state of art review and future applications**. Compos. Part B: Eng. 115, 409–422.

Smithers Pira, 2017. **The Future of Flexible Packaging to 2022**, 2017.

SNIS, **Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – 2017**, Ministério do Desenvolvimento Regional – Secretaria Nacional de Saneamento, 2017.

Snyder, M.R., **Recycling plastic film requires specialized technology**. Recycling Today (April), 2016.

Soler TQ. **Identification and segregation of materials in mixed waste**. Macromolecular Symposia, 1992; 57:123–31.

Souza, M.N. e Costa, A.T.; **Êxodo Rural**, Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/geografia/exodo-rural>; acesso em 15 nov.2019.

Souza, W.; Plástico Moderno 1993, maio, 13.

Spinacé, M.A.S.; **Poli(tereftalato de etileno): reprocessamento por extrusão e metodologias de caracterização**, Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, 2000.

- Spinacé, M. A. e De Paoli, M.A., **Characterization of poly (ethylene terephthalate) after multiple processing cycles**, J. Appl. Polym. Sci., 78 p.20, 2001.
- Spinacé, M.A.S. e De Paoli, M.A., **A tecnologia da reciclagem de polímeros**, 2005.
- Srivastava, S.K., Network design for reverse logistics - Indian Institute of Management, 2008.
- Stahel, W.R., **The circular economy**, 2016.
- Tartakowski, Z; - **Recycling of packaging multilayer films: New materials for technical products**, Elsevier, Resources, Conservation and Recycling 55, 2010,167–170, 2010.
- Technical University of Denmark, n.d. **Waste Incineration-recovery of Energy and Material Resources**. Danish Ministry of the Environment 2017.
- Tecnoval, Ficha Técnica – **Estruturas típicas de embalagens flexíveis para alimentos**, 2019.
- Thomas, J. M.; Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 1997, 115, 371.
- Trommel Screen, disponível em:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Trommel\\_screen#/media/File:Trommel\\_Screen.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Trommel_screen#/media/File:Trommel_Screen.png);  
acesso em: 08/12/2019
- Touraine, A., **Las transformaciones sociales del siglo XX**, 1994.
- TSP, Tudo Sobre Plásticos, **Defeitos em peças injetadas: Bolhas**, 2020, disponível em: <https://www.tudosobreplasticos.com/processo/defbolhas.asp>  
acesso em: 12/05/2020.
- Twede, D. e Goddard, R., **Materiais para embalagens**, Editora Blucher, São Paulo, 2009
- Uehara, G.A., França, M.P., Canevarolo Junior, S.V., **Recycling assessment of multilayer flexible packaging films using design of experiments**, 2015. Polímeros 25, 371–381.
- Vandenhende, B. e Yernaux, J. M.; **Method for recycling vinyl polymer-based articles**, 2006, patent US7135546B1
- Vane, L.M., Rodriguez, F., **Selected aspects of poly(ethylene-terephthalate) solution behavior - application to a selective dissolution process for the separation of mixed plastics**, 1992. ACS Symposium Series, 513, 147e162.
- Vansant, E. F.; Journal of Molecular Catalysis A: Chemical ,1997, 115, 379.



Velghe, I., Carleer, R., Yperman, J., Schreurs, S., **Study of the pyrolysis of municipal solid waste to produce valuable products**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 92, 2011, 366–375.

Viana, H.M., **Introdução para Aditivção de Materiais Poliméricos**, 02/08/2014, disponível em: <https://pt.slideshare.net/hamiltonviana/aditivao-para-polmeros-introduo>, acesso em: 24/02/2020.

Viegas, C.V., Vaz, C.R., Maldonado, M.U., **Logística Reversa de embalagens de produtos não perigosos: aspectos de apoio a práticas empresariais**, UFSC, 2018.

Vieira, G.E.G., Nunes, A.P.N., Teixeira, L.F., Colen, A.G.N., **Biomassa: uma visão dos processos de pirólise**, 2014.

Vilhena, A.; **Guia de coleta seletiva de lixo**, 1a ed., CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem ed.: São Paulo 1999, p. 26.

Zanin, M. e Mancini, S.D., **Resíduos Plásticos e Reciclagem**, 2ª. Edição, 2015 – p. 11,73.

Zaparolli, D., 2007, Co-extrusão - uso da tecnologia avança a passos largos e a tendência é dobrar nos próximos anos, Revista Plásticos Moderno, 12/02/2007.

Zeng, K., Minh, D.P., Gauthier, D., Weiss-Hortala, E., Nzihou, A., Flamant, G., **The effect of temperature and heating rate on char properties obtained from solar pyrolysis of beech wood**, Bioresource Technology, 182, 2015, 114–119.

Zhang, Z., Macquarrie, D.J., De Bruyn, M., Budarin, V.L., Hunt, A.J., Gronnow, M.J. et al., **Low-temperature microwave-assisted pyrolysis of waste office paper and the application of bio-oil as an AI adhesive**, Green Chemical, 17, 2014, 260– 270.

Zhao, Y-B, Lv, X-D, Ni, H-G.; **Solvent-based separation and recycling of waste plastics: A review**, 2018.

Zhou, H., Long, Y.Q., Meng, A.H., Li, Q.H.L., Zhang, Y.G., **Classification of municipal solid waste components for thermal conversion in waste-to-energy research**, 2015

Zhou, Y., Qiu, K., **A new technology for recycling materials from waste printed circuit boards**, Journal of Hazardous Materials, 175 (2010) 823–828.

Wagner Jr., J.R., **Blown film, cast film, and lamination processes**, Multilayer Flexible Packaging, second ed., 2016, pp. 137–145.

Wang, R., Xu, Z., **Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): a review**. Waste Management. 34, 1455e1469, 2014.

Widiyannita, A.M., Cahyono, R.B., Budiman, A., Akiyama, Sutijan, T., **Study of pyrolysis of ulin wood residues** 2016:50004. AIP Conf. Proc. 1755, 2016.

Williams, P.T., Besler, S., The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass, *Renew Energy* 7 (1996) 233–250.

Williams, P. T.; Williams, E. A.; **J. Anal. Appl. Pyrolysis** **1999**, 51, 107, 1999

Winter, H.; Mostert, H. A. M.; Smeets, P. J. H. M.; Paas, G.; *Journal of Applied Polymer Science*, 1995, 57, 1409.

Wortex, Soluções completas em equipamentos para sistemas de reciclagem, Disponível em: <https://www.wortex.com.br/>, acesso em: 11/06/2019.

WRAP, 2011. **Recycling of laminated packaging**, disponível em: < <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Recovery%20of%20laminated%20packaging%20from%20black%20bag%20waste.pdf>>, acesso em: 16/11/2019.

WRAP, 2016. **Plastics market situation report**, disponível em: < <http://www.wrap.org.uk/collections-and-reprocessing/recovered-materials-markets/reports/market-situation-reports-plastics> >, acesso em: 19/12/2019.

Wyser, Y., Leterrier, Y., Manson, J.-E., **Effect of inclusions and blending on the mechanical performance of recycled multilayer PP/PET/SiO<sub>x</sub> films**, 2000. *Journal of Applied Polymer Science*, 78, 910–918.

Wyrzykowska-Ceradini, B., Gullett, B.K., Tabor, D., Touati, A., **PBDDs/Fs and PCDDs/Fs in the raw and clean flue gas during steady state and transient operation of a municipal waste combustor**, *Environmental Science Technology*, 45, 2011, 5853–5860

Yang, Y.; Lu, Y.; Xiang, H.; Xu, Y.; Li, Y.; *Polymer Degradation and Stability*, 2002, 75, 185.

## IX. APÊNDICES

### IX.1 - Apêndice I

Roteiro para identificação de desafios e dificuldades e, potenciais soluções para a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil

Dificuldades e desafios

- 1) Qual o comportamento do consumidor diante das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo?
- 2) Logística reversa e coleta seletiva no Brasil
- 3) Condição dos materiais de embalagem na composição dos RSU. Contaminação do material
- 4) Dificuldade para triagem de estrutura multicamadas e multimateriais
- 5) Limpeza e descontaminação / tratamento de efluente
- 6) Tinta de impressão e adesivo de laminação
- 7) Equipamentos para reciclagem mecânica
- 8) Qualidade do material reciclado mecanicamente
- 9) Valor do material reciclado
- 10) Aplicação de produto com valor agregado – Produto de vida útil mais longa
- 11) Carga tributária

Potenciais soluções para a reciclagem

- 1) Orientação ao consumidor para o descarte seletivo
- 2) Triagem automatizada
- 3) Eco-design de embalagem
  - a. Embalagens plásticas flexíveis mono-material
  - b. Redução de consumo de material
  - c. Redução de carga de tinta de impressão
  - d. Embalagem re-utilizável
  - e. Fácil desmontagem ou separação dos diferentes materiais
- 4) Delaminação de estruturas multicamada
- 5) Remoção das tintas de impressão
- 6) Extrusora com alimentação forçada, dupla rosca, dupla degasagem e sistema de troca de filtro automático
- 7) Reciclagem Química
- 8) Reciclagem energética

Outros temas

Avaliação de Ciclo de Vida

## IX.2. Apêndice II

### Roteiro de Entrevista \_ Cooperativa de reciclagem

Visita à Central de Reciclagem da Zona Oeste

Data da visita: 13/10/2017

Endereço: Rua Salvador Stefanelli, 266, Jardim Zulmira - Sorocaba/SP

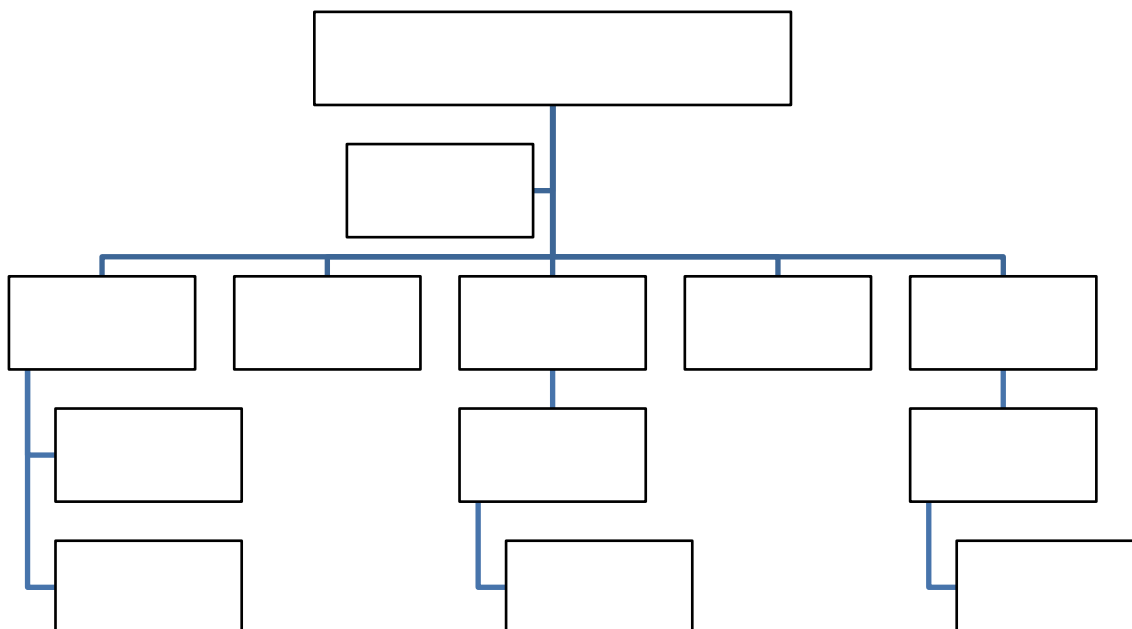
Responsável / Contato: Junior (nome completo)

Data de início de operação:

Número total de colaboradores:

Regime de trabalho: (CLT / Temporários / Contratados/ ...):

#### 1. Organograma



#### 2. Modelo econômico de negócio / Parceria Público Privado?

Resíduos Urbanos em números	Geração [tons]	% Reciclagem
Total de resíduos urbanos no Brasil		
Total de resíduos urbanos em Sorocaba		
Total de resíduos urbanos "recicláveis" no Brasil		
Total de resíduos urbanos "recicláveis" em Sorocaba		

<b>Materiais Recebidos</b>	<b>Como chegam?</b>	<b>Quant [t/mês]</b>	<b>[R\$] Compra</b>	<b>Destinação</b>	<b>[R\$] Venda</b>
Lata de alumínio					
Lata metálica					
Sucata metálica					
Embalagem de vidro					
Sucata de vidro					
Papel					
Papelão ondulado / cartão					
Embalagem de plástico rígido					
Garrafa PET					
Peças plásticas					
Embalagens plásticas flexíveis					
Filmes laminados					
Cartonado "Tetrapak"					
Isopor					
Lã de vidro					
Resíduos de jardinagem					
Resíduos de construção civil					
Embalagem de agro-químicos					
Pilhas e Baterias					
Eletro-eletrônicos					
Pneus					
Lâmpadas					
Móveis e utilidades domésticas					
Total					

3. Quais dos materiais acima são mais lucrativos?
4. Quais dos materiais acima tem baixo interesse comercial?
5. Quais materiais acima há a necessidade de desenvolver um mercado comprador ou uma aplicação lucrativa?
6. Quais dos materiais acima tem oferta crescente?
7. Quais dos materiais acima tem demanda crescente?

## 8. Recebimento de Material

<b>Recebimento do material</b>			
<b>Fonte</b>	<b>[tons/m]</b>	<b>R\$/ton</b>	<b>Como chegam (misturados / separados)</b>
Posto de Entrega Voluntária			
Coleta Pública Urbana			
Coleta seletiva em condomínios			
Resíduos industriais			

## 9. Bens e Equipamentor

<b>Bens e Equipamentos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Capacidade</b>
Prédio próprio (área total / área construída)		
Caminhão para coleta		
Caminhão para destinação		
Esteiras de separação		
Prensa		
Enfardadeira		
Empilhadeira		
Bobcat para movimentação de resíduos		
Computadores		
Imã para separação magnética		
Hydra pulp		
Balança		

## 10. Material de Segurança

<b>Material de segurança</b>	<b>S / N</b>	<b>Comentários</b>
Hidrante		
Extintores de fogo		
Luvas		
Macação/jaleco/Uniforme		
Óculos		
Protetor auricular		
Ventilação / ar-condicionado		

## 11. Documentação

<b>Documentação</b>	<b>S / N</b>	<b>Comentários</b>
Alvará da Prefeitura		
Alvará Corpo de Bombeiros		
Alvará CESTEB		
Certificação / Norma		
Relatório de Responsabilidade Social / Ambiental		

## 12. Capacitação

<b>Capacitação dos colaboradores</b>	
Normas de segurança	
Classificação de materiais	

## 13. Dificuldades

<b>Dificuldades</b>	<b>Comentários</b>
Separação dos materiais	
Classificação de materiais	
Principais contaminantes	
Material sujo	
Material misturado (com tampa, com rótulo, .....)	
Capacitação dos colaboradores	
Disponibilidade de mão-de-obra	
Disponibilidade de material	
Vizinhança	

13. Qual é o benefício de uma cooperativa de reciclagem pro meio ambiente?

A que entidade de classes ou sindicato a cooperativa está associada?

14. Qual o nível de envolvimento ou comprometimento com a Política Nacional dos Resíduos sólidos?

15. Qual o papel de uma central de reciclagem em relação à Política Nacional de Resíduos Sólidos?

16. Há alguma parceria com alguma associação ou diretamente com as indústrias de bens de consumo para promover e aumentar o índice de reciclagem de embalagens?

17. É possível emitir relatório de reciclagem de um material específico, por exemplo, embalagem flexível de salgadinhos?

## 18. Indicação de recicladora para visitar

<b>Indicação de recicladora para visitar</b>	
Plástico Rígido	
Garrafa PET	
Filme Plástico	
Laminado de salgadinho	

## 19. Dados

<b>Onde poderia conseguir dados recentes relacionados aos resíduos urbanos e reciclagem no Brasil, no Estado de São Paulo e em Sorocaba?</b>		
<b>Entidade / Associação</b>	<b>Contato</b>	<b>Fone / Email</b>

## 20. Comentários finais

Comentários finais



### IX.3. Apêndice III

#### Roteiro de Entrevista \_ Aterro Sanitário

#### Visita ao Aterro Sanitário Veolia – Iperó SP

Data da visita: 14/09/2018

Endereço: Fazenda Vista Alegre - S/N - CEP 18560-971 - Villeta George Oetterer Iperó - SPI

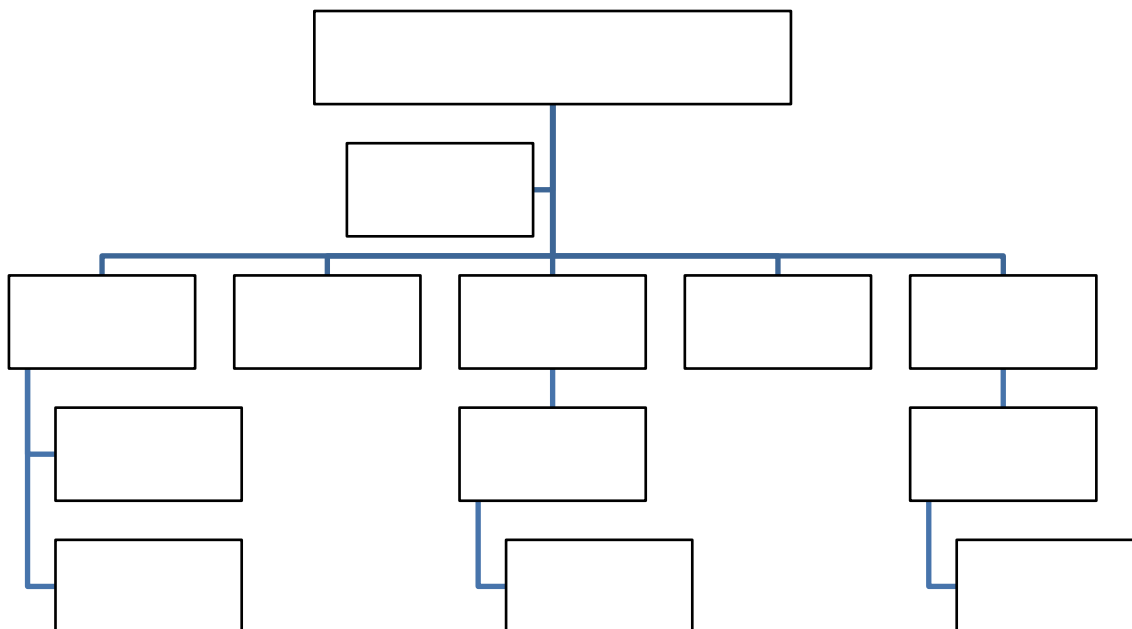
Responsável / Contato: Henrique Petcov Nicoletti - Engenheiro Operacional - Brasil

No Brasil, um aterro sanitário é definido como um aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios. Os resíduos industriais devem ser destinados a aterro de resíduos sólidos industriais (enquadrado como classe II quando não perigoso e não inerte e classe I quando tratar-se de resíduo perigoso, de acordo com a norma técnica da ABNT 10.004/04 - "Resíduos Sólidos - Classificação"). A produção de lixo aumenta continuamente e por isso novas soluções são procuradas para desafogar os aterros.

Data de início de operação:

Número total de colaboradores:

#### 1. Organograma



2. Modelo econômico de negócio / Parceria Público Privado?
3. Capacidade total do aterro:
4. Percentual já ocupado:
5. Licenças:
6. Classificação CETESB do aterro:

## 7. Municípios que atende:

Municípios que atende	Recebimento [tons/dia]
Sorocaba	
Iperó	

## 8. Estrutura construtiva

## 9. Legislação sobre área urbana a ser implantado o aterro sanitário

## 10. Licenças prévias para iniciar projeto / construção

Documentação	S / N	Comentários
Alvará da Prefeitura		
Alvará Corpo de Bombeiros		
Alvará CESTEB		
Certificação / Norma		
Relatório de Responsabilidade Social / Ambiental		

## 11. Sondagem do solo / Lençol freático

## 12. Distância da área urbana, curso de rio ou lençol freático

## 13. Preparação do solo

## 14. Camadas da estrutura construtiva

Camada	Espessura	Propósito	Obs

## 15. Principais preocupação no dimensionamento e especificação da estrutura

## 16. Muro de proteção

## 17. Fluxograma do processo

## 18. Quais são os responsáveis técnicos pelo aterro?

## 19. Como os materiais são recebidos (caçamba, basculante, á granel,...)

## 20. Quanto é cobrado para disposição de material no aterro?

## 21. Qual o horário de funcionamento (recebimento) no aterro? 7 dias por semana?

## 22. Há algum sistema de controle no recebimento (pesagem), inspeção (tipo de material) ou pré-seleção?

## 23. Origem do material recebido

Fonte	[tons/m]	R\$/ton	Como chegam (misturados / separados)
Entrega Voluntária Particular			
Coleta Pública Urbana			
Resíduos da construção civil			
Resíduos industriais			
Descartes de cooperativas			

## 24. Materiais recebidos

Materiais Recebidos	Como chegam?	Quant [t/mês]	[R\$] Compra
Resto de alimentos			
Lata de alumínio			
Lata metálica			
Sucata metálica			
Embalagem de vidro			
Sucata de vidro			
Papel			
Papelão ondulado / cartão			
Embalagem de plástico rígido			
Garrafa PET			
Peças plásticas			
Embalagens plásticas flexíveis			
Filmes laminados			
Cartonado "Tetrapak"			
Madeira			
Isopor			
Lã de vidro			
Resíduos de jardinagem			
Resíduos de construção civil			
Embalagem / resíduo de agro-químicos			

Pilhas e Baterias			
Eleto-eletrônicos			
Pneus			
Lâmpadas			
Móveis e utilidades domésticas			
Material de construção			
Resíduo hospitalar			

25. Como se dá o preenchimento da área (por onde começa, como vai ocupando o espaço, ....)
26. Como e com que periodicidade é feito o “fechamento” de uma área já “preenchida”
27. Sistema de controle
28. Compactação do corpo
29. Chorume / Sistema de recirculação
30. Captação / tratamento de gases
31. Quais gases são gerados?
32. Geração de biogás / Energia?
33. Crédito de carbono?
34. Material de segurança

Material de segurança	S / N	Comentários
Hidrante		
Extintores de fogo		
Luvas		
Macação/jaleco/Uniforme		
Óculos		
Protetor auricular		
Ventilação / ar-condicionado		

### 35. Bens e equipamentos

Bens e Equipamentos	Quantidade	Capacidade
Prédio próprio (área total / área construída)		
Laboratório para análises		
Caminhão		
Esteiras de separação		

Empilhadeira		
Pá carregadeira / movimentação		
Bobcat para movimentação de resíduos		
Computadores		
Imã para separação magnética		
Hydra pulp		
Balança		

### 36. Capacitação

Capacitação dos colaboradores	
Normas de segurança	
Classificação de materiais	

### 37. Dificuldades e problemas

Dificuldades / Problemas	Comentários
Separação / Classificação dos materiais	
Efluentes	
Principais contaminantes	
Capacitação dos colaboradores	
Disponibilidade de mão-de-obra	
Disponibilidade de material	
Vizinhança	

### 38. Dificuldades na gestão

Principais dificuldades / desafios para gestão de um aterro sanitário	Comentários

39. Qual é o benefício de aterro para uma comunidade?

40. Qual é o benefício de aterro para o meio ambiente?

41. A que entidade de classes ou sindicato a cooperativa está associada?

42. Qual o nível de envolvimento ou há algum compromisso com a Política Nacional dos Resíduos sólidos?
43. É possível emitir relatório / certificado do descarte de algum material?
44. Quais seriam outras opções viáveis para destinação de resíduos sólidos urbanos?
45. Há algo diferente já implementado no Brasil ou em outros países?
46. O aterro sanitário é uma solução sustentável e definitiva a longo prazo ou enfrenta desafios e já há outras soluções sendo apontadas como mais promissoras?

47. Outras referências

Onde poderia conseguir dados recentes relacionados aos resíduos urbanos no Brasil, no Estado de São Paulo e em Sorocaba?		
Entidade / Associação	Contato	Fone / Email

48. Comentários finais



7. Principais desafios para tratamentos do material oriundo de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo
8. Sugestões para aumentar o índice de reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo
  - ( ) Educação, formação e comunicação
  - ( ) Logística reversa / Coleta seletiva
  - ( ) Contaminantes
  - ( ) Estrutura de filme multi-materiais
  - ( ) Tributação
  - ( ) Processamento do material pós-consumo (moagem, lavagem, aglutinação, ...)
  - ( ) Tinta de impressão
  - ( ) Metalização
  - ( ) Capital inicial / Investimento
  - ( ) Design de Embalagem
  - ( ) .....
9. Como se compara com outras alternativas para reciclagem
  - Reciclagem Química: .....
  - Recuperação energética: .....



**IX.5. Apêndice V**

## Roteiro Entrevista \_ Reciclagem Química

Entrevistado: Marcelo Pestana Vieira mpestana@cetrel.com.br, Viviane Guedes

Correia vivianecorreia@cetrel.com.br, Mauricio Pires Ferreira Prado

mpprado@cetrel.com.br

Empresa: Cetrel - Braskem

Cargo: Desenvolvimento de Negócios

Data: 02/09/2019

Ramo da empresa: CETREL S/A - Tratamento de Efluentes Líquidos e Resíduos Industriais

1. Tipo de reciclagem de plástico

Mecânica  Química  Energética

2. Material recebido

Rígido pós-indl  Rígido pós-consumo  flexível pós-indl  flexível pós-consumo

.....

3. Como recebe o material

separado por tipo de material  materiais misturados

em bobina ou filme  peças plásticas

embalagem suja  Embalagem limpa

Outros .....

4. Quais materiais o processo aceita:

PE  PP  PET  PS  PVC  PA

Outros .....

5. Qual processo possui:

triagem / separação  lavagem  secagem  moagem

aglutinação  extrusão  Outros .....

6. Qual a capacidade instalada?

Material pós-consumo

Material final:

7. Principais benefícios desta tecnologia vs Reciclagem Mecânica e Reciclagem Energética?

8. Principais desafios para tratamentos do material oriundo de embalagens plásticas

flexíveis pós-consumo

9. Como se compara com outras alternativas para reciclagem

Reciclagem Mecânica: .....

Recuperação energética:

10. Qual o estágio da planta da para reciclagem química:

Já em operação?

Já está com capacidade máxima

11. Matéria-prima: da onde virá a matéria-prima?

12. Próximos estágios: -.....

13. A Empresa pensa em escalonar ou implementar novas operações no Brasil?

14. Sugestões para aumentar o índice de reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo

( ) Educação, formação e comunicação

( ) Logística reversa / Coleta seletiva

( ) Contaminantes

( ) Estrutura de filme multi-materiais

( ) Tributação

( ) Processamento do material pós-consumo (moagem, lavagem, aglutinação, ...)

( ) Tinta de impressão

( ) Metalização

( ) Capital inicial / Investimento

( ) Design de Embalagem

( ) .....

## IX.6. Apêndice VI

	<b>Data</b>	<b>Entidade</b>	<b>Tema</b>
1	29/09/2017	Cooperativa de Reciclagem da Zona Oeste - Sorocaba	Resíduos Sólidos Urbanos
2	31/10/2017	Fox Reciclagem	Reciclagem mecânica (pós-industrial)
3	22/11/2017	CEMPRE	GT-Flexíveis
4	28/03/2018	ABRE / Abiplast / Maxiquim	Reunião Comitê Sustentabilidade ABRE – Reciclagem de Flexíveis
5	04/05/2018	ZEG	Reciclagem Química (FDS)
6	17/05/2018	Rede de Coop para o Plástico	Reunião em Geral
7	28/05/2018	EKT	Transforma resíduos em CBSI e este em energia “verde” e MBS
8	22/06/2018	Wise	Reciclagem mecânica (pós-industrial)
9	26/07/2018	Valoren	Reciclagem Química (pirólise)
10	05/09/2018	Rede de Coop para o Plástico	Reunião em Geral
11	26/09/2018	Veolia – Aterro Sanitário Iperó	Resíduos Sólidos Urbanos
12	17/12/2018	Braskem	Reciclagem Química
13	12/02/2019	Rede de Coop para o Plástico	Reunião em Geral
14	20/02/2019	Braskem	Painel de Especialistas sobre Consumo e Pós Consumo Sustentável
15	15/03/2019	Plastimil	Reciclagem mecânica (pós-industrial)
16	04/07/2019	ABIEF	Dados informações Embalagens plásticas Flexíveis
17	13/08/2019	Rede de Coop do Plástico	Reciclagem em geral
18	15/08/2019	Ecological	Reciclagem mecânica (pós-industrial)
19	16/08/2019	Val Group	Reciclagem mecânica (pós-industrial) e Reciclagem Química (pós-consumo)
20	02/09/2019	Braskem / Cetrel	Reciclagem Química
21	04/09/2019	Recy-Plastech	Seminário Reciclagem de Plásticos
22	09/10/2019	Vitopel	Filmes BOPP e Sustentabilidade
23	17/10/2019	Amcor Flexibles	Embalagens plásticas Flexíveis e Sustentabilidade
24	29/10/2019	Polo Films	Filmes BOPP e Sustentabilidade
25	13/11/2019	Tecnoval	Embalagens plásticas Flexíveis e Sustentabilidade
26	10/12/2019	Rede de Coop para o Plástico	Reunião Geral
27	09/01/2020	CleanGredients	O essencial da reciclagem química

## IX.7. Apêndice VII

Pesquisa \_ Embalagem Plástica Flexível

Entendimento, comportamento e atitudes do consumidor

----- \* -----

Pesquisa \_ Embalagem Plástica Flexível

Gostaria de poder contar com a sua colaboração, respondendo à pesquisa (link abaixo), sobre reciclagem de embalagens plásticas flexíveis, para um trabalho de pós-graduação que estou realizando. São perguntas com respostas em múltiplas escolhas e tomará menos de 10 minutos do seu tempo para respondê-las.

Agradeço se puder respondê-la e também por compartilhá-la com os seus amigos.

<https://pt.surveymonkey.com/r/C8Z8BJR>

Conto com o seu retorno e colaboração.  
Muito obrigado

Att,  
Eduardo Yugue  
[eduardo.yugue@unesp.br](mailto:eduardo.yugue@unesp.br)

---

Obrigado pela sua disponibilidade para contribuir com este estudo, sobre embalagens plásticas flexíveis e reciclagem. Não tem resposta certa ou errada. O foco desta pesquisa é no entendimento do relacionamento e conhecimento dos consumidores em relação ao tema. São 16 perguntas com respostas de múltiplas escolhas, e levará menos de 10 minutos para respondê-las. Importante destacar que os dados serão analisados ou considerados como um percentual do total de respostas e nunca individualmente.

1. No momento da compra no varejo, você leva em consideração aspectos de sustentabilidade e impacto ambiental da embalagem na sua decisão de compra do produto? Assinale a alternativa que tem mais a ver contigo.  
 Sim     Às vezes     Quase nunca     Nunca     Não faço compras
2. Você sabe o que são as embalagens plásticas flexíveis?  
 Sim     Não     Acho que sei



- Somente alguns dos tipos embalagens plásticas flexíveis podem ser reciclados no Brasil. Eu as separo para reciclagem
- Não sei nada sobre reciclagem de embalagens pós-consumo
- Nenhuma das anteriores
8. Considerando as embalagens plásticas flexíveis, no seu dia-a-dia, assinale a(s) alternativa(s) que tem a ver com a destinação que você dá para este tipo de embalagem após o consumo do produto:
- Dependendo do tamanho da embalagem, se estiver consumindo na rua, joga na rua mesmo
- Na região em que moro, não tem coleta seletiva ou cooperativa de reciclagem, então, descarto tudo no lixo comum
- Jogo no lixo comum, pois as cooperativas de reciclagem ou da coleta seletiva não levam este tipo de material
- Separo a maioria delas para coleta seletiva e reciclagem
- Se estiver sujo com molho ou óleo de fritura, eu joga no lixo comum, para não contaminar os outros materiais já separados para reciclagem
- A quantidade que produzo de resíduos é muito pequena. Não faz diferença separar para reciclagem
- Não me importo com questões de reciclagem, impacto ao meio ambiente e sustentabilidade
- Nenhuma das anteriores
9. Considerando que sua residência conte com sistema de coleta seletiva de materiais para reciclagem, e que você quer contribuir, assinale quais das embalagens abaixo você separaria para reciclagem
- saquinhos de supermercado
- saquinhos de salgadinhos “tipo snacks”
- saco de arroz/feijão/açúcar/farinha
- embalagem de pão de forma
- Embalagem “pouch” de molho de tomate/salada/maionese
- Refil de shampoo/cremes corporais/detergente líquido
- sachet de catchup/mostarda/maionese
- embalagem de biscoitos e macarrão
- Envoltório de balas, caramelos, goma de mascar
- embalagem de barras de chocolate/cereais/frutas
- outros filmes plásticos com ou sem impressão,
10. Considerando a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, assinale a(s) alternativa(s) que você entende que representa(m) a(s) dificuldade(s) e o(s) desafio(s), para que o índice de reciclagem deste material aumente:

- Apesar de ocupar volume, tem muito pouco material. Não vale o esforço pela a quantidade de material que talvez possa ser recuperado
  - As embalagens estão sempre sujas com resto de alimentos, o que dificulta a reciclagem
  - Embalagens feitas de misturas de diferentes materiais plásticos, e até, plásticos com papel e/ou alumínio, e que deixam o consumidor em dúvida se este material pode ser reciclado ou não, e ao final, acaba descartando no lixo comum
  - Inexistência de atendimento de coleta seletiva ou cooperativa de reciclagem na maioria das residências dificulta a reciclagem
  - A coleta seletiva ou a cooperativa de reciclagem não levam este tipo de material
  - Há falta de informação e ou esclarecimento aos consumidores de que este tipo de embalagem pode ser reciclado e de como dar a destinação correta
  - Nenhuma das anteriores
11. Considerando as informações sobre reciclagem declaradas nas embalagens, você as lê e elas te ajudam a descartar a embalagem de maneira correta?
- Concordo muito
  - Concordo
  - Concordo parcialmente
  - Discordo
12. Considerando a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, quais agentes você entende que tem responsabilidade para que a reciclagem deste material aconteça ou aumente:
- Poder público municipal
  - Poder público estadual ou federal
  - Indústrias de bens de consumo, responsável pela produção do produto embalado
  - Consumidores
  - Organizações Não-Governamentais (ONG's) e Cooperativas de reciclagem
  - Nenhuma das anteriores
13. Considerando a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, assinale a(s) alternativa(s) que você entende que poderia(m) contribuir para o aumento do índice de reciclagem deste material:
- Informação e esclarecimento aos consumidores, nas próprias embalagens, de que este tipo de embalagem pode ser reciclado e de como proceder a destinação correta
  - Disponibilidade de coleta seletiva ou postos de entrega voluntária (PEV)
  - Programa de incentivo público para o desenvolvimento da cadeia de reciclagem

- Redução de impostos na cadeia de reciclagem
  - Desenvolvimento de embalagens mais eco-eficientes, mais leves (menor consumo de material), mono-material (sem mistura de materiais plásticos) e de fácil separação para reciclagem
  - Desenvolvimento de produtos manufaturados com material plástico reciclado com maior valor agregado
  - Conscientização dos consumidores na separação deste tipo de material para a reciclagem e para aquisição de produtos manufaturados com material reciclado
  - Nenhuma das anteriores
14. Se tivesse um ponto de entrega voluntária (PEV) próximo à sua residência, você separaria as embalagens plásticas flexíveis para reciclagem e as levaria ao PEV? Assinale a alternativa mais adequada à sua realidade
- Sim                       Não                       Somente se tiver alguma compensação/bônus
15. Do seu ponto de vista como usuário(a), assinale seu pensamento sobre o uso das embalagens plásticas flexíveis:
- Deveria diminuir nos próximos anos
  - Deveria aumentar nos próximos anos
  - Deveria ficar no mesmo nível atual
  - Tanto faz
16. Assinale, de acordo com a sua percepção, qual(is) material(is) você entende que são mais sustentáveis comparado com as embalagens plásticas flexíveis.
- Plásticos rígidos (garrafas, potes, frascos, ...)
  - Vidro
  - Lata metálica (aço)
  - Lata de alumínio
  - Papel ou cartão
  - Cartonado asséptico (tipo longa vida)
  - Madeira
  - Nenhuma das anteriores



## IX.8. Apêndice VIII

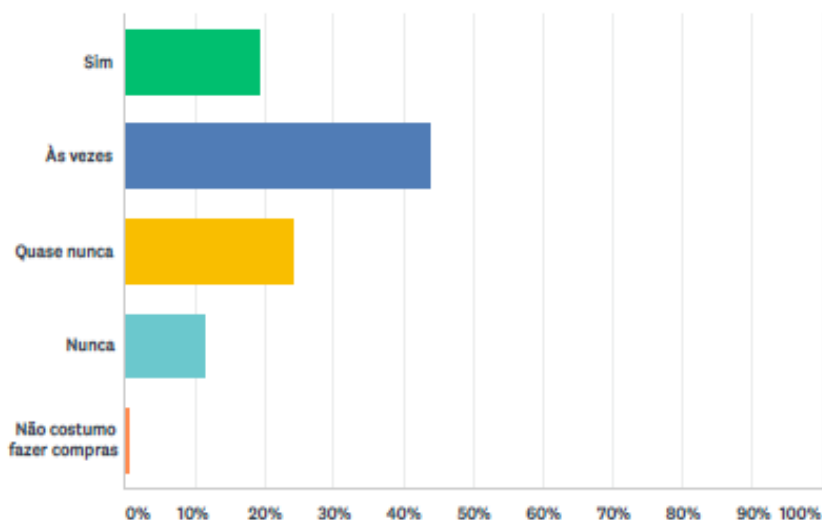
## Resultado da pesquisa com consumidores

Reciclagem de Embalagens Plásticas Flexíveis

SurveyMonkey

Q1 No momento da compra no varejo, você leva em consideração aspectos de sustentabilidade e impacto ambiental da embalagem na sua decisão de compra do produto? Assinale a alternativa que tem mais a ver contigo.

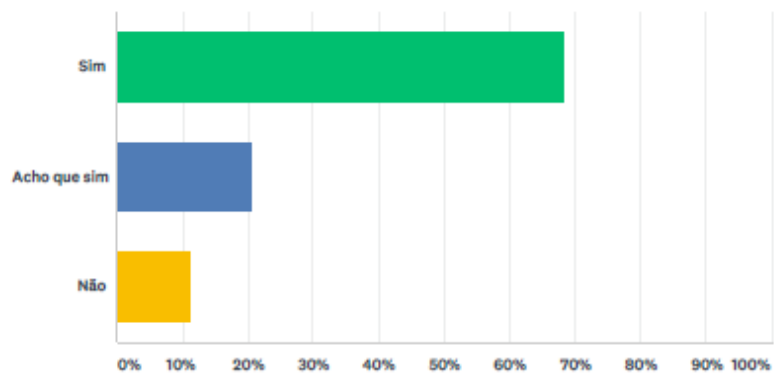
Answered: 441 Skipped: 0



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Sim	19.50%	86
Às vezes	43.99%	194
Quase nunca	24.26%	107
Nunca	11.56%	51
Não costumo fazer compras	0.68%	3
TOTAL		441

## Q2 Você sabe o que são as embalagens plásticas flexíveis?

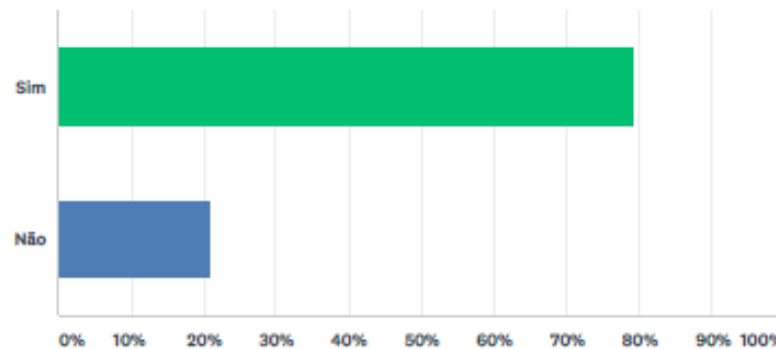
Answered: 439 Skipped: 2



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Sim	68.11%	299
Acho que sim	20.50%	90
Não	11.39%	50
TOTAL		439

Q3 A sua residência é servida pelo serviço de coleta seletiva\* de resíduos para reciclagem. (\*serviço de coleta de material para reciclagem, cooperativa de reciclagem ou catadores autônomos)?

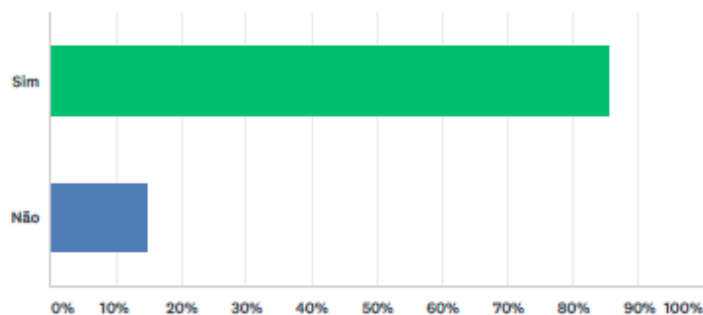
Answered: 439 Skipped: 2



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Sim	79.04%	347
Não	20.96%	92
TOTAL		439

Q4 Você separa o lixo doméstico reciclável (ex: embalagens pós-consumo) do lixo orgânico (ex. resto de alimentos)?

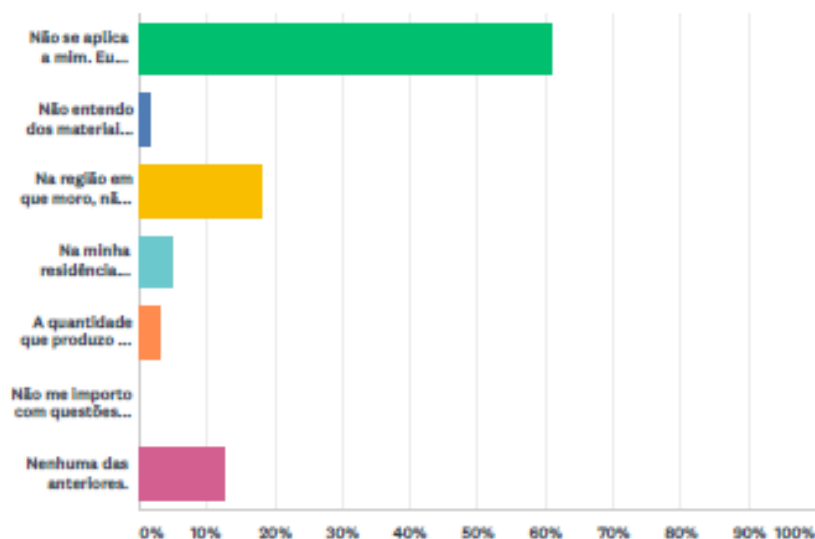
Answered: 439 Skipped: 2



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Sim	85.42%	375
Não	14.58%	64
TOTAL		439

## Q5 Se não separa, assinale a(s) alternativa(s) referente(s) ao motivo?

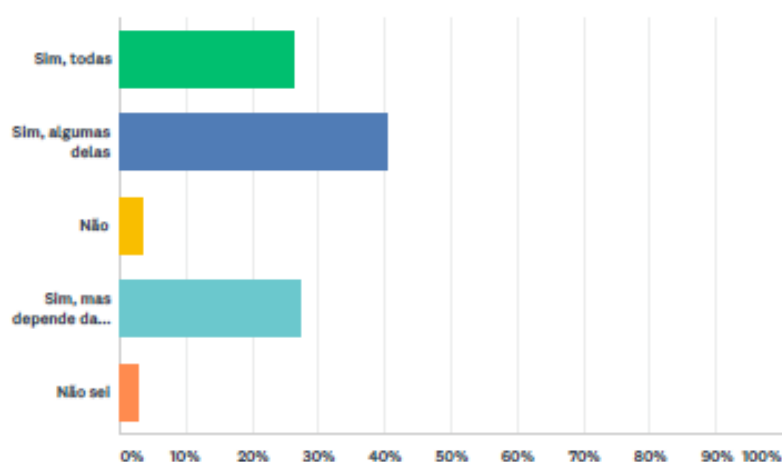
Answered: 250 Skipped: 191



ANSWER CHOICES	RESPONSES
Não se aplica a mim. Eu separo o lixo doméstico para reciclagem.	60.80% 152
Não entendo dos materiais. Não sei qual material é reciclável e qual é a maneira correta de descartar. Para mim tudo é lixo do mesmo jeito.	1.60% 4
Na região em que moro, não tem coleta seletiva.	18.00% 45
Na minha residência passa o caminhão da coleta seletiva, mas nunca me lembro de colocar os materiais para serem levados.	4.80% 12
A quantidade que produzo de resíduos é muito pequena e acho que não faz diferença.	3.20% 8
Não me importo com questões de reciclagem, impacto ao meio ambiente e sustentabilidade.	0.00% 0
Nenhuma das anteriores.	12.80% 32
Total Respondents: 250	

Q6 Considerando as embalagens plásticas flexíveis sendo aquelas produzidas a partir de filmes plásticos, com ou sem impressão (exemplo saquinhos plásticos, sachês, refil, .... para embalar arroz, açúcar, snacks, barras de chocolates, biscoito, macarrão, molho de tomate, balas, detergente líquido, ...), no seu entendimento, do ponto de vista da reciclagem, você acha que este tipo de embalagem pós-consumo é reciclável?

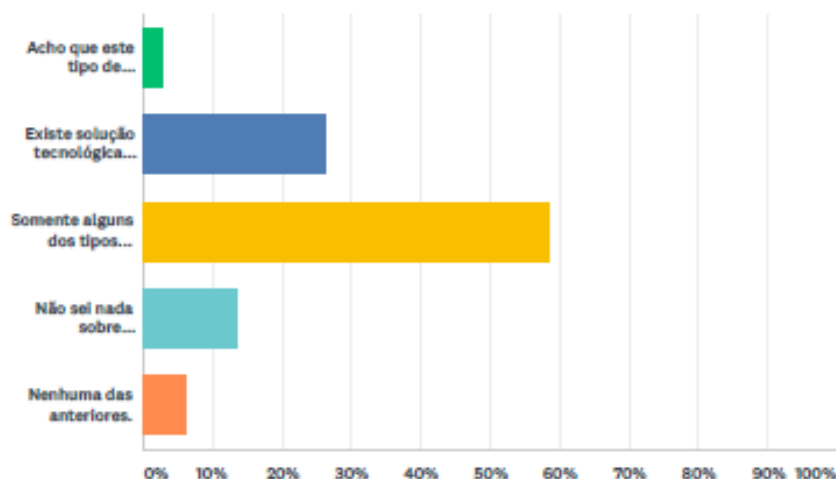
Answered: 441 Skipped: 0



ANSWER CHOICES	RESPONSES
Sim, todas	26.08% 115
Sim, algumas delas	40.36% 178
Não	3.40% 15
Sim, mas depende da condição de em que (sujidade e contaminação) ou da quantidade	27.44% 121
Não sei	2.72% 12
<b>TOTAL</b>	<b>441</b>

Q7 Considerando as embalagens plásticas flexíveis, qual o seu entendimento ou a sua percepção em relação à reciclagem das mesmas? Assinale as afirmações que entende serem corretas:

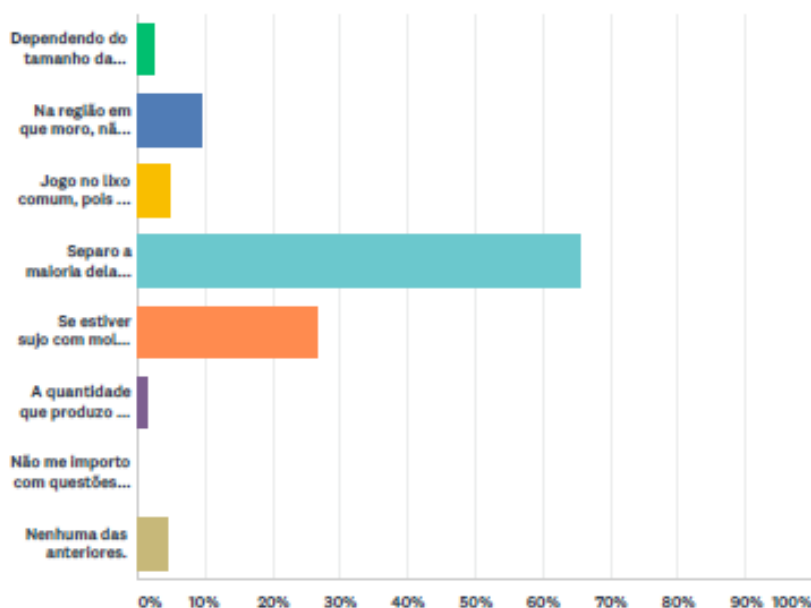
Answered: 435 Skipped: 6



ANSWER CHOICES	RESPONSES
Acho que este tipo de embalagem não tem solução tecnológica para reciclagem. Descarto tudo no lixo comum.	2.76% 12
Existe solução tecnológica para reciclagem, mas elas não são recicladas no Brasil.	26.44% 115
Somente alguns dos tipos embalagens plásticas flexíveis podem ser reciclados no Brasil. Eu as separo para reciclagem.	58.62% 255
Não sei nada sobre reciclagem de embalagens pós-consumo.	13.33% 58
Nenhuma das anteriores.	6.21% 27
Total Respondents: 435	

Q8 Considerando as embalagens plásticas flexíveis, no seu dia-a-dia, assinale a(s) alternativa(s) que tem a ver com a destinação que você dá para este tipo de embalagem após o consumo do produto:

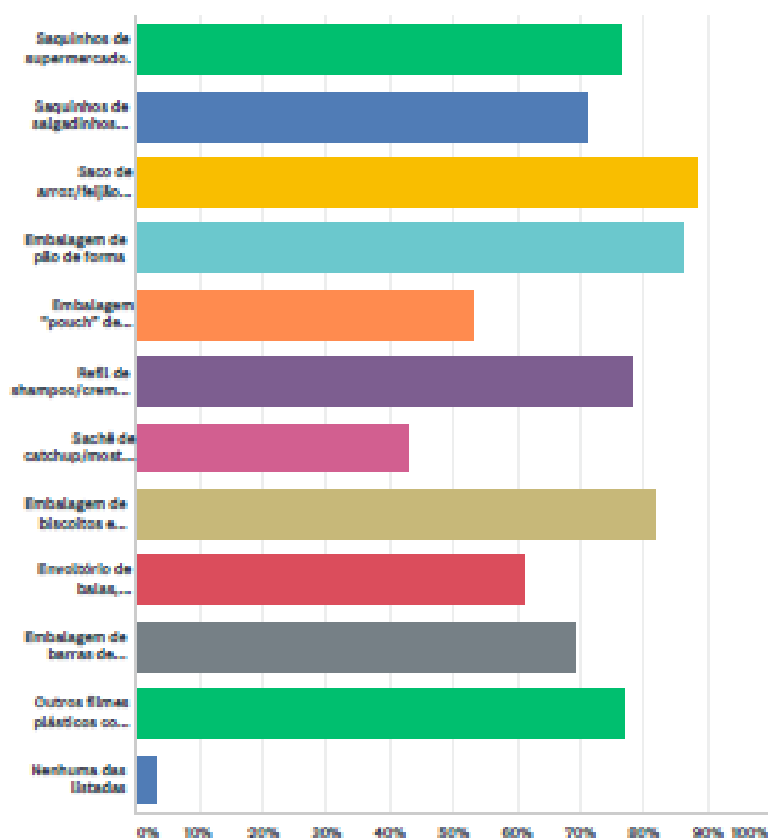
Answered: 437 Skipped: 4



ANSWER CHOICES	PERCENTAGE	RESPONSES
Dependendo do tamanho da embalagem, se estiver consumindo na rua, jogo na rua mesmo.	2.29%	10
Na região em que moro, não tem coleta seletiva ou cooperativa de reciclagem, então, descarto tudo no lixo comum.	9.61%	42
Jogo no lixo comum, pois as cooperativas de reciclagem ou da coleta seletiva não levam este tipo de material.	4.81%	21
Separo a maioria delas para coleta seletiva e reciclagem.	65.45%	286
Se estiver sujo com molho ou óleo, eu jogo no lixo comum, para não contaminar os outros materiais já separados para reciclagem.	26.54%	116
A quantidade que produzo de resíduos é muito pequena. Não faz diferença separar para reciclagem.	1.37%	6
Não me importo com questões de reciclagem, impacto ao meio ambiente e sustentabilidade.	0.00%	0
Nenhuma das anteriores.	4.58%	20
Total Respondents: 437		

**Q9** Considerando que sua residência conte com sistema de coleta seletiva de materiais para reciclagem, e que você quer contribuir, assinale quais das embalagens abaixo você separaria para reciclagem

Answered: 436 Skipped: 5



ANSWER CHOICES	RESPONSES
Saquinhos de supermercado	76.38% 333
Saquinhos de salgadinhos "tipo snacks"	71.10% 310
Saco de arroz/folho/espinafre/feijão	88.76% 387
Embalagem de pão de forma	86.24% 375
Embalagem "pouch" de molho de tomate/salsada/malinesa	52.98% 231
Refil de shampoo/cremes corporais/detergente líquido	78.21% 341

**Reciclagem de Embalagens Plásticas Flexíveis**

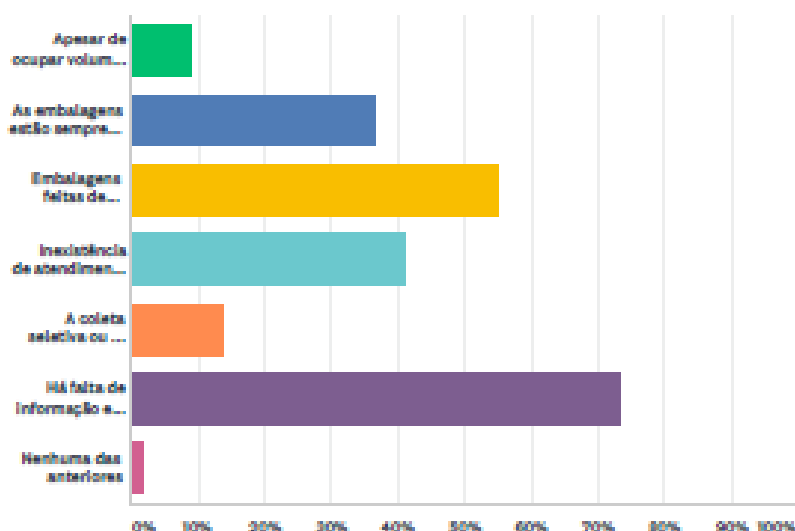
SurveyMonkey

Sachê de catchup/mostarda/malinesa	42.89%	187
Embalagem de biscoitos e macaráo	81.88%	357
Envolório de balas, caramelo, goma de mascar	61.24%	267
Embalagem de barras de chocolate/cereais/frutas	69.50%	303
Outros filmes plásticos com ou sem impressão	77.06%	335
Nenhuma das listadas	2.98%	13
Total Respondents: 436		



Q10 Considerando a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, assinale a(s) alternativa(s) que você entende que representa(m) a(s) dificuldade(s) e o(s) desafio(s), para que o índice de reciclagem deste material aumente:

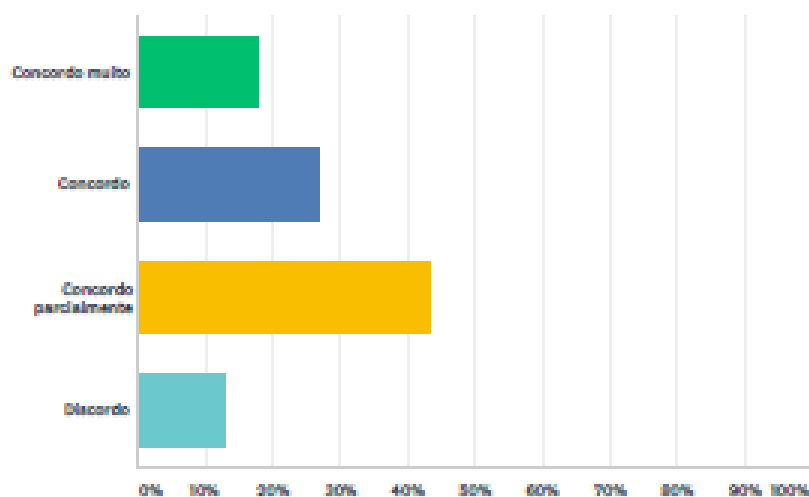
Answered: 437 Skipped: 4



ANSWER CHOICES	RESPONSES
Apesar de ocupar volume, tem muito pouco material. Não vale o esforço pela a quantidade de material que talvez possa ser recuperado	8.92% 39
As embalagens estão sempre sujas com resto de alimentos, o que dificulta a reciclagem	36.61% 160
Embalagens feitas de misturas de diferentes materiais plásticos, e até, plásticos com papel e/ou alumínio, e que deixam o consumidor em dúvida se este material pode ser reciclado ou não, e ao final, acaba descartando no lixo comum	54.92% 240
Inexistência de atendimento de coleta seletiva ou cooperativa de reciclagem na maioria das residências dificulta a reciclagem	41.19% 180
A coleta seletiva ou a cooperativa de reciclagem não levam este tipo de material	13.73% 60
Há falta de informação e ou esclarecimento aos consumidores sobre se este tipo de material pode ser reciclado e de como dar a destinação correta	73.23% 320
Nenhuma das anteriores	1.03% 8
Total Respondents: 437	

### Q11 Considerando as informações sobre reciclagem declaradas nas embalagens, você as lê e elas te ajudam a descartar a embalagem de maneira correta?

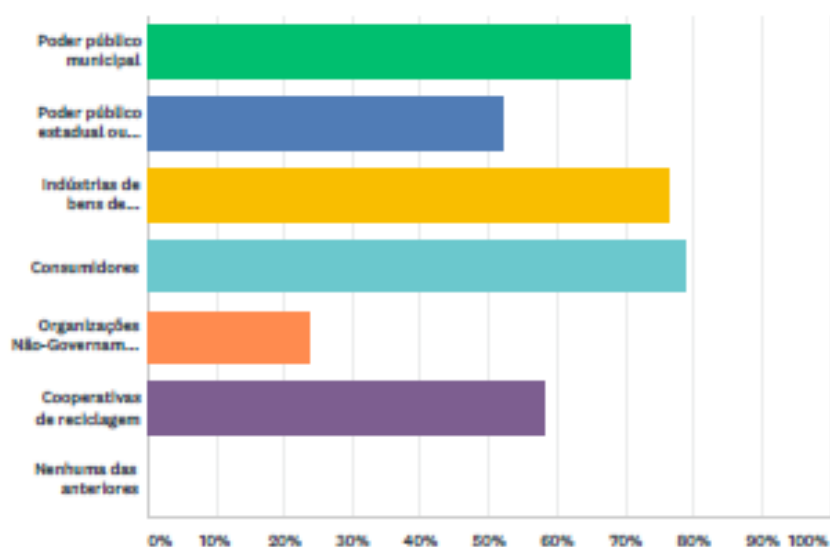
Answered: 434 Skipped: 7



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Concordo muito	17.74%	77
Concordo	28.50%	115
Concordo parcialmente	43.09%	187
Discordo	12.67%	55
<b>TOTAL</b>		<b>434</b>

**Q12 Considerando a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, quais agentes você entende que tem responsabilidade para que a reciclagem deste material aconteça ou aumente:**

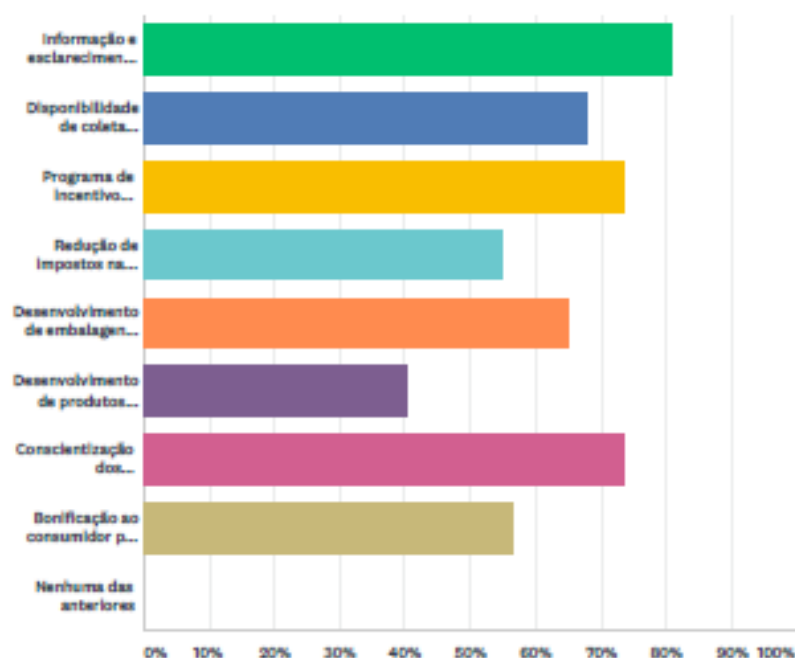
Answered: 437 Skipped: 4



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Poder público municipal	70.48%	308
Poder público estadual ou federal	52.17%	228
Indústrias de bens de consumo, responsável pela produção do produto embalado	76.43%	334
Consumidores	78.72%	344
Organizações Não-Governamentais (ONG's)	23.57%	103
Cooperativas de reciclagem	57.80%	253
Nenhuma das anteriores	0.29%	1
Total Respondents: 437		

Q13 Considerando a reciclagem das embalagens plásticas flexíveis pós-consumo, assinale a(s) alternativa(s) que você entende que poderia(m) contribuir para o aumento do índice de reciclagem deste material:

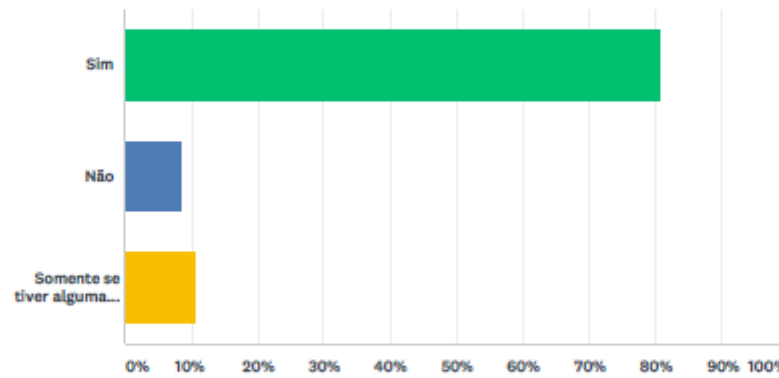
Answered: 435 Skipped: 6



ANSWER CHOICES	RESPONSES
Informação e esclarecimento aos consumidores, nas próprias embalagens, de que este tipo de embalagem pode ser reciclado e de como proceder a destinação correta	80.69% 351
Disponibilidade de coleta seletiva ou postos de entrega voluntária (PEV)	67.82% 295
Programa de incentivo público para o desenvolvimento da cadeia de reciclagem	73.33% 319
Redução de impostos na cadeia de reciclagem	54.71% 238
Desenvolvimento de embalagens mais eco-eficientes, mais leves (menor consumo de material), mono-material (sem mistura de materiais plásticos) e de fácil separação para reciclagem	64.83% 282
Desenvolvimento de produtos manufaturados com material plástico reciclado com maior valor agregado	40.46% 176
Conscientização dos consumidores na separação deste tipo de material para a reciclagem e para aquisição de produtos manufaturados com material reciclado	73.33% 319
Bonificação ao consumidor para entrega das embalagens pós-consumo nos PEV's (Portos de Entrega Voluntária)	56.55% 246
Nenhuma das anteriores	0.23% 1
Total Respondents: 435	

Q14 Se tivesse um ponto de entrega voluntária (PEV) próximo à sua residência, você separaria as embalagens flexíveis para reciclagem e as levaria ao PEV? Assinale a alternativa mais adequada à sua realidade

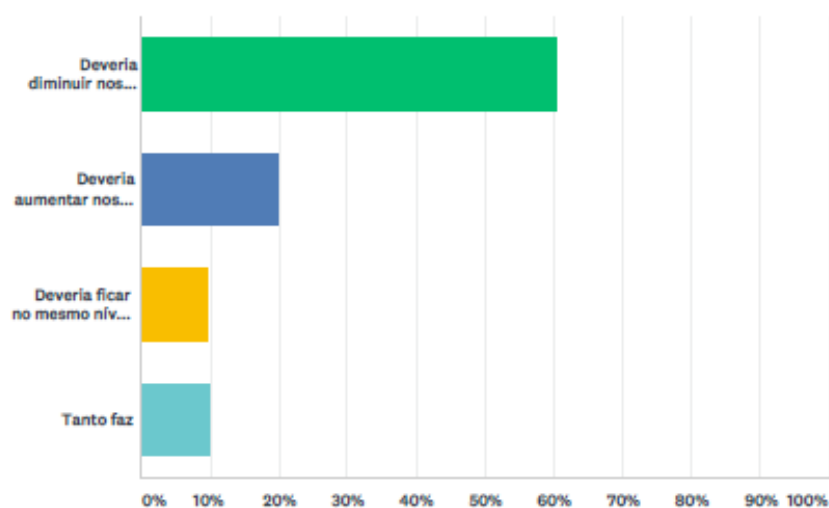
Answered: 438 Skipped: 3



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Sim	80.82%	354
Não	8.45%	37
Somente se tiver alguma compensação/bônus	10.73%	47
TOTAL		438

Q15 Do seu ponto de vista como consumidor(a), assinale seu pensamento sobre o uso das embalagens plásticas flexíveis:

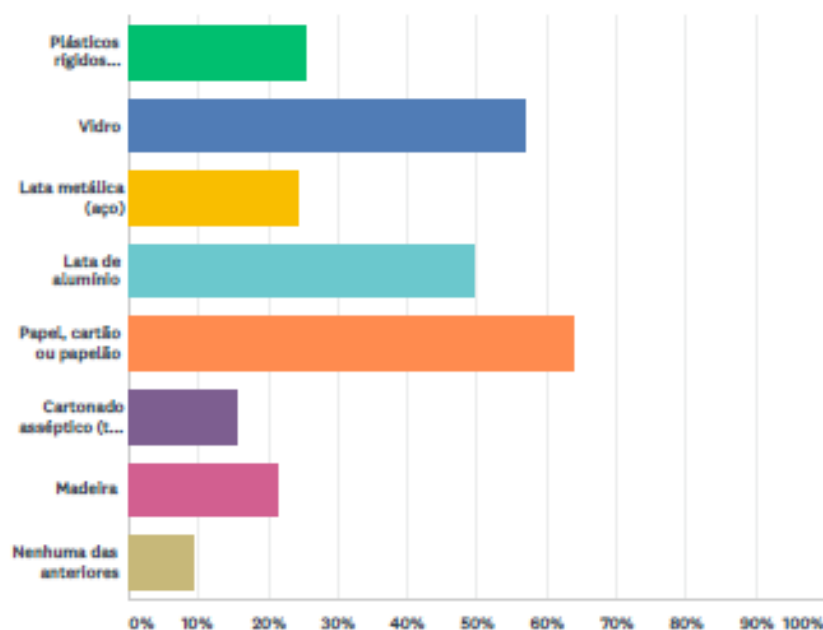
Answered: 434 Skipped: 7



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Deveria diminuir nos próximos anos	60.37%	262
Deveria aumentar nos próximos anos	19.82%	86
Deveria ficar no mesmo nível atual	9.68%	42
Tanto faz	10.14%	44
TOTAL		434

Q16 Assinale, de acordo com a sua percepção, qual(is) material(is) você entende que são mais sustentáveis do que as embalagens plásticas flexíveis.

Answered: 437 Skipped: 4



ANSWER CHOICES	RESPONSES	
Plásticos rígidos (garrafas, potes, frascos, ...)	25.40%	111
Vidro	56.98%	249
Lata metálica (aço)	24.26%	106
Lata de alumínio	49.66%	217
Papel, cartão ou papelão	64.07%	280
Cartonado asséptico (tipo longa vida)	15.79%	69
Madeira	21.28%	93
Nenhuma das anteriores	9.15%	40
Total Respondents: 437		

Eduardo Tadashi Yugue

Dissertação de Mestrado

Desafios e potenciais soluções para reciclagem de embalagens plásticas flexíveis no Brasil

Unesp – Sorocaba

27/05/2020

----- X -----