

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**GUSTAVO SATO BORGES**

**ESTUDO SOBRE A RECICLAGEM DE POLIPROPILENO EM FILMES PRÉ-  
CONSUMO**

**SÃO PAULO**

**2020**

GUSTAVO SATO BORGES

**ESTUDO SOBRE A RECICLAGEM DE POLIPROPILENO EM FILMES PRÉ-  
CONSUMO**

Trabalho apresentado como requisito para a formação como bacharel em Engenharia de Materiais, ao Departamento de Engenharia de Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Wiebeck

SÃO PAULO

2020

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Escola Politécnica da USP como parte dos requisitos necessários para a formação como Engenheiro de Materiais.

## **ESTUDO SOBRE A RECICLAGEM DE POLIPROPILENO EM FILMES PRÉ- CONSUMO**

Gustavo Sato Borges

SÃO PAULO 2020

Orientador: Hélio Wiebeck

Curso: Engenharia de Materiais

O objetivo deste trabalho é apresentar o processo que envolve a reciclagem de polipropileno em filmes pré-consumo, abordando temas como suas propriedades e processamento, a representatividade desse polímero no mercado e sua evolução histórica, a viabilidade de reciclagem, e impactos no momento de pandemia.

Palavras-chave: Polipropileno, reciclagem, propriedades, extrusão, mercado, viabilidade

Abstract of Undergraduate Project presented to Escola Politécnica da USP as a partial fulfillment of the requirements for degree of Engineer.

## **STUDY ABOUT POLYPROPYLENE RECYCLING IN PRE-CONSUMPTION FILMS**

Gustavo Sato Borges

SÃO PAULO 2020

Advisor: Hélio Wiebeck

Course: Materials Engineering

The objective of this work is to present the process involving the recycling of polypropylene in pre-consumer films, addressing topics such as its properties and processing, the representativeness of this polymer in the market and its historical evolution, the feasibility of recycling, and impacts in the time of a pandemic.

Key words: polypropylene, recycling, properties, extrusion, Market, viability

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das fases amorfas e cristalinas em polímeros (Faculdade de Engenharia de Bauru – Materiais e Processos de Fabricação).....	10
Figura 2 - Exemplo de policondensação (CANEVAROLO, Sebastião – Ciência dos Polímeros).....	11
Figura 3 - Exemplo de poliadição do etileno, com suas respectivas fases (ESTRUTURA E PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS, NICOLE DEMARQUETE) .	12
Figura 4 - Propriedades Físicas do Polipropileno (INCOMPLAST) .....	16
Figura 5 - Propriedades Térmicas do Polipropileno (INCOMPLAST).....	17
Figura 6 - Propriedades Elétricas do Polipropileno (INCOMPLAST).....	17
Figura 7 - Propriedades Mecânicas do Polipropileno (INCOMPLAST) .....	18
Figura 8 - Propriedades Químicas do Polipropileno (INCOMPLAST) .....	18
Figura 9 – Extrusora (PLÁSTICOVIRTUAL).....	19
Figura 10 - Esquema interno de uma extrusora (MECANICA DE FABRICAR, Extrusão Plástica) .....	20
Figura 11 - Equipamento de Termogravimetria (Ensaio Térmico, DEMA - UFSCAR) .....	23
Figura 12 - Projeção de produção de polímeros (Production, use, and fate of all plastics ever made) .....	24
Figura 13 - Destinação dos polímeros produzidos desde 1950 (FAPESP, Planeta Plástico).....	25
Figura 14 - Principais geradores de resíduos plásticos no mundo em 2016 (FAPESP, Planeta Plástico) .....	26
Figura 15 - Mercado mundial e produção de lixo em 2015 (em milhões de toneladas) (FAPESP, Planeta Plástico) .....	27
Figura 16 - Esquema de obtenção de plásticos a partir de petróleo (DESENVOLVENDO A CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL DE ESTUDANTES EM RELAÇÃO AO DESCARTE CORRETO DE PLÁSTICOS - BRUCK, Samara) .....	29
Figura 17 - Esquema de polimerização do polipropileno (MUNDO VESTIBULAR, A Reação de Polimerização) .....	29
Figura 18 - Polipropileno em filmes (BOPP) (MARCKPRINT, Rótulos e Etiquetas Adesivas).....	31
Figura 19 - Processo de fabricação de BOPP (Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens – Cauchick, Miguel. Telfser, Monica) .....	32
Figura 20 - Distribuição dos polímeros pelos seus tipos (Perfil 2018, ABIPLAST)....	33
Figura 21 - Uso de polímeros por setor para ciclo de vida curtos (Perfil 2018, ABIPLAST).....	34
Figura 22 - Uso de polímeros por setor para ciclo de vida médio (Perfil 2018, ABIPLAST).....	35
Figura 23 - Uso de polímeros por setor para ciclo de vida longo (Perfil 2018, ABIPLAST).....	36
Figura 24 - Processos produtivos na produção de transformados plásticos (2016) (Perfil 2018, ABIPLAST).....	37
Figura 25 - Distribuição de empregos e empresas do setor de transformados plásticos por Estado (Perfil 2018, ABIPLAST).....	38

Figura 26 - Evolução da importância dos tipos de materiais (Prof. Michael Ashby) ..	39
Figura 27 - Resumo da cadeia produtiva (2016) (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	40
Figura 28 - Principais destinos dos transformados plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	41
Figura 29 - Principais origens dos transformados plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	42
Figura 30 - Saldo comercial de transformados plásticos (nominal em R\$ milhões) (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	43
Figura 31 - Exportações e importações de transformados plásticos (nominal em R\$ milhões) (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	44
Figura 32 - Produção de transformados plásticos (em R\$ bilhões – preços constantes de 2018) (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	45
Figura 33 - Número de empresas na indústria de transformados plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	45
Figura 34 - Empregos na indústria de transformados plásticos (em milhares) (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	46
Figura 35 - Balanço de oferta e demanda de polipropileno no Brasil (ABIQUIM) .....	48
Figura 36 - Segmentação do mercado de polipropileno (2011) (MDIC) .....	48
Figura 37 - Produção de embalagens flexíveis por resina - 2T/2020 (ABIEF).....	49
Figura 38 - Fluxo de reciclagem mecânica em plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST) ...	53
Figura 39 - Distribuição de empregos e empresas de reciclagem por Estado (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	54
Figura 40 - Série histórica do número de empresa recicladora de plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	55
Figura 41 - Série histórica do número de empregados no setor de reciclagem de plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST) .....	56
Figura 42 - Tipos de reciclagem de polímeros (Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos - Pessoa, Vitor) .....	57
Figura 43 - Esquema de separação via diferença de densidade (Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos - Pessoa, Vitor) .....	58
Figura 44 - Poder calorífico em diversos polímeros (Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos - Pessoa, Vitor) .....	63
Figura 45 - Esquema da reciclagem em filmes de polipropileno (CONFECÇÃO PRÓPRIA) .....	66

## SUMÁRIO

1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
1.1 - Temperaturas características .....	8
1.2 - Estrutura cristalina .....	9
1.3 – Polimerização .....	11
1.4 - Combustão .....	12
1.5 - Degradação .....	13
1.6 – Propriedades do polipropileno .....	15
1.7 - Extrusora .....	18
1.8 - Instabilidade do Fundido.....	21
1.9 – Termogravimetria (TGA) .....	22
2 - INTRODUÇÃO .....	23
2.1 - Contexto Atual .....	23
2.2 - Polipropileno .....	28
2.3 - Polipropileno em Filmes .....	30
2.4 – Análise do consumo de polímeros por setor .....	33
3 - MERCADO.....	39
3.1 - Mercado de polímeros no Brasil .....	39
3.2 - Mercado de polipropileno no Brasil .....	46
4 - RECICLAGEM .....	50
4.1 - Desafios da reciclagem .....	50
4.2 – Reciclagem de plásticos no Brasil .....	53
4.3 - Reciclagem de Polímeros e Tipos de Reciclagem .....	56
4.3.1 – Reciclagem Mecânica.....	57
4.3.2 - Reciclagem Química.....	59
4.3.4 – Reciclagem Energética .....	62
4.4 – Reciclagem de filmes de polipropileno pré-consumo.....	63
4.5 - Restrições ao uso do polipropileno reciclado .....	67
4.6 - Outras alternativas.....	68
4.6.1 – Reutilização .....	68
4.6.2 – Redução .....	69
5 – CONCLUSÃO.....	69
6 - REFERÊNCIAS.....	71

## 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 - Temperaturas características

Um dos temas importantes para o processo de reciclagem de polímeros está relacionado com as temperaturas características como a de fusão, vítrea e a de cristalinidade.

A temperatura de fusão ( $T_m$ ) está relacionada à fase cristalina dos polímeros, em que apenas termoplásticos fundem. Ao se aproximar da faixa de temperatura de fusão, o polímero ganha energia para vencer forças intermoleculares até chegar ao ponto que ele passa a se comportar como fluido viscoso, e tendo esse comportamento, permite os principais processamentos industriais, como a extrusão e injeção. Alguns pontos podem alterar a temperatura de fusão, como a presença de grupos rígidos e polaridade das moléculas que aumentam a  $T_m$ .<sup>[40]</sup>

A temperatura vítrea ( $T_g$ ) é referente a fase amorfa, ela está presente abaixo da temperatura de fusão, que está abaixo da faixa de temperatura de transição vítrea. A cadeia não apresenta mobilidade e rotações, se comportando de forma frágil e sendo mais rígido nas propriedades macroscópicas. A  $T_g$  por sua vez, pode ser medida através do DSC, que detecta não só eventos endotérmicos e exotérmicos, sendo caracterizada pela mudança endotérmica da linha base com alteração do calor específico do material. Esse equipamento de DSC mede a variação de energia entre a amostra e uma determinada referência em função da temperatura ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação de temperatura controlada.<sup>[36]</sup>

A temperatura de cristalinidade ( $T_c$ ) é a faixa de temperatura entre a temperatura de fusão ( $T_g$ ) e ( $T_m$ ) em que ocorre a cristalização, que é a formação de uma fase ordenada a partir de núcleos individuais que são denominadas esferulitos. Esses esferulitos podem ser considerados análogos aos cristais de materiais policristalinos, e uma maior parcela ordenada confere melhores propriedades mecânicas. Essa ordenação pode ser controlada por um resfriamento lento para permitir as macromoléculas se acomodarem.<sup>[40]</sup>



Vale comentar que para a cristalização existem dois casos, o primeiro que foi comentado no caso acima é a dinâmica da cristalização à quente, que ocorre por um resfriamento lento suficiente para a formação da fase ordenada, se formando de forma mais expressiva quando está mais próxima a  $T_g$ . O outro caso é da cristalização à frio, ela acontece quando o resfriamento é muito rápido e não permite a cristalização, com isso, não há a formação da fase cristalina. A cristalização à frio se dá quando essa amostra que foi submetida a um resfriamento brusco é aquecida e acaba formando uma zona organizada.<sup>[41]</sup>

A temperatura de degradação é referente a faixa de temperatura que o polímero perde de forma definitiva suas propriedades, e começa a ter sua cadeia quebrada comprometendo sua estrutura. Para termoplásticos ela se localiza acima da temperatura de fusão.

## 1.2 - Estrutura cristalina

A cristalinidade de um polímero está relacionada a sua parcela de cadeia que está organizada, e essa organização depende de fatores como maior simetria possível de cadeia, fortes forças intermoleculares, e flexibilidade e mobilidade de cadeia.<sup>[7]</sup>

Para a formação de uma fase ordenada, é necessário haver uma nucleação seguida de um crescimento, entende-se que a nucleação é dada por uma diminuição do estado de energia o que torna uma reação favorável. No esquema abaixo é possível visualizar a representação das fases amorfas e cristalinas, em que a parte amorfa apresenta um desordenamento e a fase cristalina um ordenamento.<sup>[41]</sup>

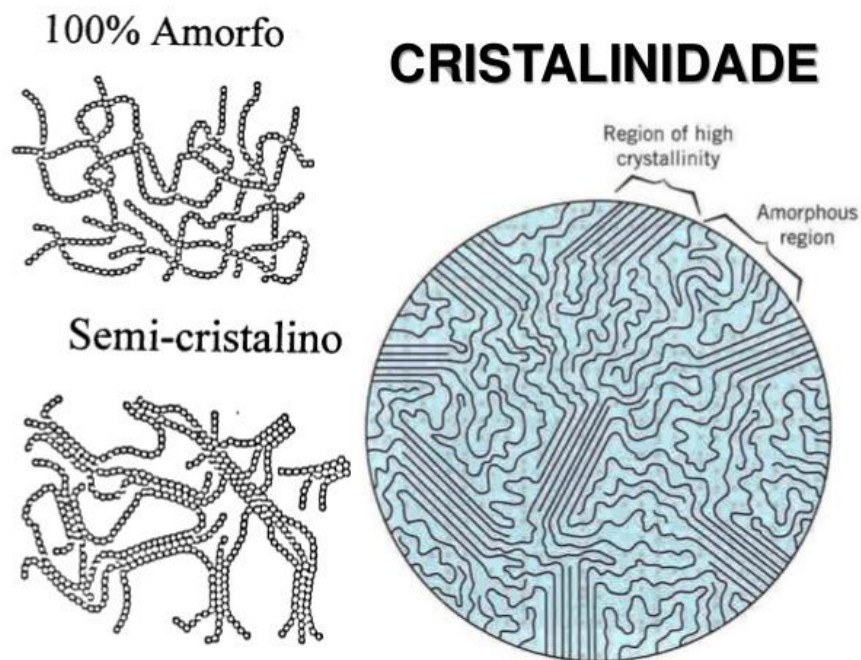


Figura 1 - Esquema das fases amorfas e cristalinas em polímeros (Faculdade de Engenharia de Bauru – Materiais e Processos de Fabricação)

A formação da fase cristalina influencia na densidade, transparência e propriedades mecânicas como resistência à tração. Em relação a densidade quanto maior o grau de cristalinidade mais denso será o polímero, em relação a transparência, quanto mais amorfo menos a luz incidente sofrerá por encontrar menos planos cristalinos para atravessar, com isso torna o material menos opaco, e por fim, quanto maior o grau de cristalinidade maior serão suas propriedades mecânicas, pelo fato de suportar mais tensões devido à sua conformação e empacotamento de cadeia.<sup>[41]</sup>

Devido ao seu comprimento de cadeia e emaranhamentos, os polímeros nunca são totalmente cristalinos, o que o difere por exemplo dos metais que apresentam materiais totalmente cristalinos.

O grau de cristalinidade é influenciado por uma cinética de reação bem lenta, pois isso dá tempo suficiente para as cadeias se acomodarem, portanto, é um fator extremamente relevante para o processamento e reprocessamento de polímeros, em especial o tema do trabalho que é o polipropileno.<sup>[10]</sup>

### 1.3 – Polimerização

A polimerização é o processo que dá origem ao polímero através de monômeros, que acabando se ligando em condições ideais de temperatura e pressão para formar uma macromolécula.

Essa reação pode ocorrer de duas formas, uma é a policondensação que tem como característica ocorrer em etapas, possuir mecanismos heterolíticos, formação de subprodutos, cinética de reação mais lenta e sem a formação imediata do polímero, com a concentração dos monômeros diminuindo rapidamente, e por fim, possuir um grau de polimerização médio.<sup>[6]</sup>

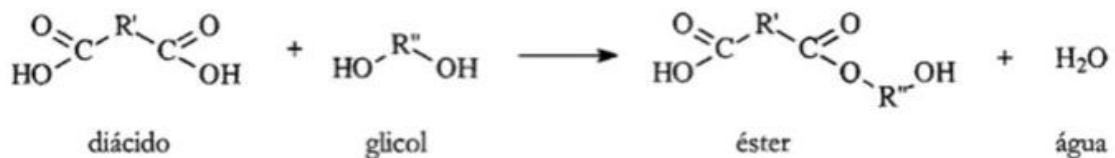
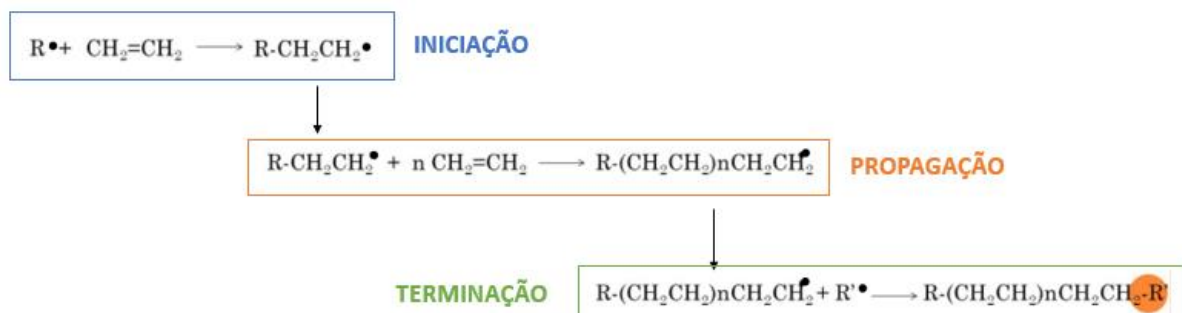


Figura 2 - Exemplo de policondensação (CANEVAROLO, Sebastião – Ciência dos Polímeros)

A segunda forma é a que merece mais destaque pelo tema do trabalho, é a poliadição, que tem como características a reação em cadeia com 3 componentes reacionais que são a iniciação, propagação e a terminação, não haver formação de subprodutos, possuir uma velocidade de reação rápida com a formação imediata dos polímeros, a concentração dos monômeros diminuirão progressivamente, e o grau de polimerização ser maior que no caso da policondensação.<sup>[24]</sup>



*Figura 3 - Exemplo de poliadição do etileno, com suas respectivas fases (ESTRUTURA E PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS, NICOLE DEMARQUETE)*

A polimerização pode ocorrer por diversas técnicas, podendo ser divididas em dois grupos, as homogêneas e as heterogêneas. As técnicas que empregam o sistema homogêneo são: polimerização em massa (ou bloco) e polimerização em solução. As técnicas que empregam o sistema heterogêneo são: polimerização em emulsão, polimerização em suspensão, polimerização interfacial e polimerização em fase gasosa.<sup>[1]</sup>

A polimerização em fase gasosa é a que merece destaque por ser o tipo de polimerização responsável pela síntese de polipropileno. Essa técnica emprega o uso de monômeros gasosos, com iniciadores de coordenação de alta eficiência (catalisadores de Ziegler-Natta), mantido em um leito fluidizado contínuo. Nesse processo, o polímero acaba se formando nos locais ativos do catalisador em uma partícula que se expande gradualmente, e o monômero na fase gasosa se difunde atingindo esses locais ativos.<sup>[24]</sup>

A técnica de polimerização em fase gasosa tem como vantagem ter reações instantâneas, formar polímeros com alto peso molecular, e ser obtido em condições de comercialização. E como desvantagens, essa técnica necessita de um monômero adequado, possui restrição ao par monômero-catalisador, e tem um alto custo.<sup>[24]</sup>

#### **1.4 - Combustão**

Assim como todos os outros compostos orgânicos, o polipropileno é um combustível, e seu ponto de inflamação é de cerca de 260°C, com auto ignição a 390°C, a importância do processo de combustão é devido a possível queima do polímero utilizando a energia da queima para geração de energia, conhecida como reciclagem energética que pode ser usada em processos energéticos, porém, emite CO<sub>2</sub> e outros gases que contribuem para o efeito estufa. Essa temperatura de combustão mostra uma das propriedades de polímeros de forma geral, que possuem temperaturas de uso baixa quando comparado a metais e cerâmicos. O

processo de combustão, em especial aplicado na reciclagem, será abordado de forma mais detalhada na descrição dos tipos de reciclagem.<sup>[5]</sup>

## 1.5 - Degradação

Uma característica dos polímeros que precisa ser entendida é a degradação. A degradação pode ocorrer por diversas causas, entre elas pode-se citar a oxidação, em que o oxigênio, raios ultravioletas (UV) e altas temperaturas, acabam oxidando as cadeias poliméricas, e com isso promovem sua quebra que resulta na perda definitiva de propriedades. Para lidar com essas adversidades é possível adicionar estabilizantes na síntese do polipropileno que acabam minimizando a degradação.<sup>[6]</sup>

A degradação térmica é um processo irreversível, que ao ser submetido à uma faixa próxima à de degradação, sofre uma quebra de cadeia havendo mudanças químicas com ou sem a presença de um reagente químico. Com a ausência de oxigênio, é possível haver degradação térmica com ruptura da cadeia principal, em que ocorre uma “despolimerização” com fragmentação de cadeia. Vale comentar para diferenciar a degradação termo oxidativa da degradação térmica, que a degradação termo-oxidativa se trata não apenas de uma pirólise como o caso da degradação térmica, mas também de uma oxidação, que em conjunto acabam atuando com sinergia e afetam mais do que em caso separado a estrutura do polímero. A degradação térmica atua por meio de quebra de cadeias, e a degradação termo-oxidativa atua por meio de quebra de cadeias e oxidação da cadeia promovendo sua quebra por mais de um mecanismo.<sup>[5]</sup>

Outro caso típico é haver reação sem ruptura de cadeia principal, com reações internas em que há a formação de elementos mais estáveis, no caso do polipropileno não é algo tão comum dado que ele é bem estável do ponto de vista químico.

A degradação mecânica está ligada aos efeitos macroscópicos em que há aplicação de forças e deformações externas que levam a ruptura e fragmentação das cadeias. Nesse caso, a ruptura pode se dar por processos de uso do polímero, processos de reciclagem e até mesmo na produção do polímero. Esses processos

acabam comprometendo propriedades mecânicas dos polímeros e limitando seus possíveis usos. Esse fator é decisivo em processos de reciclagem mecânica de polímeros, pois essa degradação compromete suas propriedades.<sup>[13]</sup>

A degradação química faz referência aos processos que são induzidos pela ação de reagentes químicos como: ácidos, solventes e água. Um caso é a solvólise, que ocorre devido a reações químicas com algumas substâncias como a água, em que o polímero pode inchar e depois dissolver, e depende de algumas propriedades, como a capacidade de absorção da substância por parte do polímero além de fenômenos difusivos, como morfologia do polímero e polaridade da cadeia.<sup>[13]</sup>

Outro caso é a oxidação, em que ocorre a deterioração por meio do oxigênio, e depende de fatores como a estrutura química, com destaque para grupos insaturados, por outro lado, a ausência de insaturações aumenta a resistência a oxidação. Outro fator que influencia é a  $T_g$ , em que se a  $T_g$  é bem acima da temperatura ambiente, a oxidação será pequena devido à pouca mobilidade nos deslocamentos das moléculas, o contrário disso também é válido, em que  $T_g$  próxima da temperatura ambiente favorece a oxidação.<sup>[13]</sup>

Ainda falando de oxidação, ela pode ser dividida em dois casos, um é a oxidação direta, que são as oxidações que ocorrem em condições normais de uso em operações leves e não afetam significativamente o polímero. O outro caso é a auto oxidação, em que por meio de alguma substância que atua de forma catalisadora, acaba ocorrendo a produção de radicais livres, como o caso dos raios UV, impurezas metálicas, peróxidos. Com a presença dos radicais livres e pontos reativos, se formam moléculas de baixo peso molecular normalmente instáveis como peróxidos que acabam retroalimentando a reação, gerando mais produtos até se tornar um composto estável.<sup>[13]</sup>

A oxidação acaba diminuindo as propriedades mecânicas pois o polímero acaba tendo sua estrutura microscópica afetada, de forma que podem haver formação de compostos ou rompimento de cadeia, de forma macroscópica esse efeito pode ser visto pela mudança de cor, devido a formação de carbonilas, que tornam o material mais amarelado.<sup>[13]</sup>

Um outro caso de degradação é por radiação ultravioleta, que de forma geral está ligada a deterioração pela luz solar, e depende de fatores como capacidade do

polímero absorver a radiação, funcionando por meio da excitação dos elétrons da cadeia que recebem energia suficiente para poder quebrar ligações das moléculas.<sup>[13]</sup>

Existem dois casos para degradação por radiação ultravioleta, a primeira delas é a fotolítica, que são provocadas pela luz, em que a radiação tem que ultrapassar uma energia crítica suficiente para provocar ruptura nas cadeias principais. O segundo caso é a reação fotoquímica, esse tipo é mais frequente, e ocorre na presença de um reagente químico, em que a combinação desses dois fatores faz com que haja degradação com uma energia de radiação bem menor do que o caso das fotolíticas, podendo haver degradação até com luz visível.<sup>[13]</sup>

## 1.6 – Propriedades do polipropileno

Antes de dar uma ideia sobre as propriedades do polipropileno, é necessário comentar o que são as propriedades mecânicas, elas basicamente definem o comportamento do material quando sujeito a cargas externas, ou seja, sua capacidade de resistir ou transmitir esses esforços, se fraturando ou deformando. Entre elas pode se exemplificar seu módulo de elasticidade, resistência à tração, flexão, compressão e tenacidade.<sup>[34]</sup>

Em termos das suas propriedades mecânicas o polipropileno tem uma densidade que varia de 0,89-0,92g/cm<sup>3</sup> dependendo do seu nível de cristalinidade, em que quanto mais cristalino maior a densidade. E a cristalinidade pode atingir até 70%, lembrando que quanto maior o nível de cristalinidade maior são as propriedades mecânicas como resistência a tração, maior dureza, entre outras.<sup>[34]</sup>

Em relação as propriedades térmicas, como vários outros termoplásticos, o polipropileno se funde em uma faixa de temperatura, normalmente um teste que determina a faixa de transição é a varredura diferencial de calorimetria que determina o fluxo de calor entre uma amostra e uma material de referência em função da temperatura, em que a técnica consegue identificar picos endotérmicos e exotérmicos<sup>[3]</sup>. Dependendo da taticidade o polipropileno pode ter uma faixa de

fusão entre 130-170°C, e ter temperaturas de transição vítrea (Tg) por volta de 0°C, em que para temperaturas menores que a transição vítrea, o polímero se torna frágil e quebradiço.<sup>[4]</sup> Somando esses fatores é possível dizer que a temperatura de uso do polipropileno fica entre 0-100°C, mostrando ser um plástico comum em relação as propriedades térmicas, e que devido a essa faixa de temperatura de trabalho, pode ser usado nos mais diversos usos.<sup>[34]</sup>

Talvez a parte mais interessante do polipropileno seja relacionado as suas propriedades químicas, em que o polímero em questão tem alta inércia química, sendo insolúvel na maioria dos solventes orgânicos com exceção de oxidantes fortes. Por essa característica, ácidos não oxidativos e bases podem ser armazenadas em recipientes e embalagens de polipropileno. Essa característica mencionada, quando somada ao fato do polímero barato e ser não tóxico, torna o polímero em questão um dos mais utilizados em embalagens.

Em termos gerais, através das tabelas abaixo tiradas do site da INCOMPLAST sobre as propriedades do produto produzido pela empresa, são dadas as propriedades físicas, térmicas, mecânicas, elétricas e químicas do polipropileno.<sup>[37]</sup>

Propriedades Físicas	Unidades	Normas	Valores
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	DIN 53479	0,91
		ASTM D792	
		ISO 1183	
Temperatura mínima e máxima em uso contínuo	°C	---	-10
			100
Absorção de umidade até equilíbrio a 23 °C c/UR 50%	%	DIN 53715	0
Absorção de água até a saturação	%	DIN 53495	0
		ASTM D570	

Figura 4 - Propriedades Físicas do Polipropileno (INCOMPLAST)



Propriedades Térmicas	Unidades	Normas	Valores
Calor específico à 23 °C	J/°K.g	---	1,7
Condutividade térmica à 23 °C	W/°K.m	DIN 52612	0,25
Coefficiente linear de expansão térmica à 23°C	10 <sup>-6</sup> /°K	---	150
Temperatura máxima de uso em curto período	°C	---	120
Ponto de fusão	°C	DIN 53736	165
Temperatura de transição vítrea	°C	DIN 53736	-18
Temp. distorção sob ISO-R75 método A	°C	DIN 53461	65
		ASTM D648	
		ISO R 75	
Inflamabilidade	---	UL94	HB

Figura 5 - Propriedades Térmicas do Polipropileno (INCOMPLAST)

Propriedades Elétricas	Unidades	Normas	Valores
Constante dielétrica a 1000 Hz	---	DIN 53483	2,2
		ASTM D150	
Fator de perda dielétrica a 10 Hz	---	DIN 53483	0,0002
Resistividade volumétrica a 23 °C 50% RH	Ω cm	DIN 53482	1017
		ASTM D257	
Rigidez dielétrica	KV/mm	DIN 53481	100
Resistência superficial	Ω	DIN 53482	1013

Figura 6 - Propriedades Elétricas do Polipropileno (INCOMPLAST)

Propriedades Mecânicas	Unidades	Normas	Valores
Tensão de escoamento à tração	MPa	DIN 53455	35
		ASTM D638	
		ISO R 527	
Tensão de ruptura à compressão	MPa	ASTM D695	60
Tensão de ruptura à flexão	MPa	ASTM D790	40
Módulo de elasticidade à tração	MPa	DIN 53457	1100
		ASTM D638	

		ISO R527	
Módulo de elasticidade à compressão	MPa	ASTM D695	1030
Módulo de elasticidade à flexão	MPa	DIN 53457	1300
		ASTM D790	
Alongamento até a ruptura	%	DIN 53452	600
		ASTM D638	
		ISO R 527	
Dureza Rockwell	---	ASTM D785	R64
		ISO 2039-2	
Resistência à penetração de esfera	MPa	DIN 53456	75
		ISO 2039	
Tensão de fluência c/ 1% defor. em 1000H	MPa	DIN 53444	4
		ISO R 899	
Coeficiente de atrito p/ aço refitic. e polido c/ resina a seco	---	---	0,3

Figura 7 - Propriedades Mecânicas do Polipropileno (INCOMPLAST)

Propriedades Químicas	Unidades	Normas	Valores
Resistência a ácidos fortes	---	ASTM D543	(+)
			nota (1)
			nota (2)
Resistência a ácidos fracos	---	ASTM D543	+
Resistência à bases fortes	---	ASTM D543	+
Resistência à bases fracas	---	ASTM D543	+
Resistência a raios solares	---	ASTM D543	+
			Nota(3)

Figura 8 - Propriedades Químicas do Polipropileno (INCOMPLAST)

## 1.7 - Extrusora

Extrusora é o equipamento responsável pela extrusão do polímero, em que ele é colocado na forma de *pellets*, que são grãos de polímeros, ou na forma de aparas, quando o processo de extrusão serve para reciclar o polímero. Nesse

processo, o plástico sai na forma de fio caso não haja uma matriz, e havendo matriz pode sair de diversos formatos como canos e filmes.<sup>[14]</sup>

A extrusora deve fazer uma fusão homogênea do termoplástico, na pressão temperatura e quantidades adequadas. Pode parecer um processo fácil, mas que possui diversas variáveis como taxa de cisalhamento que acabam afetando a qualidade do material de saída.



*Figura 9 – Extrusora (PLÁSTICOVIRTUAL)*

Normalmente, a razão entre comprimento da rosca e diâmetro dela ( $L/D$ ) ficando em torno de 10-30, sendo que para termoplásticos são assumidos valores maiores dessa razão. E para dar continuidade ao processo, juntamente com a rotação da rosca, há a presença de aquecedores elétricos que acabam fundindo a massa polimérica para tornar homogênea e exercer a extrusão.<sup>[15]</sup>

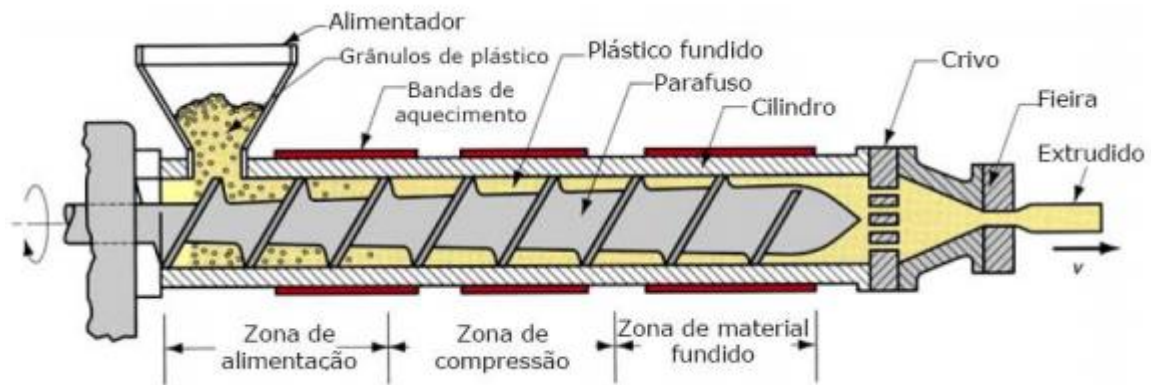


Figura 10 - Esquema interno de uma extrusora (MECANICA DE FABRICAR, Extrusão Plástica)

Como mostrado acima, a extrusora possui diversos componentes e zonas, para dar início ao processo, os grãos ou *pellets* são colocados no alimentador que é responsável por manter os *pellets* e ir alimentando a extrusora aos poucos, após a alimentação, a rosca transporta o polímero que é aquecido até fundir por meio de resistências elétricas instaladas na parede do cilindro, ao longo da rosca há uma zona de desgaseificação que expulsa os gases produzidos no aquecimento. O polímero fundido é expurgado ao fim do cilindro pela movimentação de rotação da rosca que o empurra, e nesse processo, o material ao longo do cilindro acaba preenchendo os sulcos entre os filetes da rosca. Após o processo de extrusão, o polímero sai na forma de fios ou algum outro perfil dependendo de uma matriz que dá o formato ao final, e no caso dos fios passam por um resfriamento em água numa banheira de alguns metros e localizada próxima a saída da extrusora, para diminuição da temperatura e por consequência aumento da viscosidade, não permitindo um efeito tão grande do inchamento como será mostrado mais à frente.<sup>[9]</sup>

Ao longo do cilindro, há bandas de aquecimento que são responsáveis por aquecer o canhão de forma controlada, e com isso fundir o polímero, essa fusão parte do princípio de compressão combinada com a rotação que força o polímero contra a parede que é aquecida pelas bandas de aquecimento, e acaba tornando o processo homogêneo e permitindo o polímero a saída do canhão para passagem em uma matriz e ganhar o formato desejado. Por haver uma compressão, aquecimento e cisalhamento nesse processo, é necessário se atentar para essas variáveis, para não comprometer suas propriedades. No caso do polipropileno isso não é tão grave como o caso do PET e PVC, que em uma possível reciclagem as propriedades estão bem comprometidas.

Em relação as zonas da extrusora, na zona de alimentação ocorre a entrada do polímero que começa a se compactar e se mover como um conjunto. Nessa zona a profundidade de filete é maior.<sup>[9]</sup>

Na zona de compressão há a presença de polímero em estado sólido e fundido, o comprimento dessa zona depende de fatores como a geometria da rosca e tipo de polímero, pois alguns são mais sensíveis e suportam menos tempo aquecido e a uma compressão maior. Ainda nessa zona, acontece uma compactação do material com a diminuição da altura do filete da rosca e expulsão dos gases provenientes da fusão e que estavam entre os grãos.<sup>[9]</sup>

Na zona de dosagem ocorre o controle da quantidade de polímero que será enviada à matriz e gerando pressão requerida para a extrusão, podendo ser considerada uma zona de arraste em que o fundido é levado para fora do canhão.<sup>[9]</sup>

Ainda comentando um pouco sobre a rosca, os sulcos da rosca começam fundos e vão diminuindo progressivamente até o final, sempre com uma folga pequena entre a rosca e o cilindro para evitar o fluxo contrário, e outro ponto importante é que os sulcos na zona de dosagem estejam completamente preenchidos pelo polímero causando problemas de qualidade no produto.<sup>[15]</sup>

Em relação aos parâmetros geométricos da rosca, é necessário citar um ponto que influencia seu desempenho. Para roscas com zonas de compressão longas são usadas para processar polímeros sensíveis ao aquecimento (possuem estabilidade térmica limitada).<sup>[15]</sup>

### **1.8 - Instabilidade do Fundido**

Instabilidade do fundido pode ser entendido como defeitos no processo de extrusão que acabam afetando as propriedades, uma das instabilidades que podem ser causadas no processo de extrusão está relacionada à fratura, em que para vazões acima de um limite o fundido não tem tempo de relaxação no capilar e começa a crepitar, normalmente está relacionado a ruídos audíveis no capilar.<sup>[10][11]</sup>

Outro caso de instabilidade está relacionado a porosidade superficial devido a defeitos na desgaseificação que forma pequenos poros que são visíveis, outro caso

está relacionado às fraturas da superfície, em que durante o transporte dentro da matriz as camadas mais próximas da parede do cilindro se movimentam com velocidades menores devido ao atrito com a parede, e na saída o perfil de velocidades acaba mudando, em que as camadas próximas a parede são aceleradas. Se essa aceleração for muito grande pode provocar rasgos na superfície e quebra de cadeias, o que faz com que perca suas propriedades. E o último caso está relacionado a ruptura do polímero que indica que os parâmetros não estão adequados, podendo estar relacionado desde a qualidade do material, até velocidade de rotação, e viscosidade.

### **1.9 – Termogravimetria (TGA)**

A termogravimetria (*TGA – Thermogravimetric analysis*) é uma técnica de análise térmica, na qual se monitora a variação de uma amostra em função do tempo ou temperatura e atmosfera controladas. O princípio de funcionamento parte da análise de perda ou agregação de massa à amostra em diversas temperaturas. Em geral, essa técnica tem ampla aplicação no controle de qualidade na pesquisa de produtos industriais, como é o caso de polímeros.<sup>[3]</sup>

O aparelho de TGA apresenta como peças principais uma balança de precisão, cadinhos feitos com material inerte, forno, termopares e um sistema de passagem de gás. A amostra é inserida em um cadinho e levada ao forno, a temperatura é programada para variar no tempo segundo os critérios definidos, enquanto a balança fornece os dados da massa da amostra em função do tempo. O sistema de controle atmosférico, tem sua importância porque os gases presentes no momento da análise podem ou não reagir com a amostra, tendo efeitos diretos com a variação da massa.<sup>[39]</sup>

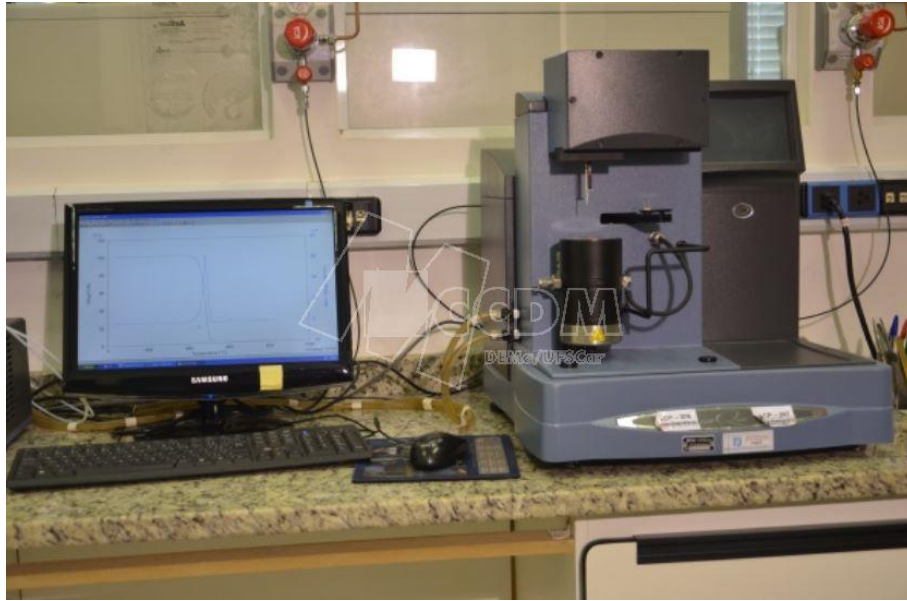


Figura 11 - Equipamento de Termogravimetria (Ensaio Térmico, DEMa - UFSCAR)

Vale comentar que essa técnica é usada normalmente em conjunto com a DSC, porque a técnica DSC não depende da variação da massa, e isso apresenta uma vantagem para poder identificar transições de fase que passariam despercebidas puramente pela técnica de TGA, como mudanças estruturais, reações e transições sólido-sólido, cristalização, fusão, polimerização e reações catalíticas. [40]

## 2 - INTRODUÇÃO

### 2.1 - Contexto Atual

O polipropileno assim como diversos outros polímeros, é um material que demora centenas de anos para se decompor, além de ser utilizado em grande escala, acaba produzindo grandes quantidades de lixo que vem aumentando ano a ano no mundo, e conforme a projeção dada pela figura abaixo retirada do artigo *Production, use, and fate of all plastics ever made*<sup>[22]</sup>, os números relacionados a produção de polímeros vem crescendo exponencialmente preocupando em relação

ao descarte e também ganhando destaque em relação à pesquisas dando destaque a esse problema.

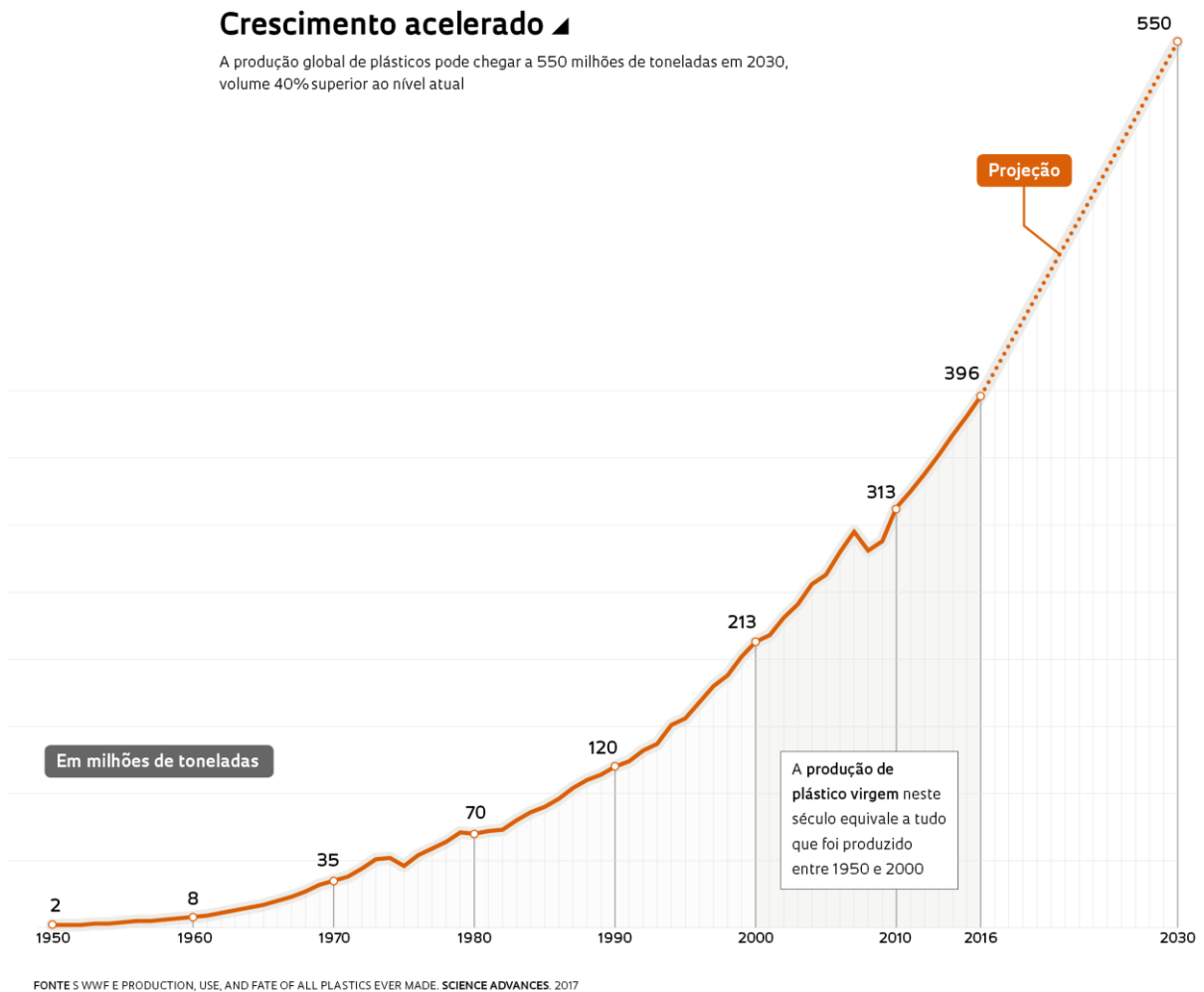


Figura 12 - Projeção de produção de polímeros (*Production, use, and fate of all plastics ever made*)

Ao longo da história foi produzido cerca de 8 bilhões de toneladas de plásticos, sendo que cerca de 6,3 bilhões de toneladas já foram descartadas, e dessa parte descartada, do montante total, cerca de 4,9 bilhões de toneladas estão em aterros ou na natureza. Isso demonstra o problema que temos em relação a esse lixo produzido, e uma das possibilidades de resolução desse problema pode vir de sua reciclagem.<sup>[22]</sup>



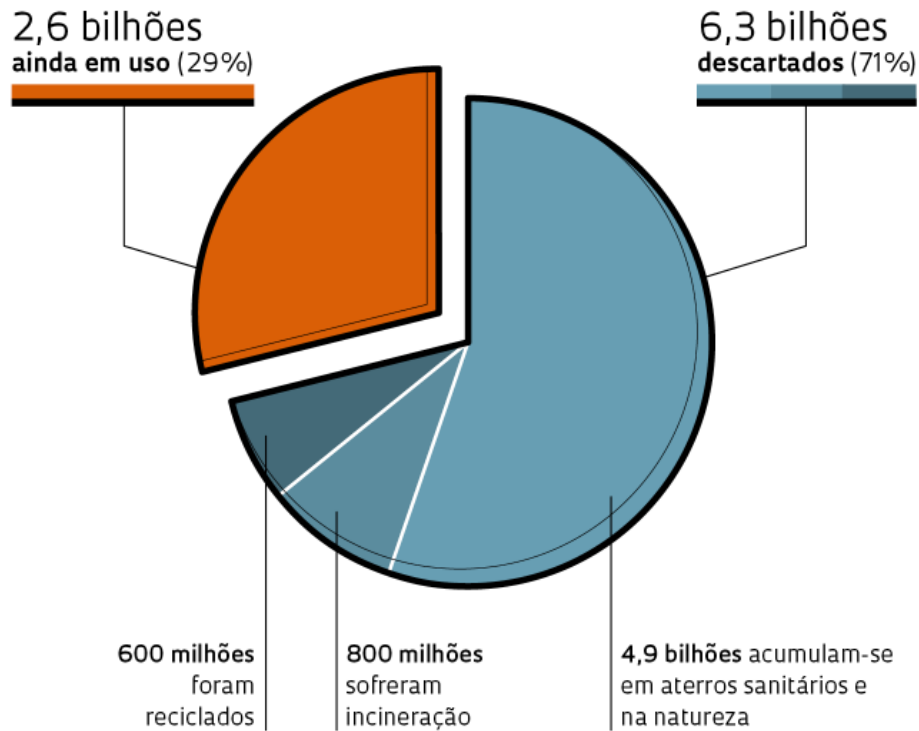
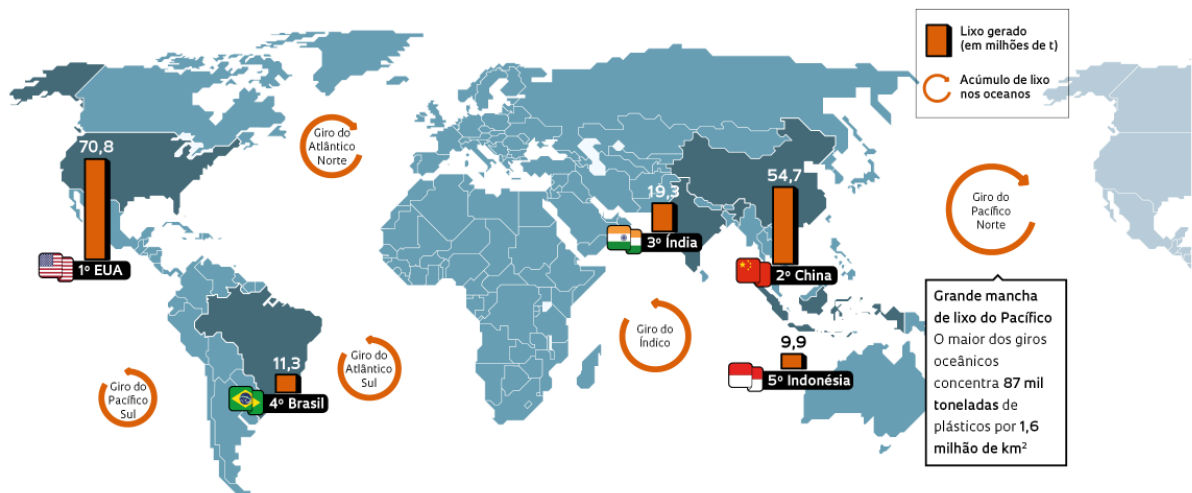


Figura 13 - Destinação dos polímeros produzidos desde 1950 (FAPESP, Planeta Plástico)

Segundo um estudo da WWF<sup>[23]</sup>, baseado no relatório *What a waste 2.0* do Banco Mundial e da Universidade de Harvard, o Brasil em 2016 foi o quarto maior produtor de resíduos plásticos do mundo, ficando atrás apenas dos EUA, China e Índia. Sendo que das 10,3 milhões de toneladas produzidas, 91% foi coletada, porém apenas 1% ou 145mil toneladas foi encaminhado para o serviço de reciclagem, número bem abaixo da média global de 9%.<sup>[23]</sup>



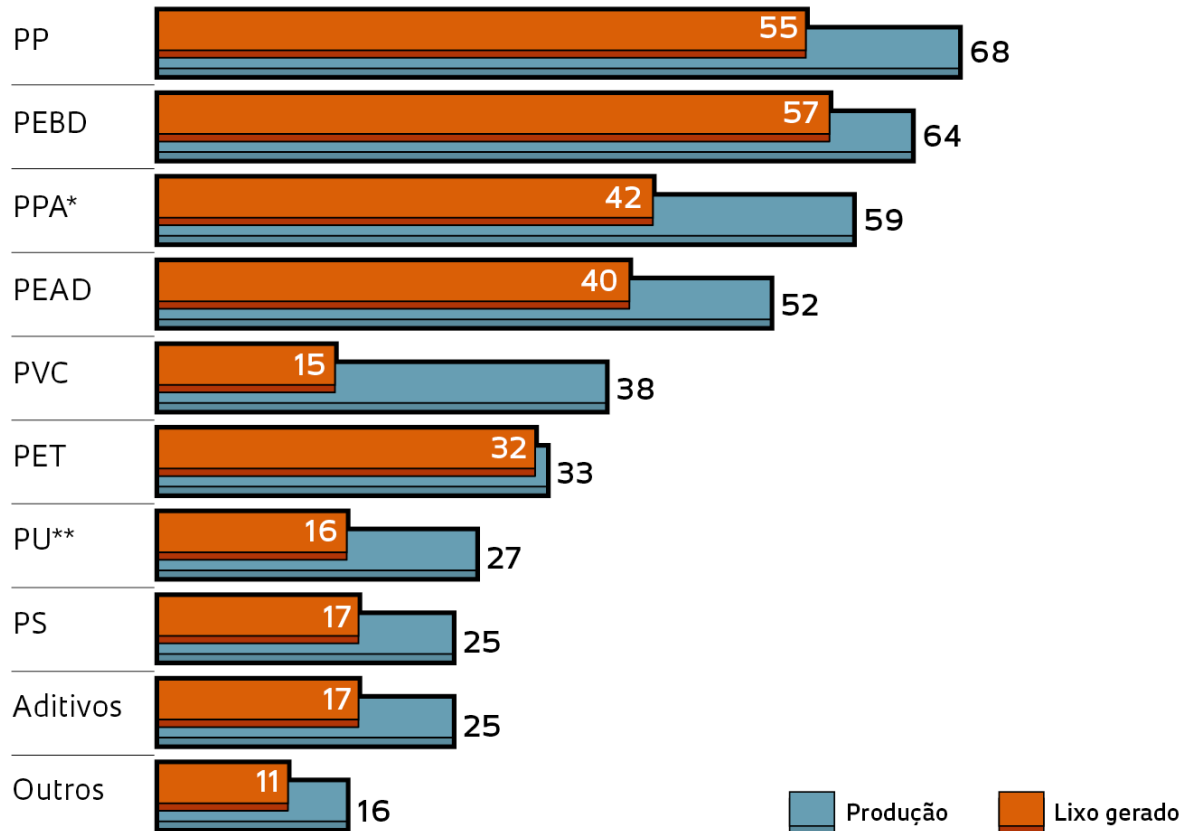
FONTES WWF, A PARTIR DE DADOS PRIMÁRIOS DO RELATÓRIO WHAT A WASTE 2.0 DO BANCO MUNDIAL, UNIVERSIDADE HARVARD E THE OCEAN CLEAN UP

Figura 14 - Principais geradores de resíduos plásticos no mundo em 2016 (FAPESP, Planeta Plástico)

Baseado no artigo *Production, use, and fate of all plastics ever made*<sup>[22]</sup>, no mundo inteiro no ano de 2015, dentre todos os tipos de plásticos produzidos, o polipropileno foi o mais produzido, muito em razão dos plásticos utilizados em embalagem, e foi um dos principais geradores de lixo.

## Mercado global e geração de lixo ▲

Polipropileno encabeçou o ranking mundial da produção; o polietileno de baixa densidade liderou o do descarte, em milhões de toneladas (2015)



\*Poliftalamida, um tipo de poliamida

\*\*Poliuretano

FONTE PRODUCTION, USE, AND FATE OF ALL PLASTICS EVER MADE. SCIENCE ADVANCES. 2017

Figura 15 - Mercado mundial e produção de lixo em 2015 (em milhões de toneladas) (FAPESP, Planeta Plástico)

Com todos esses problemas citados acima, uma das possíveis soluções para minimizar o impacto ambiental, seria a reciclagem de parte desse plástico.

Um desafio para isso é a dificuldade de se reciclar polímeros, porque diferentemente dos metais, os polímeros apresentam limitações na reciclagem devido ao fato que o tipo de reciclagem mais viável acaba diminuindo as propriedades do material, além de haver leis que não permitem polímeros reciclados em usos alimentares e medicinais. Somando os fatores citados acima, o estudo de reciclagem se torna um tema atual e de extrema importância nos dias atuais, visto

que para reciclagem ser viável é necessário atender aspectos econômicos, ambientais e sociais.<sup>[23]</sup>

## 2.2 - Polipropileno

O polipropileno assim como a maioria dos polímeros, tem como matéria prima substâncias derivadas do petróleo, sendo uma poliolefina termoplástica. Essa poliolefina é um dos principais polímeros utilizados, além de ser barata, possui uma tecnologia de produção já consolidada, tendo um ciclo bem definido.

No caso do polipropileno, o monômero que dá origem ao polímero é o propileno ou propeno, que é obtido através de uma parcela do petróleo que é a Nafta que passa pelo craqueamento térmico e dá origem a diversos monômeros como propileno, etileno e butadieno. Nesse processo, a partir do fracionamento e destilação do petróleo são obtidos produtos como o gás liquefeito de petróleo (GLP), nafta, querosene e óleo combustível.<sup>[13]</sup>

A nafta que é destilada na faixa de temperatura de 30 a 220°C, corresponde a uma mistura de hidrocarbonetos ricos em compostos parafínicos, naftênicos e aromáticos, essa diversidade torna a nafta a principal matéria-prima a ser utilizada na indústria petroquímica para a produção de polímeros como o polipropileno.<sup>[13]</sup>

A nafta rica em compostos parafínicos é adequada ao craqueamento nos fornos de pirólise visando a produção de olefinas, em especial propeno e eteno, além de outros produtos como o metano e GLP. Essa mistura passa por diversas etapas de separação para separar os compostos puros como eteno e propeno, das misturas como o GLP e gasolina de pirólise. Após esse processo, a mistura passa por uma purificação de eteno e propeno, pois esses dois compostos possuem propriedades semelhantes para ficarem misturadas até o final desse processo, que termina nos leitos catalíticos que promovem essa separação.<sup>[13]</sup>

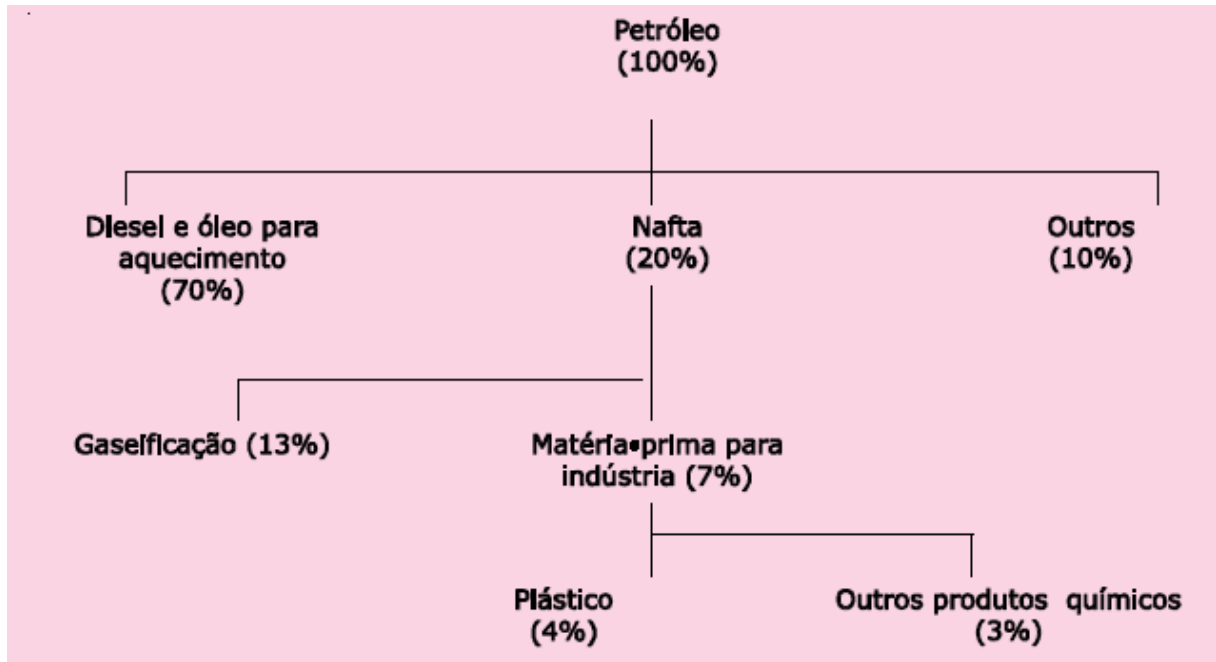


Figura 16 - Esquema de obtenção de plásticos a partir de petróleo (DESENVOLVENDO A CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL DE ESTUDANTES EM RELAÇÃO AO DESCARTE CORRETO DE PLÁSTICOS - BRUCK, Samara)

A reação que transforma o propileno em polipropileno é a polimerização, no caso do polipropileno é a polimerização em cadeia, ocorrendo na presença de catalisadores para acelerar as reações, e em condições ideais de temperaturas e pressão, essas variáveis são definidas de acordo com o tipo de polímero que é polimerizado, e de acordo com o tipo de polimerização, que no caso do polipropileno é a polimerização em fase gasosa.<sup>[1]</sup>

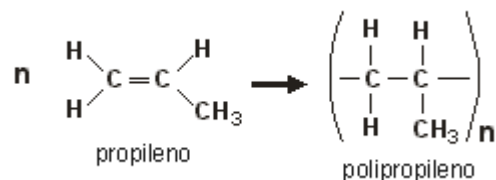


Figura 17 - Esquema de polimerização do polipropileno (MUNDO VESTIBULAR, A Reação de Polimerização)

No processo de fabricação do polipropileno é comum adicionar aditivos, que acabam fornecendo propriedades que o polímero por si só não teria, ou então para diminuir alguma sensibilidade que o polímero possui e pode ser melhorada. Um dos exemplos de aditivos que pode ser citado são os antioxidantes e estabilizantes, o

primeiro aumenta a resistência a oxidação que o polipropileno sofre com o ar atmosférico, e o segundo melhora propriedades como resistência a degradação aos raios UV, e entre propriedades que os aditivos podem fornecer, podemos citar:<sup>[6]</sup>

- Ajuste de cor – Corantes podem modificar a cor do polímero, porém pode comprometer propriedades físicas, é comum em processos de reciclagem;
- Modificação de dureza – Pode ser modificada com a adição de plastificantes e cargas;
- Transparência – Pode ser modificada com a adição de clarificantes, ou o inverso com adição de pigmentos;
- Propriedades de superfície – Podem modificar propriedades de adesão e fricção, e é normalmente empregada em uso de BOPP;
- Redutor de inflamabilidade – Por ser inflamável, é comum o uso de aditivos redutores de chama em polipropilenos;
- Controle biológico – Biocidas são usados na superfície dos polipropilenos para prevenir o desenvolvimento de microrganismos.

### 2.3 - Polipropileno em Filmes

O polipropileno em filmes ou biorientado (BOPP – *Bi-axially oriented polypropylene*) é o polipropileno utilizado em embalagens flexíveis, e em especial alimentos. Ele é amplamente utilizado em embalagens porque possui alta resistência e fornecendo uma barreira ao oxigênio e umidade.

O BOPP é produzido por um processo de extrusão e estiramento, tais filmes se diferem dos filmes de polipropileno convencional por serem estirados tanto no sentido longitudinal quanto transversal, normalmente esses filmes são empregados para diferentes usos como para embalagens alimentícias. Quando empregado nas embalagens finais, o BOPP pode ser combinado com outros plásticos ou lâminas de alumínio para aumentar a resistência mecânica e impermeabilidade a gases.<sup>[12]</sup>



*Figura 18 - Polipropileno em filmes (BOPP) (MARCKPRINT, Rótulos e Etiquetas Adesivas)*

No processo de fabricação do polipropileno em filmes, ocorre o que foi discutido no tópico de extrusão da revisão bibliográfica, após a saída da extrusora, ele é direcionado a um rolo resfriado que acaba funcionando como uma matriz, transformando em placas contínuas de polipropileno, em seguida há um estiramento longitudinal seguido de um transversal para a formação dos filmes. O filme é puxado, passa por tratamentos superficiais como o tratamento corona (que serve para acabar com fenômenos de estática) e é cortado, seguindo para possível etapa posteriores, onde passa por um controle de qualidade, se não for aprovado no controle de qualidade normalmente o material não é descartado, e sim direcionado para a reciclagem.<sup>[12]</sup> Vale lembrar que as propriedades do polipropileno tem que ser controlada nesse processamento, isso porque filmes são bem sensíveis e defeitos são bem visíveis, problemas de propriedades como reológicas e mecânicas causam um rompimento dos filmes, por isso, variáveis como a taxa de cisalhamento, taxa de resfriamento, tensão de estiramento dos filmes tem que ser controladas desde a extrusão até o estiramento biorientado, resultando em filmes dentro dos padrões de qualidade.

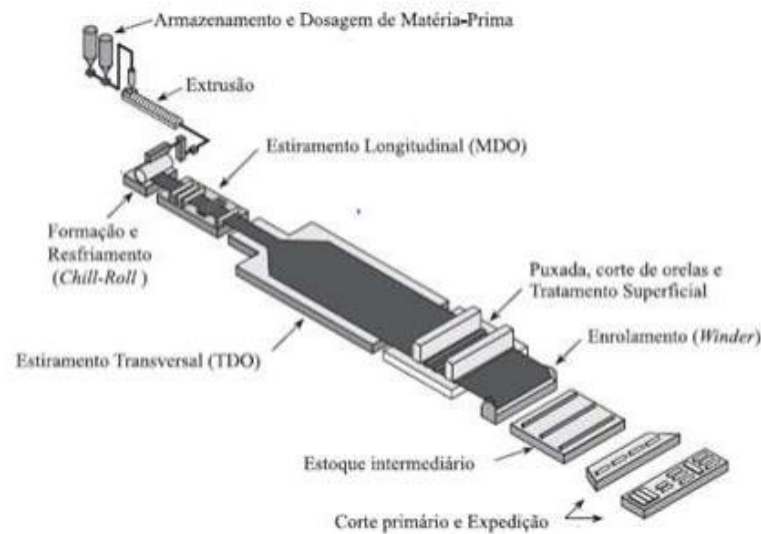


Figura 19 - Processo de fabricação de BOPP (Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens – Cauchick, Miguel. Telfser, Monica)

Dependendo do produto desejado, o processo pode continuar com uma metalização por adição de uma camada de alumínio. Tanto os filmes metalizados ou os não metalizados seguem para o controle de qualidade, em que os que forem aprovados seguem para o estoque, se forem reprovados os filmes de polipropileno seguem para trituração resultando em um material granulado que é reincorporado ao processo de fabricação do filme, que é denominado reciclagem interna, ou seguem para uma reciclagem externa.<sup>[12]</sup>

Na fabricação das embalagens em que o BOPP é empregado, é comum fazer filmes multicamadas combinando filmes de alumínio e/ou outros polímeros, isso em razão da sinergia e combinações de propriedades, um exemplo é a proteção à raios UV, barreira a ar e barreira a água. O problema que a produção de filmes multicamadas gera é em relação a sua reciclagem, pois torna difícil separar os filmes para recicla-los posteriormente.

Falando sobre a reciclagem desses filmes, a diferença para o polipropileno convencional se dá em uma etapa de trituração mais cuidadosa, isso pelo fato que é necessário triturar o filme até as aparas terem tamanho suficiente para poder seguir no processo.

E sobre o descarte, esse tipo de polipropileno apresenta uma séria ameaça ao meio ambiente, isso porque ele pode entupir bueiros quando falamos de



ambientes urbanos, e em relação aos ambientes marinhos pode impactar a fauna na sua alimentação e reprodução.

## 2.4 – Análise do consumo de polímeros por setor

O polipropileno é um dos polímeros mais utilizados nos dias atuais, segundo dados da *PIA Produtos 2016* e *PIM-PF*, o polipropileno corresponde a 20% do uso total de polímeros, sendo um dos polímeros que possui usos mais amplos possíveis, desde uso em embalagens de alimentos até no setor automobilístico.

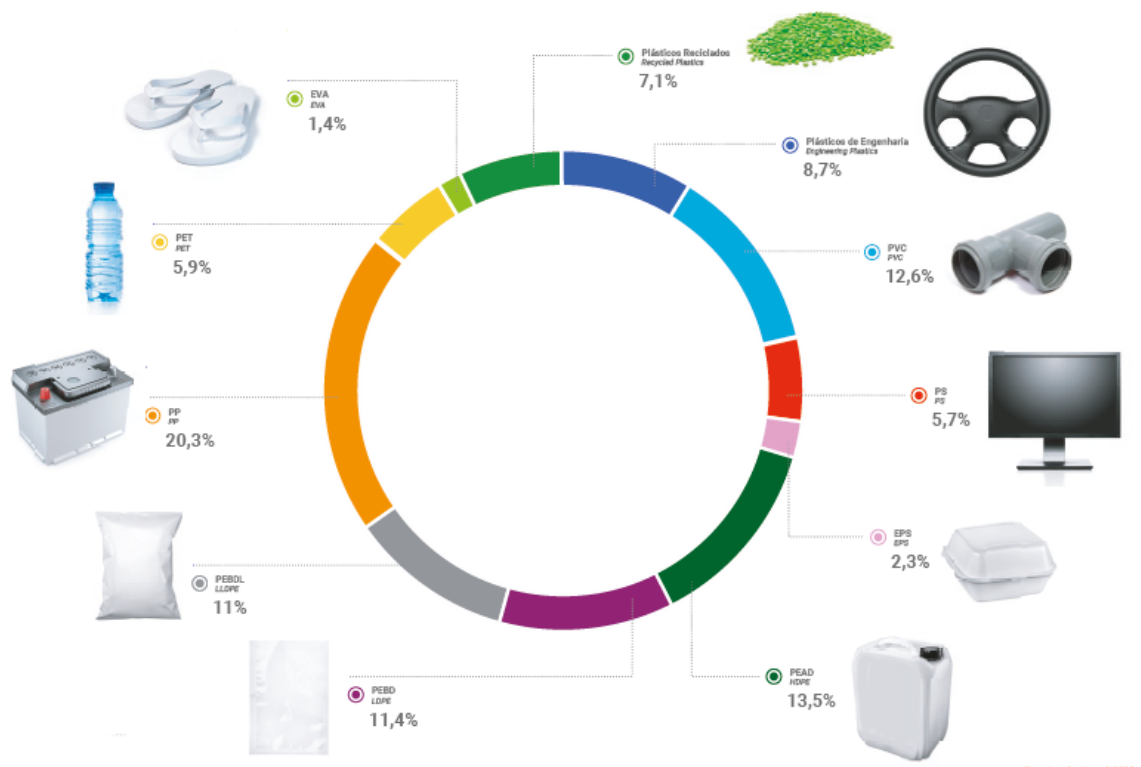


Figura 20 - Distribuição dos polímeros pelos seus tipos (Perfil 2018, ABIPLAST)

A produção brasileira de polipropileno em 2015 ficou próxima de 11 milhões de toneladas, e desses 11 milhões cerca de 19% era utilizado na forma de filmes segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST). Esse número é muito grande se levarmos em conta que boa parte do uso do *BOPP* é empregada no setor de embalagens e em especial o de alimentos, que possui tempo médio de uso pequeno.<sup>[42]</sup>

Abaixo é possível ver a distribuição de uso de polímeros por setor, olhando para essas figuras é possível ver quais setores são os principais responsáveis pela geração de lixo.

### Ciclo curto de vida (Até 1 ano) - 35%

Short useful life (Up to 1 year) - 35%

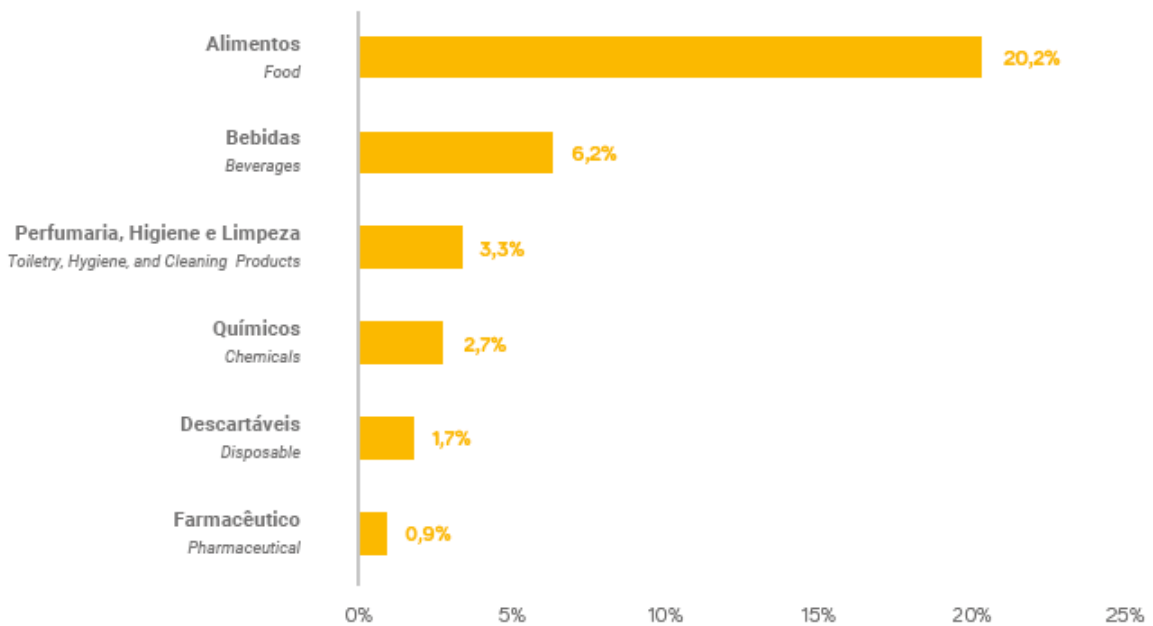


Figura 21 - Uso de polímeros por setor para ciclo de vida curtos (Perfil 2018, ABIPLAST)

Como visto acima, cerca de 35% dos polímeros são aplicados em produtos de ciclo de vida curtos, e olhando de forma mais detalhada, é possível ver que o setor de alimentos lidera com 20,2% do uso de todos os polímeros, e fazendo uma inferência, dentro desse setor, grande parte dos resíduos são de polímeros em filmes usados em embalagens, em especial, o polipropileno.<sup>[42]</sup>

### Ciclo médio de vida (Entre 1 e 5 anos) - 15,9%

Average useful life (Between 1 and 5 years) - 15,9%

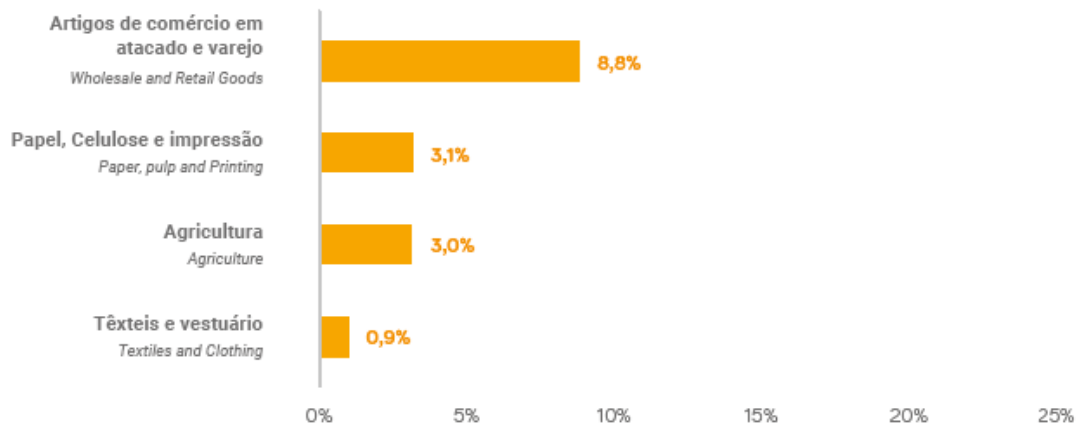


Figura 22 - Uso de polímeros por setor para ciclo de vida médio (Perfil 2018, ABIPLAST)

Para polímeros de ciclo de vida útil médio, é possível analisar setores que possuem o mesmo problema citado no caso anterior, como o caso dos artigos de atacado e varejo, que representa 8,8% do uso total dos polímeros, que possuem o mesmo problema de uso polímeros de embalagens, em especial uso de plásticos em filmes.

### Ciclo longo de vida (Acima de 5 anos) - 49,2%

Long useful life (Over 5 years) - 49,2%

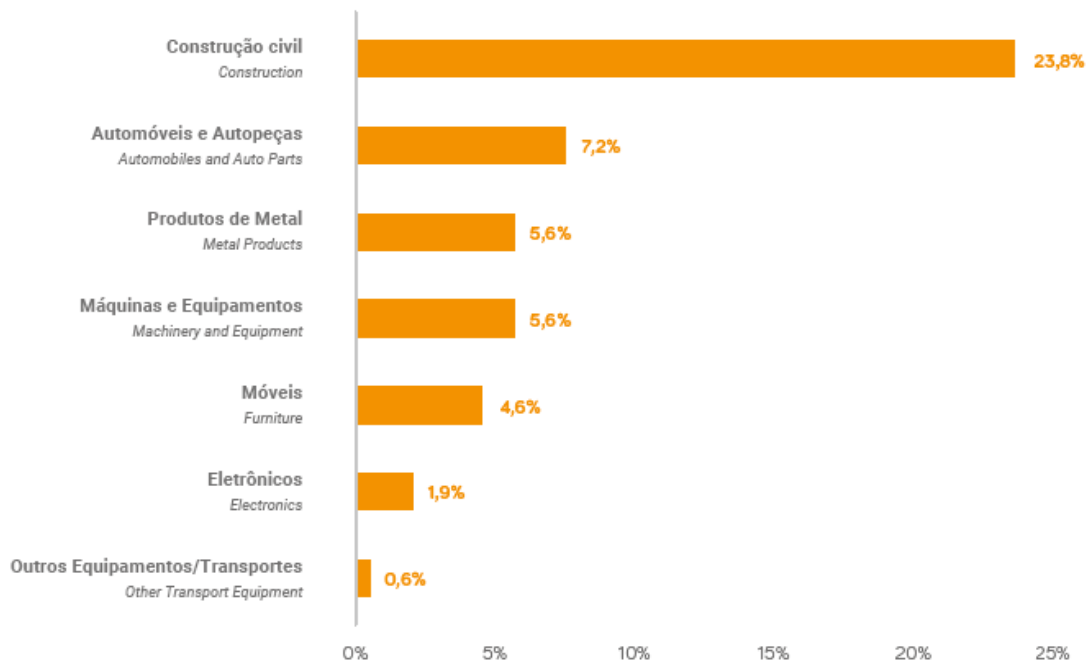


Figura 23 - Uso de polímeros por setor para ciclo de vida longo (Perfil 2018, ABIPLAST)

Para usos de ciclo de vida longos, que representam a maior parcela do uso total, representando 49%, o destaque vai para a construção civil, empregando diversos tipos de polímeros nos mais diversos usos, nesse segmento não há o uso tão vasto de polímeros em filmes como nos casos anteriores.<sup>[42]</sup>

Utilizando a mesma fonte (*PIA Produtos 2016 e PIM-PF*), em relação ao tipo de processamento dos polímeros, podemos observar um amplo uso em extrusão que corresponde a 65% do uso total, e dentro do processamento por extrusão, cerca de 39% corresponde a extrusão em filmes, que é a maior parcela dentro dos outros tipos de extrusão como chapas, sopro e perfis. Essa visão por tipo de processamento mostra novamente a grande representatividade que o uso de polímeros em filmes possui.

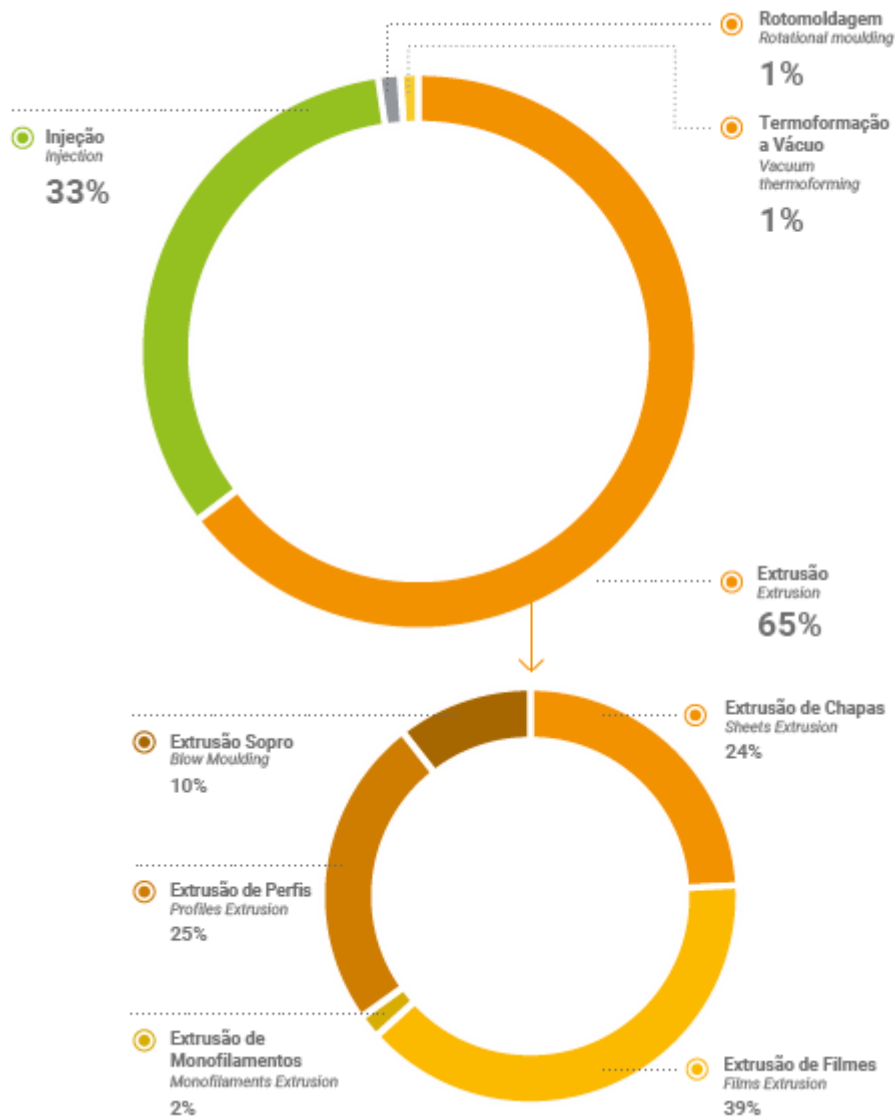




Figura 24 - Processos produtivos na produção de transformados plásticos (2016) (Perfil 2018, ABIPLAST)

No Brasil, o mercado de polímeros concentra sua produção basicamente no sudeste, com destaque especial para o estado de São Paulo que lidera tanto em relação ao número de funcionários empregados no ramo de produção de polímeros quanto em relação ao número de empresas.

UF State	2018 Empregos 2018 Jobs	Participação no Brasil Participation on Brazil	Posição
São Paulo	136.187	43,5%	1*
Santa Catarina	37.067	11,8%	2*
Rio Grande do Sul	27.519	8,8%	3*
Paraná	23.196	7,4%	4*
Minas Gerais	19.320	6,2%	5*
Rio de Janeiro	15.191	4,9%	6*
Bahia	10.702	3,4%	7*
Pernambuco	9.888	3,2%	8*
Amazonas	7.981	2,6%	9*
Goiás	4.828	1,5%	10*
Ceará	3.666	1,2%	11*
Espírito Santo	3.248	1,0%	12*
Alagoas	3.230	1,0%	13*
Paraíba	2.628	0,8%	14*
Mato Grosso do Sul	1.982	0,6%	15*
Mato Grosso	1.531	0,5%	16*
Rio Grande do Norte	1.325	0,4%	17*
Pará	1.005	0,3%	18*
Sergipe	864	0,3%	19*
Distrito Federal	487	0,2%	20*
Piauí	387	0,1%	21*
Rondônia	253	0,1%	22*
Maranhão	245	0,1%	23*
Acre	121	0,0%	24*
Tocantins	82	0,0%	25*
Roraima	1	0,0%	26*
Amapá	0	0,0%	27*
<b>BRASIL</b>	<b>312.934</b>		

UF State	2017 Empresas 2017 Companies	Participação no Brasil Participation on Brazil	Posição
São Paulo	4.675	42,0%	1*
Rio Grande do Sul	1.226	11,0%	2*
Santa Catarina	1.001	9,0%	3*
Paraná	941	8,5%	4*
Minas Gerais	783	7,0%	5*
Rio de Janeiro	552	5,0%	6*
Bahia	326	2,9%	7*
Goiás	286	2,6%	8*
Pernambuco	284	2,6%	9*
Ceará	227	2,0%	10*
Amazonas	121	1,1%	11*
Paraíba	103	0,9%	12*
Espírito Santo	92	0,8%	13*
Alagoas	81	0,7%	14*
Mato Grosso	65	0,6%	15*
Rio Grande do Norte	64	0,6%	16*
Mato Grosso do Sul	58	0,5%	17*
Distrito Federal	56	0,5%	18*
Pará	51	0,5%	19*
Piauí	31	0,3%	20*
Sergipe	30	0,3%	21*
Maranhão	27	0,2%	22*
Rondônia	25	0,2%	23*
Tocantins	12	0,1%	24*
Acre	9	0,1%	25*
Roraima	1	0,0%	26*
Amapá	0	0,0%	27*
<b>BRASIL</b>	<b>11.127</b>		

Figura 25 - Distribuição de empregos e empresas do setor de transformados plásticos por Estado (Perfil 2018, ABIPLAST)

Esse ramo é responsável pelo faturamento anual de R\$78 bilhões, que corresponde a um número bem expressivo a níveis nacionais. E dessas mais de 11000 empresas, a maioria delas são micro empresas, representando cerca de 73%, pequenas empresas correspondem a cerca de 21% delas, as empresas médias correspondem a cerca de 5%, e as grandes empresas correspondem a apenas 1% delas. Esses dados levam à tona a importância de políticas públicas que favoreçam essas pequenas empresas que representam a grande parcela desse setor.<sup>[42]</sup>

### 3 - MERCADO

#### 3.1 - Mercado de polímeros no Brasil

O mercado de polímeros foi o que mais se desenvolveu dentre os tipos de materiais desde a metade do século passado, quando passaram a ser produzidos sinteticamente e em grande escala. Isso se deve ao grande leque de usos possíveis assim como propriedades, assim como ao custo e processos produtivos mais acessíveis.

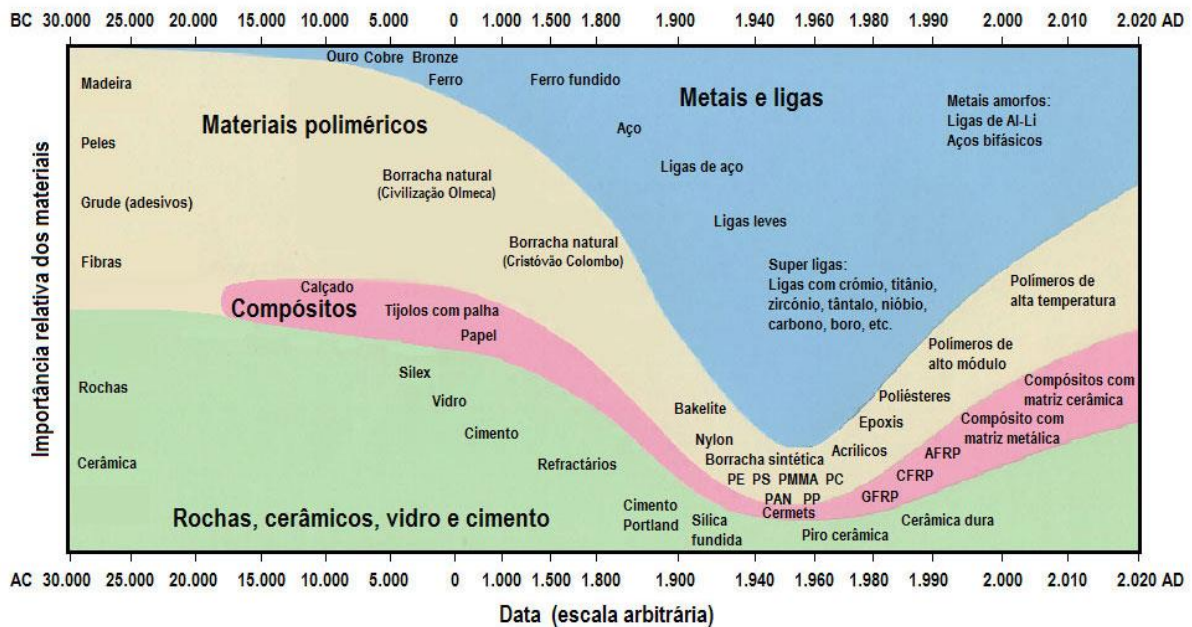


Figura 26 - Evolução da importância dos tipos de materiais (Prof. Michael Ashby)

Em relação ao mercado brasileiro, a cadeia produtiva de forma detalhada se encontra logo abaixo, com dados do Ministério da Economia e elaboração das tabelas feita pela ABIPLAST no *Perfil 2018* que detalha a indústria de transformação de plástico e reciclagem, nela é possível destacar os números que envolvem o mercado brasileiro de transformados plásticos num geral.

## Resumo da cadeia produtiva do plástico no Brasil

Summary of the plastic productive chain in Brazil

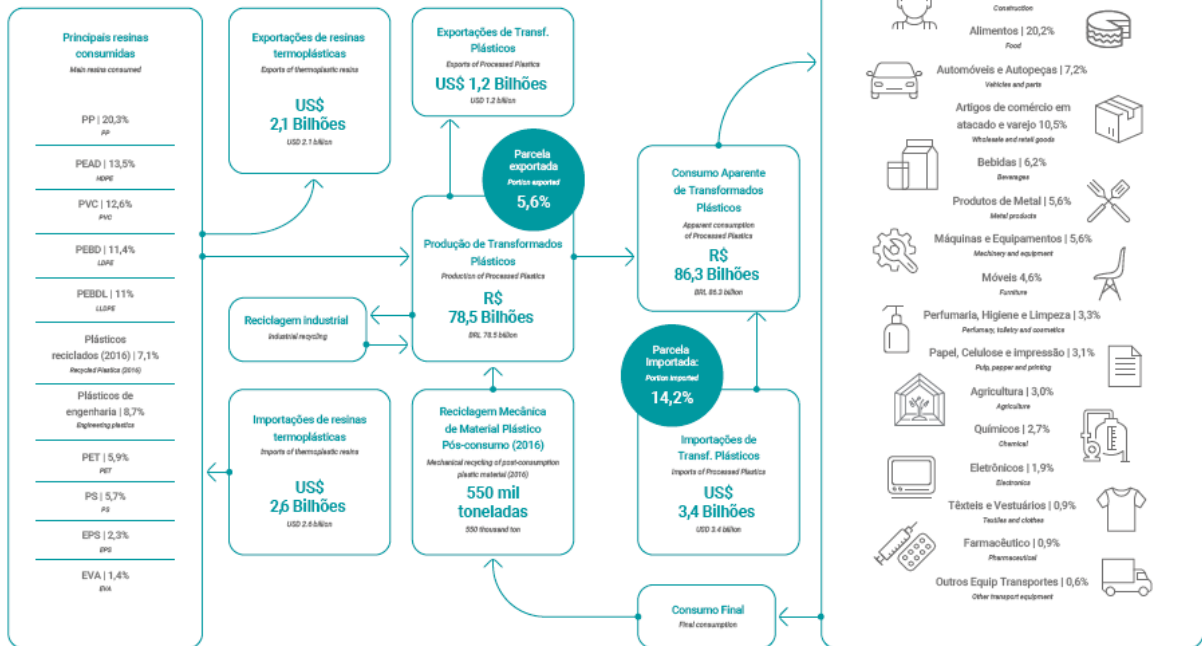
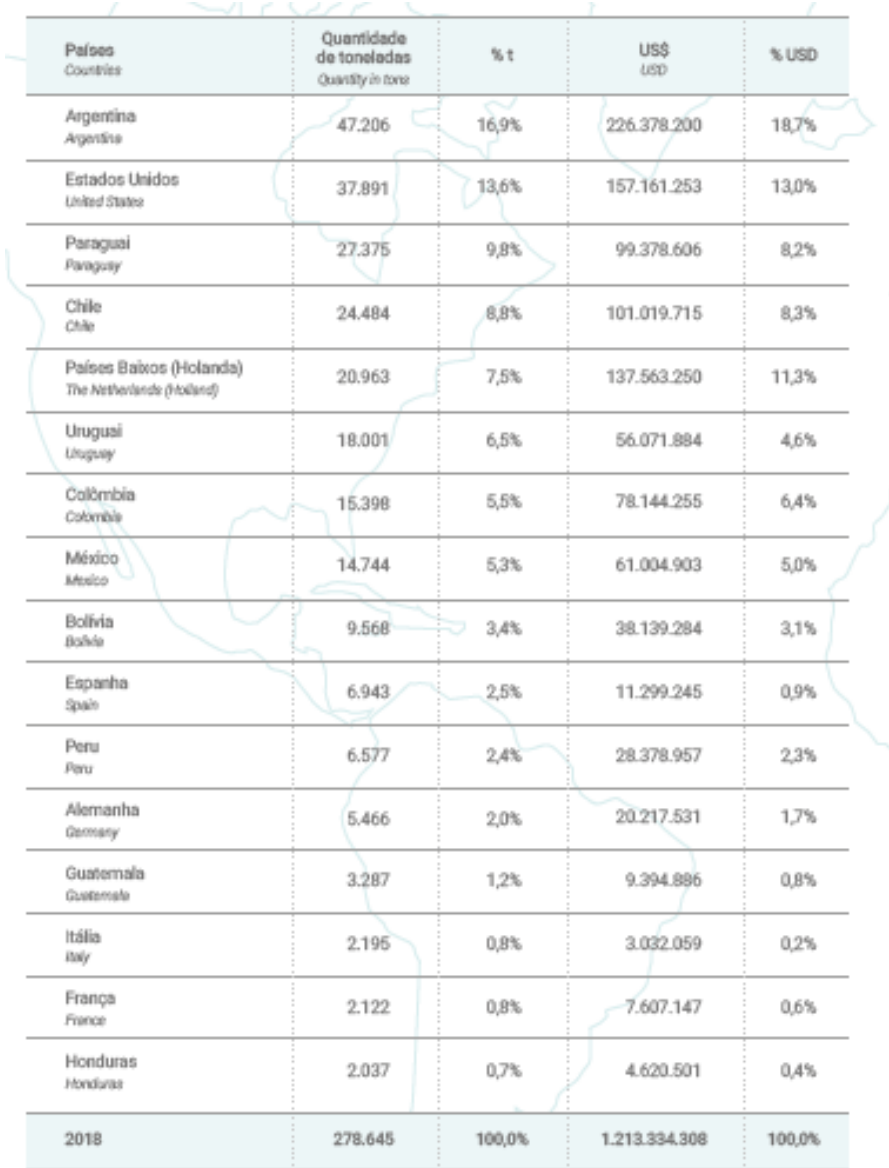


Figura 27 - Resumo da cadeia produtiva (2016) (Perfil 2018, ABIPLAST)

Olhando de forma detalhada é possível ver que as exportações de resinas termoplásticas giraram em torno de US\$ 2,1 bilhões, e segmentando ainda mais, os principais destinos dessas exportações foram a Argentina (18%), Estados Unidos (13%), Paraguai (8%) e Chile (8%).<sup>[42]</sup>





Países Countries	Quantidade de toneladas Quantity in tons	% t	US\$ USD	% USD
Argentina Argentina	47.206	16,9%	226.378.200	18,7%
Estados Unidos United States	37.891	13,6%	157.161.253	13,0%
Paraguai Paraguay	27.375	9,8%	99.378.606	8,2%
Chile Chile	24.484	8,8%	101.019.715	8,3%
Países Baixos (Holanda) The Netherlands (Holland)	20.963	7,5%	137.563.250	11,3%
Uruguai Uruguay	18.001	6,5%	56.071.884	4,6%
Colômbia Colombia	15.398	5,5%	78.144.255	6,4%
México Mexico	14.744	5,3%	61.004.903	5,0%
Bolívia Bolivia	9.568	3,4%	38.139.284	3,1%
Espanha Spain	6.943	2,5%	11.299.245	0,9%
Peru Peru	6.577	2,4%	28.378.957	2,3%
Alemanha Germany	5.466	2,0%	20.217.531	1,7%
Guatemala Guatemala	3.287	1,2%	9.394.886	0,8%
Itália Italy	2.195	0,8%	3.032.059	0,2%
França France	2.122	0,8%	7.607.147	0,6%
Honduras Honduras	2.037	0,7%	4.620.501	0,4%
2018	278.645	100,0%	1.213.334.308	100,0%

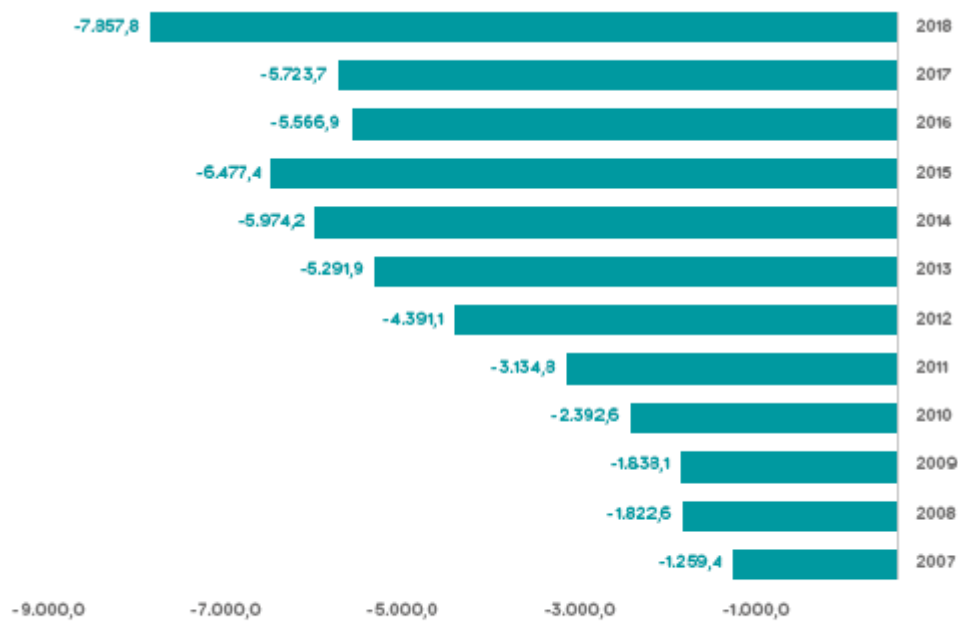
Figura 28 - Principais destinos dos transformados plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST)

Em relação as importações de resinas termoplásticas, os números giram em torno de US\$2,6 bilhões, sendo que a China é responsável por 27%, Estados Unidos por 12%, Alemanha 7%, e Uruguai com 4%.

Países Countries	Quantidade de toneladas Quantity in tons	% t	US\$ USD	% USD
China China	265.977	35,6%	911.432.891	27,1%
Uruguai Uruguay	59.740	8,0%	140.195.159	4,2%
Estados Unidos United States	48.807	6,5%	434.033.533	12,9%
Paraguai Paraguay	48.119	6,4%	100.500.377	3,0%
Coreia do Sul South Korea	29.910	4,0%	112.476.723	3,3%
Argentina Argentina	28.390	3,8%	99.067.738	2,9%
Alemanha Germany	24.073	3,2%	237.122.010	7,0%
Índia India	19.926	2,7%	63.500.189	1,9%
Taiwan (Formosa) Taiwan	19.699	2,6%	59.572.320	1,8%
Brasil Brazil	18.974	2,5%	123.271.469	3,7%
Itália Italy	17.143	2,3%	131.821.010	3,9%
Peru Peru	15.463	2,1%	34.568.230	1,0%
Israel Israel	12.296	1,6%	49.091.158	1,5%
Vietnã Vietnam	11.748	1,6%	39.836.232	1,2%
Chile Chile	11.602	1,6%	48.724.040	1,4%
México Mexico	9.856	1,3%	80.731.009	2,4%
2018	747.127	100,0%	3.366.154.710	100,0%

Figura 29 - Principais origens dos transformados plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST)

Como foi mencionado anteriormente, a produção em 2016 girou em R\$78 bilhões, sendo que dessa parcela, apenas US\$1,2 bilhões de plásticos transformados foram exportados, uma parcela de 5,6% considerando o câmbio da época (2016). Enquanto US\$3,4 bilhões foram importados de transformados plásticos, o que corresponde a 14,2%, mostrando uma balança comercial desfavorável. Os dados históricos desse saldo, podem ser vistos na imagem abaixo.<sup>[42]</sup>



Fonte: Comexstat/ Ministério da Economia e Banco Central do Brasil. Elaboração: ABIPLAST  
 Source: Comexstat / Ministry of Economy and Central Bank of Brazil. Prepared by: ABIPLAST

Figura 30 - Saldo comercial de transformados plásticos (nominal em R\$ milhões) (Perfil 2018, ABIPLAST)

Esse saldo negativo crescendo nos últimos anos podem ser explicados pela tendência de queda tanto do número de empresas, quanto de empregos na área, isso pode ser entendido tanto quanto ao período de crise e instabilidade que o Brasil passou de 2014 para frente, quanto a expansão do mercado chinês que consegue trazer transformados plásticos a preços mais atrativos.

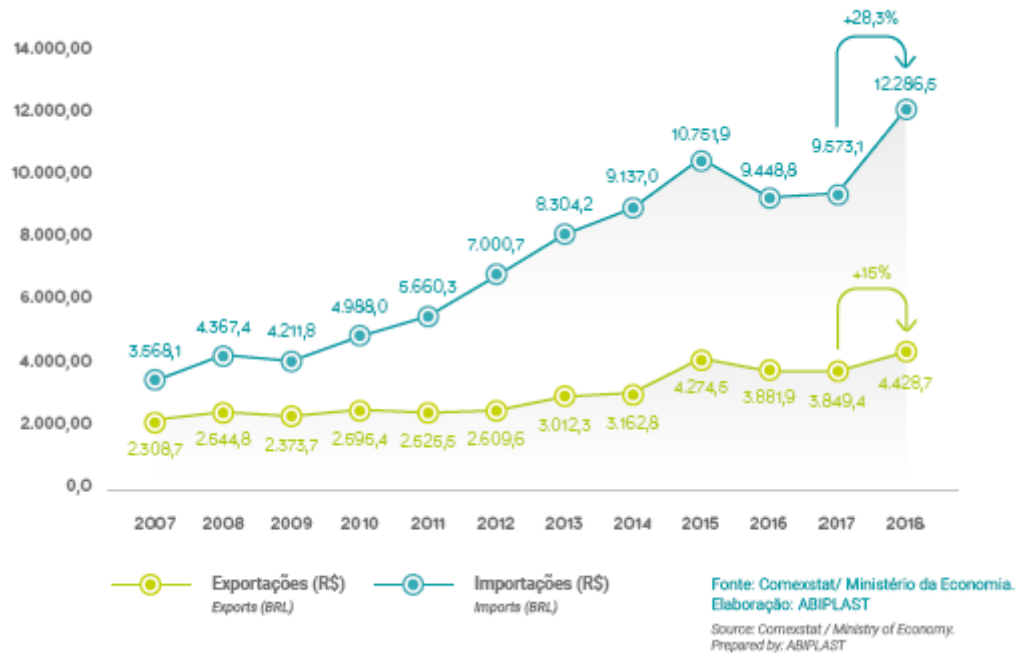
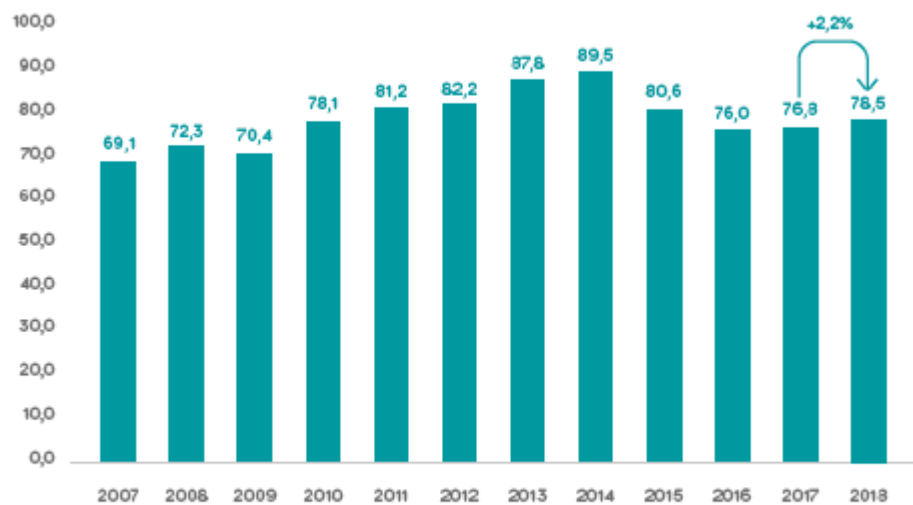


Figura 31 - Exportações e importações de transformados plásticos (nominal em R\$ milhões) (Perfil 2018, ABIPLAST)

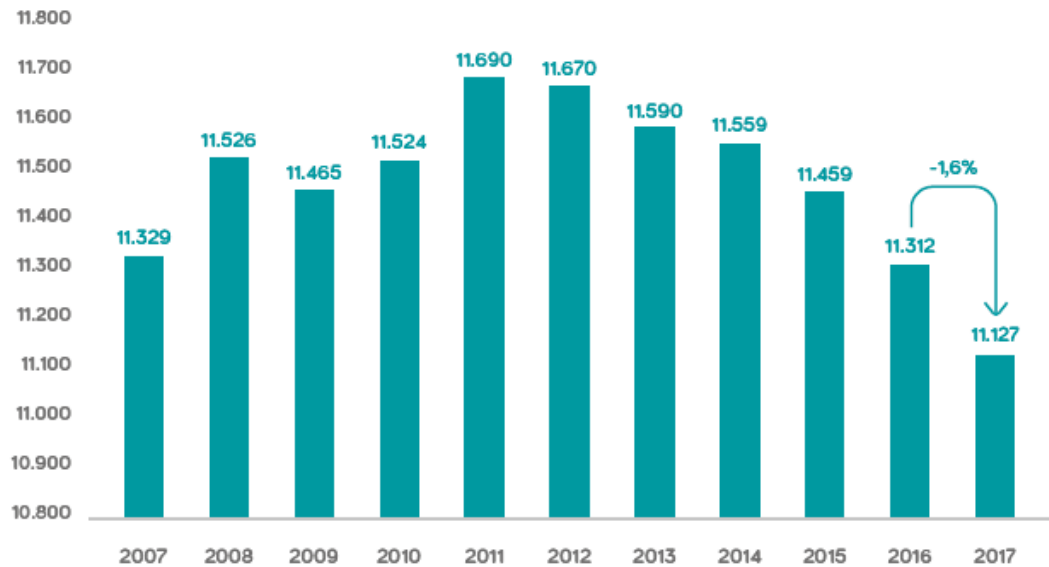
Em relação a produção, o mercado brasileiro nos últimos anos apresentou uma queda significativa, tendo seus números de produção indo de R\$89,5 bilhões para até R\$76,0 bilhões, e tendo uma leve recuperação nos últimos anos.



Fonte: Pesquisa Industrial Anual - Empresa Unidade Local 2016/ IBGE - Elaboração: ABIPLAST  
Source: PIA - Local unit company (2016) - IBGE - Prepared by: ABIPLAST

Figura 32 - Produção de transformados plásticos (em R\$ bilhões – preços constantes de 2018) (Perfil 2018, ABIPLAST)

Esses números de queda possuem uma forte correlação com a série histórica apresentada abaixo tanto em relação ao número de empresas quanto aos números de empregados no setor de transformados plásticos.



Fonte: RAIS - Ministério da Economia  
Source: RAIS - Ministry of Economy

Figura 33 - Número de empresas na indústria de transformados plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST)

Em relação ao número de empresas ele diminuiu de forma vertiginosa, sem apresentar uma recuperação no período.



Fonte: RAIS (2017) e Caged (2018) - Ministério da Economia

Source: RAIS (2017) and CAGED (2018) - Ministry of Economy

Figura 34 - Empregos na indústria de transformados plásticos (em milhares) (Perfil 2018, ABIPLAST)

Em relação ao número de empregos no setor, ele apresentou uma leve recuperação, mas nada perto dos 356 mil empregos no setor, em 2018 ele alcançou 313 mil empregos, que é uma perda de mais de 10% se comparado ao período que antecede essa queda.<sup>[42]</sup>

Atualmente com o período de pandemia, houve um aumento no uso de plásticos não reutilizáveis devido ao aumento do cuidado higiênicos em produtos como copos descartáveis e aumento de embalagens. Um outro setor que teve um aumento muito grande foi o de equipamento de proteção individual no combate direto a linha de frente que houve uma demanda que no Brasil em alguns momentos superaram a oferta, resultando na falta dos mesmos.<sup>[25]</sup>

Com esse aumento esporádico no período atual, a tendência num futuro próximo é que a pressão por utilização de polímeros não recicláveis aumente a procura por soluções viáveis para o lixo gerado.<sup>[25]</sup>

### 3.2 - Mercado de polipropileno no Brasil

O mercado de polipropileno no Brasil tem uma grande relevância dentro do mercado de polímeros, isso porque como foi dito anteriormente, dados da ABIPLAST em 2018, ele representava cerca de 20% de toda a produção de polímeros.<sup>[42]</sup>

Para uma análise do mercado de polipropileno em relação a demanda e oferta, é possível se analisar alguns fatores como a capacidade instalada, produção, importação, exportação e consumo aparente.

Os dados abaixo mostram uma análise apenas de dados até 2011, mas andam em linha com o tópico anterior (3.1 – Mercado de polímeros no Brasil), o que indica a forte correlação positiva entre o mercado de polímeros e o mercado estritamente de polipropileno.

Em relação as exportações, é possível notar um crescimento tímido até 2009, quando os países ao se recuperarem da crise global de 2008 começam a importar mais. O mesmo se pode observar em relação a capacidade instalada, em que o crescimento se dá entre 2008 e 2009 quando as obras de plantas instaladas foram concluídas, em especial a da Braskem de Paulínia/SP. E o destaque principal é em relação ao consumo aparente, que corresponde ao volume produzido mais o importado menos o exportado, o consumo aparente vai crescendo em toda série histórica, com exceção de 2008 para 2009, em razão do período da crise em que o número de exportações cresceu.<sup>[26]</sup>

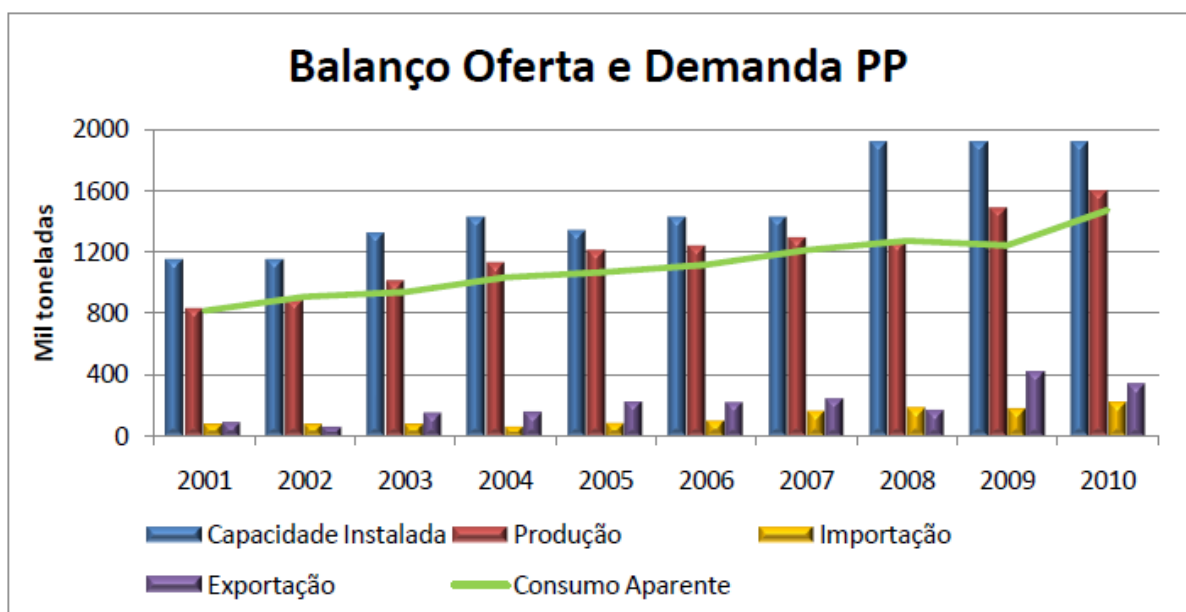


Figura 35 - Balanço de oferta e demanda de polipropileno no Brasil (ABIQUIM)

Em relação a segmentação do mercado de polipropileno dessa base de dados de 2011, é possível notar os setores que merecem destaque, e são o alimentício (32%), bens de consumo (17%), e higiene pessoal e limpeza (9%). E esses setores são os mesmos citados no tópico 2.4 – Análise do consumo de polímeros por setor, onde são os setores de produtos com ciclo de vida curto ou médio, que são os principais geradores de lixo e que merecem atenção.

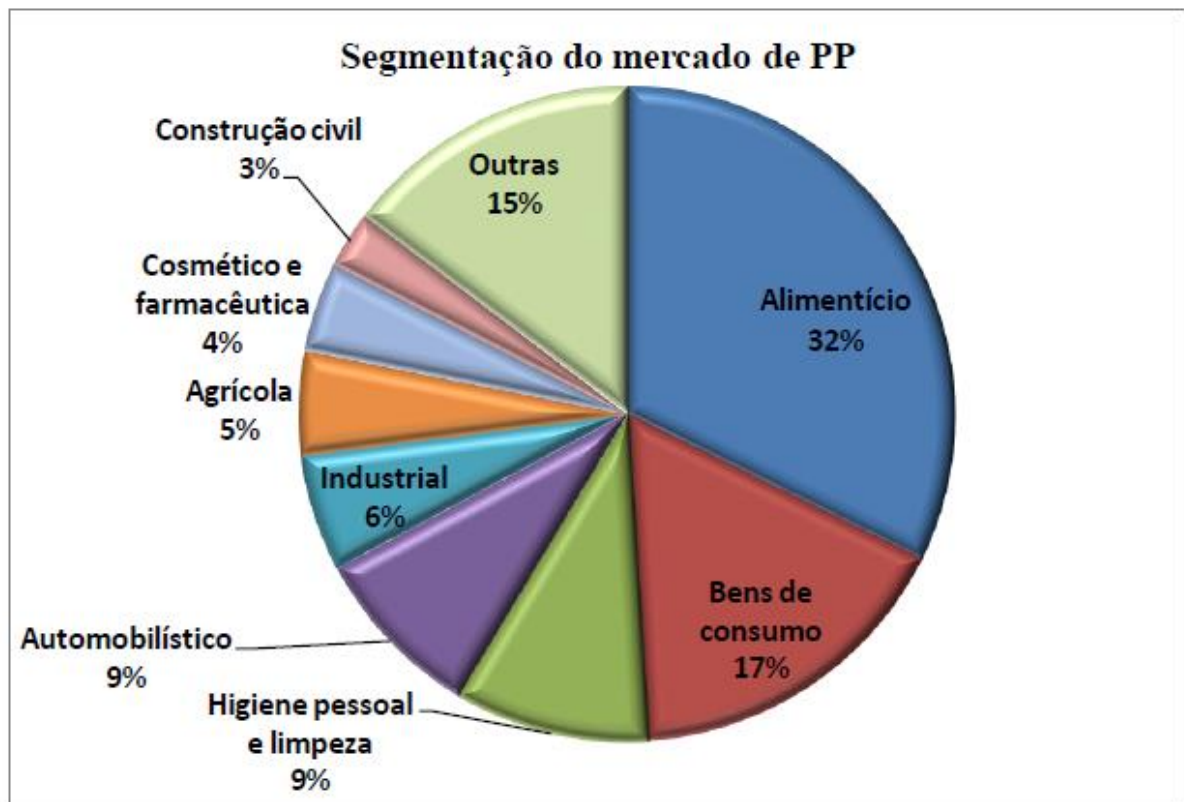


Figura 36 - Segmentação do mercado de polipropileno (2011) (MDIC)

Para dados mais recentes, em 2018 as previsões eram de estagnação, visto que é um mercado que sofre de variações econômicas. Dentre as variações podem ser citadas a forte concorrência externa, causando diminuição dos preços e somado a questões de tributação acabaram tornando os lucros menores.<sup>[28]</sup>



Em relação ao cenário atual de pandemia, o mesmo dito no tópico anterior, pode ser replicado ao polipropileno, em que há uma tendência de crescimento devido aos cuidados higiênicos, onde embalagens são descartadas após o uso, e produtos que antes não eram embalados passaram a ser. O que pode levantar um problema em relação ao polipropileno reciclado, visto que já havia uma aversão ao reciclado justamente pela ideia de ter menos qualidade, com a pandemia, a questão de necessidade de higiene pode agravar ainda mais esse ideia.<sup>[29]</sup>

Segundo um estudo da W4Chem e divulgado pela Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas (ABIEF) aponta um crescimento de 1,6% na produção de embalagens plásticas flexíveis no Brasil nos 3 primeiros meses de 2020, em comparação ao mesmo período do ano passado, sendo produzido 487 mil toneladas.<sup>[29]</sup>

Em relação ao segundo trimestre do ano, o setor se comportou de forma estável, com uma leve queda, produzindo 480mil toneladas de embalagens, sendo desse montante 16% correspondente ao BOPP, e o setor de higiene e limpeza, e alimentos os sendo os responsáveis por essa performance.<sup>[29]</sup>

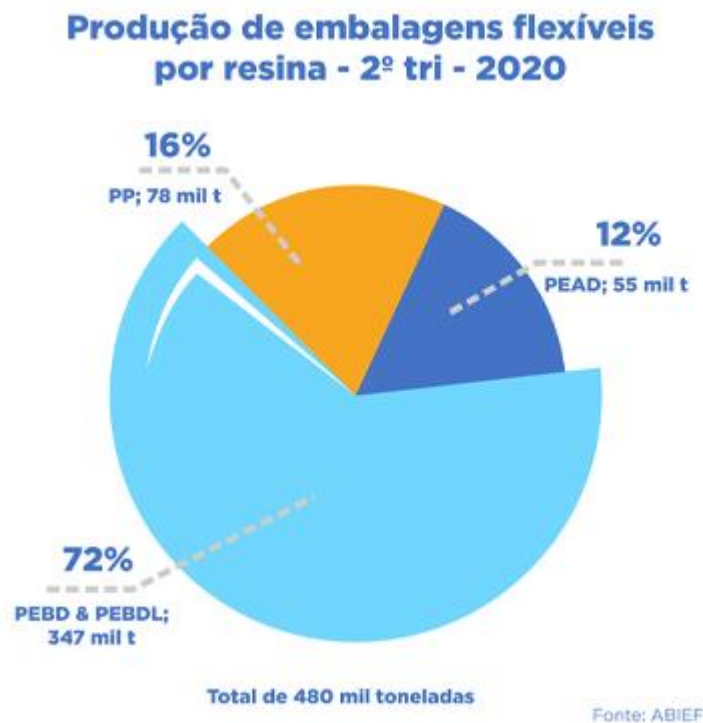


Figura 37 - Produção de embalagens flexíveis por resina - 2T/2020 (ABIEF)

Seguindo essa tendência de alta do segmento, segundo um levantamento da *Research and Markets*, o mercado mundial de BOPP deve aumentar de US\$24 bilhões em 2020 para US\$31 bilhões em 2025, muito em razão das questões higiênicas nesse período de pandemia, como em razão do crescimento do setor em funções de suas propriedades já sabidas como o baixo preço e flexibilidade.<sup>[29]</sup>

Dado a perspectiva acima, torna se claro o problema que se agravará num futuro próximo que é em relação ao lixo gerado, esse montante de BOPP precisa ter um destino apropriado, e soluções passam a ser cada vez mais importantes e procuradas, porém não é simples encontrar soluções, visto que a reciclagem de plásticos depende de várias variáveis.

## **4 - RECICLAGEM**

### **4.1 - Desafios da reciclagem**

A reciclagem apresenta diversos desafios, no Brasil, o andamento ainda é bem devagar, o processo que funciona mais adequadamente é a reciclagem primária com o reprocessamento puramente físico. Para ser viável, ela necessita de um pacto coletivo entre a indústria, governo e população, sendo que se não houver uma união entre as partes acaba gerando um impasse.<sup>[32]</sup>

Em relação à indústria, é possível falar que ela precisa visar a redução da quantidade de material gasto, diminuir a utilização de embalagens secundárias, e ofertar sistemas de refil e embalagens retornáveis, e dentro do possível optar por plásticos biodegradáveis e/ou mais sustentáveis. Em relação a esses plásticos biodegradáveis, é necessário um destino adequado, pois, há estudos que indicam que em condições de lixão com pH, temperatura, presença de uma atmosfera diferente das condições comuns, os plásticos biodegradáveis como o PLA têm um tempo de degradação muito maior do que o normal, sendo comparável aos plásticos comuns.<sup>[35]</sup>

Em relação ao governo, pode ser citado o incentivo em relação a fiscalização e implementação de leis, pois a falta de incentivo e tributação em cima do reprocessamento de polímeros, se torna um empecilho, incidindo quando ele é matéria-prima e quando ele é reciclado. Outra medida eficaz seria seguir à risca a lei nº 12.305/10, que prevê o fim dos lixões em municípios, o que estimularia a indústria de reciclagem, essa lei existe desde 2010, porém não é seguida à risca.

Em relação à população, seria a tomada de consciência dos problemas acerca dos resíduos plásticos, como o descarte inadequado de embalagens, e na separação do lixo, o que poderia estimular a indústria de reciclagem por meio da diminuição do custo de separação. Essa separação pode ser estimulada por meio de incentivos, como uma expansão das zonas de coletas que funcionam em pequenas partes das cidades brasileiras e criação de um plano do governo que subsidia os “ferros-velhos” a comprar esse lixo selecionado para destinar a uma reciclagem, semelhante ao que acontece com o mercado informal da reciclagem de latas de alumínio, onde já é economicamente viável e a coleta se dá de forma eficiente e rentável.<sup>[14]</sup>

Em relação as partes envolvidas nesse processo, pode ser dito que tanto governo quanto a população e a indústria não se entendem de forma a facilitar e incentivar o mercado de reciclagem, todo esse processo deveria começar com o incentivo do governo, tanto para conscientizar a população sobre os impactos e ganhos de se descartar corretamente os plásticos, quanto de diminuir a tributação, a partir daí, as variáveis seguintes que envolvem a indústria ocorreriam naturalmente com novos processos de reciclagem mais otimizados.

Falando sobre os pontos problemáticos da reciclagem de plásticos que também são um desafio, podemos citar a perda de propriedades mecânicas a cada reprocessamento como a resistência a tração, a limitação do uso de polímeros reciclados fisicamente na utilização de embalagens de alimentos, e ao alto custo de coleta, limpeza e separação, principalmente se for pós-consumo.<sup>[14]</sup>

Em relação a perda de propriedades, é possível falar sobre a degradação das macromoléculas por meio do cisalhamento em conjunto com a oxidação térmica, que por meio de sinergia acabam piorando as propriedades mecânicas, como a diminuição da resistência a tração na ruptura e módulo elástico, e um aumento do

alongamento na ruptura, isso quando comparado à um mesmo polímero virgem. Esse processo quando repetido vai piorando as propriedades, até que chega um ponto que ele não pode mais ser reciclado devido a perda enorme de propriedades, ocorridas pela degradação das moléculas, por isso, uma técnica comum é a combinação de polímeros virgem com esse reciclado para manter uma qualidade aceitável das propriedades.<sup>[14]</sup>

Em relação a limitação de plásticos reciclados em alimentos, a restrição parte do princípio que compostos com baixa massa molar podem migrar para o interior do material. Por esse motivo, o plástico reciclado não compõe embalagens que ficam em contato direto com alimentos, remédios, brinquedos de criança, e algumas peças de segurança que exigem especificações técnicas.

Em relação a separação, pode ser incluído a limpeza, custo de coleta e transporte e o próprio reprocessamento, que acaba tornando o processo caro em relação ao processamento de um plástico virgem que só apresenta o custo de processamento.

Outro desafio sobre a reciclagem é em relação aos aspectos que envolvem o ciclo de reciclagem, sendo eles principalmente tecnológicos e econômicos. Esses aspectos podem ser citados em 4 partes: o processo contínuo de fornecimento de matéria prima, passando por toda estrutura organizacional de separação e coleta. A segunda seria em relação a tecnologia de conversão adequada, a terceira seria haver uma demanda para o polímero reciclado, e quarta seria a viabilidade econômica do processo.<sup>[33]</sup>

Falando em termos de Brasil, a estrutura organizacional não está desenvolvida, em que a todo o processo de coleta, separação e limpeza, que não são baratos e nem simples de se estabelecer por envolver desde aspectos sociais de conscientização até o investimento. A parte de tecnologia de conversão está bem estabelecida para reciclagem mecânica até por ser um processo mais simples, as demais reciclagens ainda são um desafio no Brasil. Em relação a demanda, existe um mercado muito grande para os polímeros mesmo com a restrição de uso dos reciclados para alguns fins e com propriedades inferiores, faltando apenas um incentivo para tornar esses plásticos competitivos por ser mais barato. E em relação

a viabilidade econômica, há um desafio que é a alta taxaçoão como foi citada anteriormente, isso acaba tornando mais fácil comprar e usar um polímero virgem.<sup>[13]</sup>

## 4.2 – Reciclagem de plásticos no Brasil

A reciclagem de polímeros no Brasil, se dá de forma geral através da reciclagem mecânica, no ciclo de reciclagem ideal, a primeira etapa é a concepção do produto em si, após o seu uso é descartado de forma a ser captado e direcionado a uma cooperativa que destina a uma reciclagem, então é feita uma reciclagem que o fragmenta, separa, lava, seca, e por fim faz a extrusão para a formação de um plástico reciclado em *pellets* que são destinados a um novo ciclo. O ciclo completo pode ser visto abaixo.

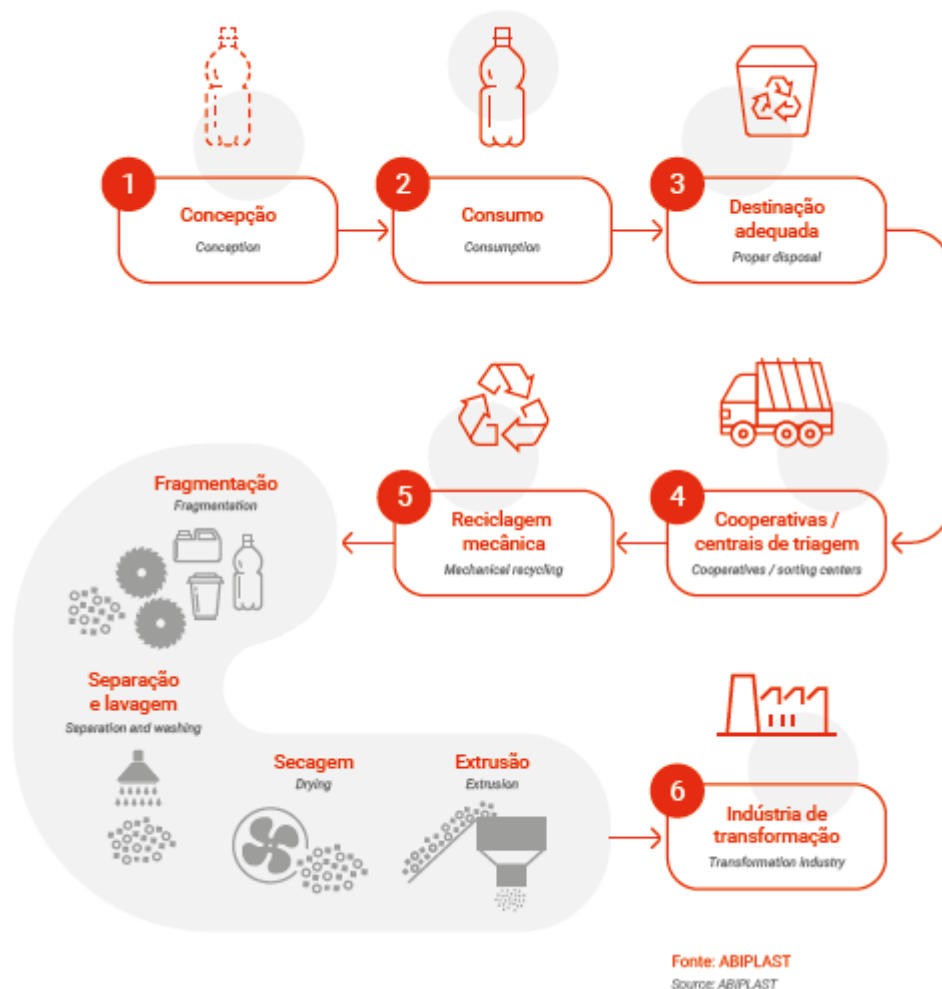


Figura 38 - Fluxo de reciclagem mecânica em plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST)

Dando um panorama sobre o fluxo da reciclagem mais comum no Brasil, é necessário dar um panorama de como está distribuída a reciclagem dentro do Brasil, que de forma geral, assim como a produção, de forma geral se concentra no sul e sudeste do Brasil, com destaque para o Estado de São Paulo, tanto para o número de empresas quanto para o número de profissionais na área.<sup>[42]</sup>



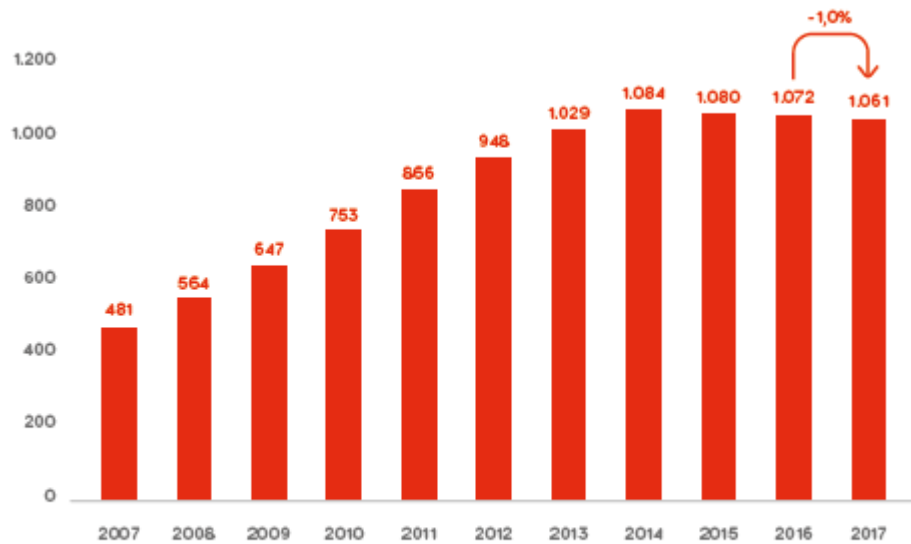
							
UF State	2018 Empregos 2018 Jobs	Participação no Brasil Participation on Brazil	Posição Position	UF State	2017 Empresas 2017 Companies	Participação no Brasil Participation on Brazil	Posição Position
São Paulo	2.484	24,8%	1*	São Paulo	293	27,6%	1*
Santa Catarina	1.617	16,2%	2*	Santa Catarina	127	12,0%	2*
Paraná	907	9,1%	3*	Paraná	121	11,4%	3*
Minas Gerais	884	8,8%	4*	Rio Grande do Sul	111	10,5%	4*
Rio Grande do Sul	838	8,4%	5*	Minas Gerais	77	7,3%	5*
Ceará	699	7,0%	6*	Goiás	46	4,3%	6*
Rio de Janeiro	596	6,0%	7*	Ceará	43	4,1%	7*
Goiás	244	2,4%	8*	Bahia	35	3,3%	8*
Bahia	242	2,4%	9*	Pernambuco	30	2,8%	9*
Mato Grosso	210	2,1%	10*	Rio de Janeiro	25	2,4%	10*
Pernambuco	200	2,0%	11*	Espírito Santo	22	2,1%	11*
Paraíba	165	1,7%	12*	Alagoas	21	2,0%	12*
Espírito Santo	161	1,6%	13*	Mato Grosso	20	1,9%	13*
Mato Grosso do Sul	118	1,2%	14*	Rio Grande do Norte	15	1,4%	14*
Alagoas	107	1,1%	15*	Pará	14	1,3%	15*
Rio Grande do Norte	102	1,0%	16*	Paraíba	14	1,3%	16*
Pará	98	1,0%	17*	Amazonas	9	0,8%	17*
Amazonas	91	0,9%	18*	Mato Grosso do Sul	9	0,8%	18*
Maranhão	79	0,8%	19*	Distrito Federal	8	0,8%	19*
Distrito Federal	73	0,7%	20*	Maranhão	7	0,7%	20*
Rondônia	41	0,4%	21*	Rondônia	5	0,5%	21*
Tocantins	22	0,2%	22*	Tocantins	4	0,4%	22*
Piauí	18	0,2%	23*	Piauí	4	0,4%	23*
Sergipe	4	0,0%	24*	Sergipe	1	0,1%	24*
Acre	0	0,0%	25*	Acre	0	0,0%	25*
Amapá	0	0,0%	26*	Amapá	0	0,0%	26*
Roraima	0	0,0%	27*	Roraima	0	0,0%	27*
<b>BRASIL</b>	<b>10.000</b>			<b>BRASIL</b>	<b>1.061</b>		

Figura 39 - Distribuição de empregos e empresas de reciclagem por Estado (Perfil 2018, ABIPLAST)

Outro ponto bom para se dar um panorama da área brasileira é em relação ao desempenho do número de empresas, em que começou em 2007 e vem

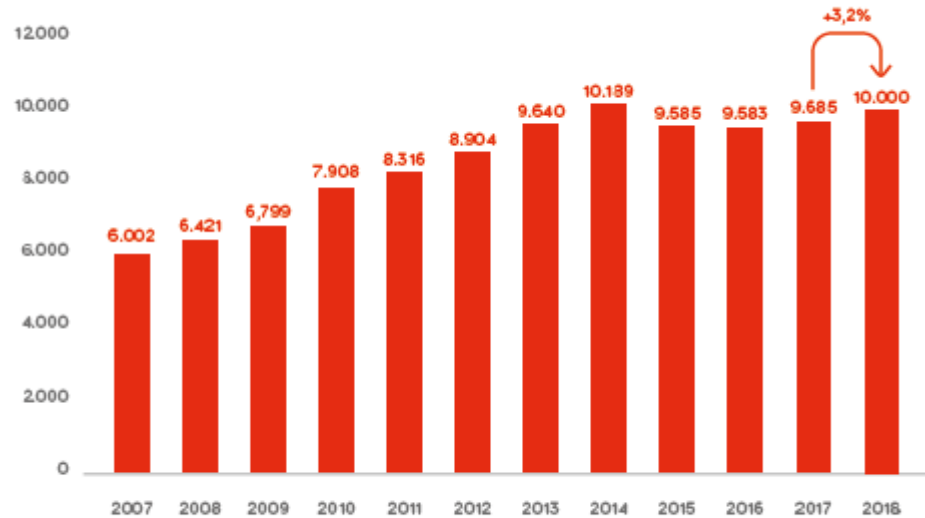
apresentando um crescimento considerável até o ano de 2014, onde daí para frente sofreu com a instabilidade econômica do país e sofreu com a entrada de produtos e matéria prima vinda do exterior, resultando em uma estabilidade no crescimento.<sup>[42]</sup>



Fonte: RAIS - Ministério da Economia  
Source: RAIS - Ministry of Economy

Figura 40 - Série histórica do número de empresa recicladora de plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST)

O mesmo vale para o número de empregados, que pelo setor ser composto majoritariamente de pequenas empresas, apresenta uma ligação muito forte com o número de empregados, onde desde o período de 2014 houve um período de estabilidade no número de empregados.



Fonte: RAIS (2017) e CAGED (2018) - Ministério da Economia

Source: RAIS (2017) and CAGED (2018) - Ministry of Economy

Figura 41 - Série histórica do número de empregados no setor de reciclagem de plásticos (Perfil 2018, ABIPLAST)

Esses números reforçam o desafio que é a reciclagem de plásticos no Brasil, e somando com as informações dadas no tópico anterior, mostram que para esse setor deslançar é necessário um esforço grande tanto da indústria, quanto governo e a população.<sup>[42]</sup>

### 4.3 - Reciclagem de Polímeros e Tipos de Reciclagem

A reciclagem propriamente dita é um processo de que utiliza o material em questão dando um novo uso para ele, sendo um processo muito importante para diminuição do lixo gerado.

Existem 4 tipos de reciclagem para polímeros, a reciclagem mecânica primária que é reciclagem de um polímero pré-consumo, a secundária que é uma reciclagem mecânica de polímeros pós-consumo, a terciária que a reciclagem química, e a reciclagem quaternária que é a reciclagem energética.<sup>[13]</sup>



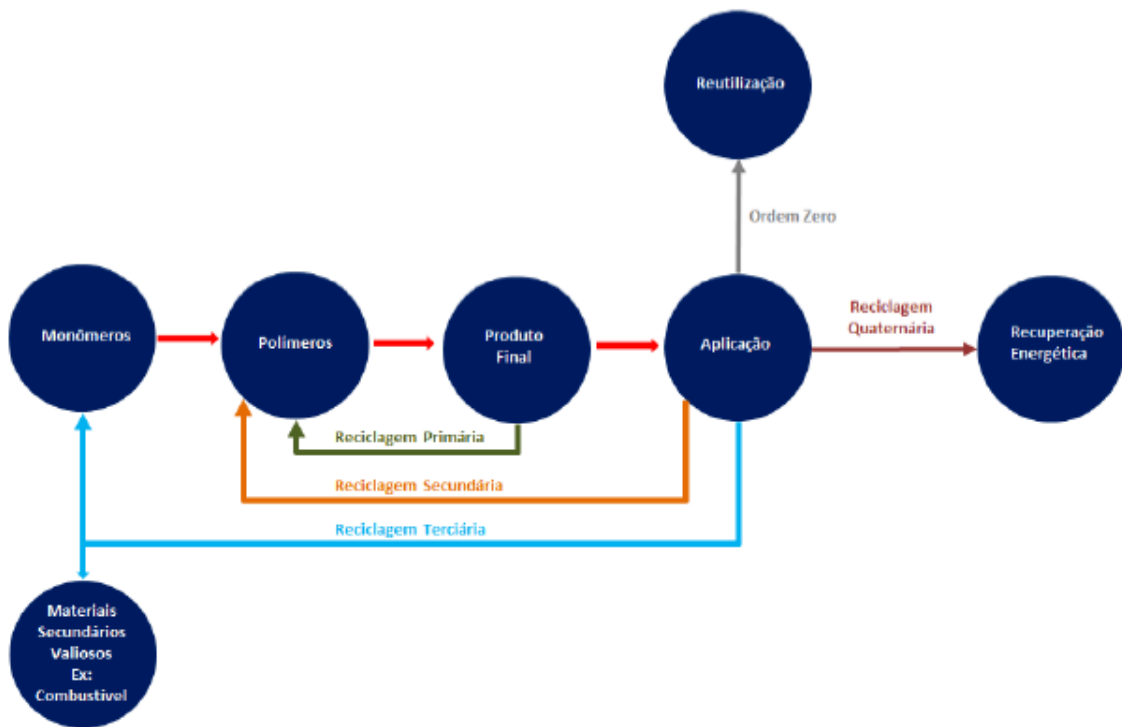


Figura 42 - Tipos de reciclagem de polímeros (Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos - Pessoa, Vítor)

#### 4.3.1 – Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica é o reprocessamento convencional em que o polímero é limpo e separado, e então passa pela extrusão e tem como forma final *pellets* que podem ser utilizados em novos processos, porém um dos problemas gerados é a perda significativa de propriedades mecânicas por causa da degradação das cadeias principais por meio do aumento de temperatura e cisalhamento.<sup>[13]</sup>

As etapas de uma reciclagem mecânica giram em torno das seguintes etapas:

1. Limpeza e separação
2. Trituração
3. Lavagem e secagem
4. Aglomeração
5. Processo de extrusão
6. Resfriamento
7. Corte e embalagem

Uma coisa comum ao processo de remanufatura é a mistura com polímero virgem para melhorar suas propriedades. E esse processo é comum em diversos países como o Brasil, por ser mais barata, mas exigindo um custo inicial considerável.<sup>[13]</sup>

No ciclo, a primeira etapa é a limpeza, que consiste basicamente em limpar o polímero para se retirar a maior parte das impurezas que podem comprometer o processo, a segunda etapa é a separação, normalmente é feita inicialmente pelo tipo de polímeros, que segue uma separação por densidade como mostrado no esquema abaixo.<sup>[13]</sup>

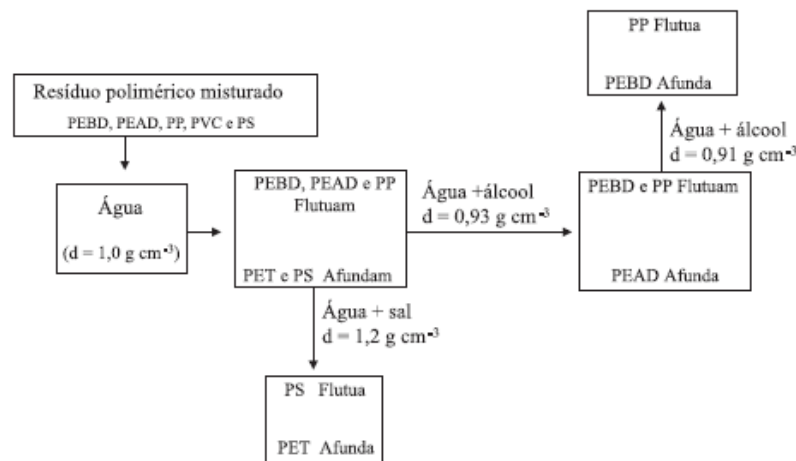


Figura 43 - Esquema de separação via diferença de densidade (Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos - Pessoa, Vítor)

De forma geral, no Brasil, pelo fato da mão de obra ser barata, o separo é feito de forma manual, porém há equipamentos que podem fazer a separação por cores, podendo ser manual ou feita por métodos como difração de raios-X ou

infravermelho. A importância da separação por cor é devido a aparência final do produto, se forem misturadas cores diferentes a cor resultante pode não ser a desejada mesmo com a adição de corantes. Esse fato da mistura das cores explica o motivo do porque os polímeros de cor branca e transparentes serem mais caros, pois podem tornar-se de qualquer cor.

Na etapa de trituração ocorre de fato a trituração por meio de maquinário com lâminas para diminuição do tamanho dos polímeros até serem tamanhos aceitáveis para serem alimentados na extrusora.

A etapa de lavagem e secagem é necessária para eliminar resíduos que ficaram aderidos aos plásticos e seus rótulos, porque essas impurezas podem contribuir na diminuição da qualidade do polímero reciclado.<sup>[13]</sup>

Na etapa de aglomeração há a junção do polímero em montantes que são levados a extrusora, na extrusora ele passa pelo processo de aquecimento para se tornar uma massa que será extrudada para formar fios, esse processo depende de diversas variáveis como rotação da rosca, o tipo de polímero em questão entre outras. E por fim, esses fios são cortados em pequenos pedaços que são denominados *pellets* para dar início a uma nova matéria prima que pode ser usada em um novo processo.<sup>[13]</sup>

Esse é o tipo de reciclagem mais comum no Brasil, muito pelo fato do Brasil não ter uma estrutura tão desenvolvida para fazer a reciclagem, e para o polipropileno em questão, ele é a forma mais usual e a que é o foco deste trabalho.

#### **4.3.2 - Reciclagem Química**

A reciclagem terciária ou química é definida como uma despolimerização em partes ou total do polímero em questão, sendo possível sua polimerização posterior para origem a um novo polímero ou virar combustível. A reciclagem química pode ser classificada pelas seguintes técnicas:

1. Hidrogenação
2. Gaseificação
3. Despolimerização química
4. Pirólise
5. Fratura catalítica
6. Degradação em reator de micro-ondas

A hidrogenação é uma alternativa interessante para quebra de cadeias poliméricas. Essa técnica leva a formação de produtos altamente saturados, evitando a presença de substâncias olefinas na fração líquida, favorecendo o uso como combustível sem a necessidade de outros tratamentos. Uma das vantagens desse método é a remoção de compostos com átomos de nitrogênio, enxofre e cloro, tendo como produto final alcanos com alto poder calorífico.<sup>[16]</sup>

O lado ruim dessa técnica está relacionado ao alto custo, com a necessidade de emprego de altas temperaturas (400°C), pressão (150atm) e catalisadores caros como platina.<sup>[16]</sup>

A técnica de gaseificação pode ser definida como uma oxidação parcial sem a quantidade estequiométrica necessária de oxigênio, gerando produtos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e gás hidrogênio (H<sub>2</sub>). Esse processo inicialmente era destinado a outros fins como gaseificação de carvão, mas que foi adaptado para uso de resíduos plásticos.<sup>[16]</sup>

Esse processo se dá em altas temperaturas (800-1600°C) e com pressões de 15-30Mpa, com diversas opções de agentes gaseificantes como ar, hidrogênio e vapor d'água, e acaba possuindo uma vantagem de não necessitar uma separação dos produtos. Porém, esse processo só é economicamente viável se o uso final e valor final dos produtos valerem a pena, pois demanda de um gasto grande para se manter essa temperatura e pressão.<sup>[17]</sup>

Na técnica de despolimerização química, acontece a quebra dos polímeros formando os monômeros que deram origem a ela, sendo literalmente uma reação inversa que é feita em condições e por meio de agentes químicos específicos.

Após a quebra, o monômero é destinado a formação de um novo polímero que tenha propriedades químicas semelhantes a um “polímero virgem”, o que diferencia esse tipo de reciclagem da mecânica pois ela apresenta o problema de perda de propriedades.<sup>[17]</sup>

Essa técnica seria a melhor opção se não tivesse uma limitação de ser restrita apenas aos polímeros produzidos por condensação, tendo poucas exceções para polímeros produzidos por adição. Em que a ideia é fazer a reação inversa se obtendo os dois monômeros que iniciaram a reação, e sendo limitado aos polímeros e condensação acabam alcançando apenas 15% de todo o lixo plástico produzido.<sup>[13]</sup>

A técnica de pirólise é caracterizada pela queima com deficiência em oxigênio, existem dois casos, um com baixa temperatura e outra com alta temperatura. A primeira causa uma despolimerização e a segunda causa a degradação térmica.

A pirólise a baixa temperatura acontece a cerca de 450-600°C, produz principalmente matéria-prima para a produção de poliolefinas. Por isso, essa técnica é destinada para resíduos com alto grau de hidrocarbonetos como o polipropileno.

A parte ruim dessa técnica é em relação a necessidade de separar os polímeros ao máximo para evitar contaminação que afeta a qualidade do que será reprocessado. Mesmo com a mistura da decomposição de monômeros, oligômeros e outras substâncias orgânicas, é possível separar esses combustíveis que serão destinados a polimerização ou destinados para virar combustível.<sup>[13]</sup>

A técnica de fratura catalítica é baseada na quebra de cadeia por um catalisador combinado com efeitos térmicos. Nesse caso diferentemente dos outros, não há incorporação de agentes químicos, e os produtos normalmente não são os monômeros originais.<sup>[13]</sup>

Por efeito comparativo, essa técnica apresenta quebra de cadeia em temperaturas menores do que para pirólise. Para poliolefinas, fica em torno de 200°C frente aos 400°C da técnica de degradação térmica, e para uma mesma faixa de temperatura, a fratura catalítica tem uma velocidade de reação mais rápida que a pirólise. E uma última comparação é em relação aos produtos obtidos das quebras,

os produtos de fratura catalítica acabam sendo mais complexos com estruturas ramificadas, compostos aromáticos e cíclicas, por isso possuem um poder calorífico maior, sendo um combustível mais parecido com as características dos comerciais.<sup>[13]</sup>

Agora como desvantagens dessa técnica, pode ser citada a dependência de catalisadores, e esses catalisadores apresentam um ciclo de vida determinado, em que acaba perdendo eficácia e não é possível um reuso dele, sendo necessário substituir com o passar do tempo, e catalisadores em geral encarecem o processo.

Por esses motivos, a fratura catalítica apresenta limitações em que a torna propícia para a aplicação apenas para poliolefinas de alta pureza para não comprometer e contaminar o catalisador.<sup>[17]</sup>

A última técnica a ser discorrida é a degradação em um reator de micro-ondas, que é eficiente e tem vantagem de ser processada em pouco tempo e utilizar menos energia.<sup>[17]</sup>

O processo utiliza energia de micro-ondas (300MHz-300GHz) para romper as ligações, um exemplo é o caso da borracha, que a radiação quebra as moléculas de enxofre da borracha vulcanizada. E como foi exemplificado, é de se notar que essa técnica ganha destaque para o caso das borrachas.<sup>[17]</sup>

#### **4.3.4 – Reciclagem Energética**

Na reciclagem energética ou quaternária ocorre a incineração do polímero, o objetivo da incineração é a eliminação do lixo com a utilização da energia obtida da queima dele. Apesar de se obter um ganho de energia considerável, esse método é ambientalmente incorreto, pois acaba emitindo gases de efeito estufa, chuva ácida entre outros problemas para a saúde. Como polímeros num geral são hidrocarbonetos, eles têm um potencial calorífico bom, sendo que seu potencial calorífico depende de sua composição e grupos laterais que o compõe.<sup>[13]</sup>

<b>Polímero</b>	<b>Poder calorífico (MJ/kg)</b>
<b>Polietileno (PE)</b>	<b>41,8</b>
<b>Polipropileno (PP)</b>	<b>30,9</b>
<b>Policloreto de Vinila (PVC)</b>	<b>13,7</b>
<b>Poliamida (PA)</b>	<b>36,8</b>
<b>Poliestireno (PS)</b>	<b>39,0</b>
<b>Politereftalato de Etileno (PET)</b>	<b>21,8</b>
<b>Epóxi</b>	<b>30,0</b>

*Figura 44 - Poder calorífico em diversos polímeros (Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos - Pessoa, Vítor)*

Uma das vantagens desse método é que pode servir para termofixos também, visto que eles têm limitações em sua reciclagem. Esse método possui uma peculiaridade, pois, em alguns lugares como na França, algumas residências são equipadas para gerar energia através da incineração de lixos domésticos que em geral são polímeros e relacionados a embalagens como polipropileno.<sup>[15]</sup>

#### **4.4 – Reciclagem de filmes de polipropileno pré-consumo**

Tudo que foi apresentado até agora serve para se tirar um panorama da reciclagem do polipropileno em filmes pré-consumo, isso, em relação as suas dificuldades, ganhos e sua viabilidade.

Primeiramente, falando sobre a reciclagem do polipropileno em filmes, ela representa boa parte do uso de embalagens, o que representa um setor bem representativo dentro do mercado de polipropileno. Dentro da reciclagem de polipropileno em filmes, temos a divisão entre pré-consumo e pós-consumo, o primeiro processo é mais simples por não envolver a contaminação com o conteúdo do produto final que torna a reciclagem mais complexa. E em relação aos tipos de reciclagem, como foi citado o processo mais comum no Brasil é a reciclagem

mecânica, tanto por envolver um menor custo, quanto pelo fato de ser um processo mais simples.<sup>[13]</sup>

Outro ponto que reforça tudo que foi apresentado foi o acompanhamento de um reprocessamento de uma empresa que recicla filmes de polipropileno em filmes e revende o polímero reciclado. Ela se localiza na zona norte de São Paulo, é uma empresa pequena de menos de vinte funcionários, e serve como parâmetro para todo o estudo feito nesse trabalho em relação a reciclagem de polipropileno em filmes.<sup>[13]</sup>

O ciclo de reprocessamento nessa empresa começa com a entrada de polipropileno em filmes que foram rejeitados pelo controle de qualidade de algumas indústrias, que de forma geral são comprados em centenas de quilos e já chegam separados por cor, se não estiver separado por cor, a primeira etapa é a separação manual do polipropileno feita por funcionários. Desses materiais comprados, o polipropileno de tecido não tecido é o mais caro devido a qualidade do material, posteriormente o polipropileno transparente e de cor branca possuem um custo intermediário, e as demais cores possuem o menor custo, tudo isso devido a limitação de cores que poderiam ter esses filmes ao serem reciclados, em que os transparentes e brancos podem sair do processo com qualquer cor possível, e polipropilenos com alguma cor só podem sair do processo com a mesma cor ou com a cor preta.

Um outro ponto dessa indústria é que eles não trabalham com filmes multicamadas de dois ou mais polímeros diferentes, pela dificuldade de reciclar esse tipo de material, pois a separação é um processo difícil.

A etapa seguinte é a recepção dos filmes de polipropilenos e a estocagem, de forma que os filmes ficam separados pela cor e guardados em um armazém. Para dar início ao reprocessamento os filmes são triturados em duas etapas, na primeira diminui o tamanho por meio de uma cortadora, isso ocorre porque os filmes muitas vezes estão enrolados e desenrolá-los seria uma tarefa manual que gastaria muito tempo, e na segunda etapa de trituração, esse material cortado é levado a um moinho de lâminas, que é uma máquina que possui uma série de lâminas para diminuir o tamanho suficiente para poder alimentar a extrusora.



Ao alimentar a extrusora com o polipropileno cortado, aditivos são adicionados, entre eles o  $\text{CaCO}_3$  e o corante, o primeiro tem a função de carga porque ajuda a imprimir maior resistência à resina, exibindo uma ótima dispersão, propriedades de fluidez superiores, e são econômicos apresentando uma ótima propriedade física. E o corante, serve para dar cor aos *pellets*, em que polipropileno brancos podem assumir qualquer cor, e os coloridos podem assumir a mesma cor ou cor preta. Os dois aditivos adicionados devem ser controlados, pois se colocados em proporções maiores podem acabar comprometendo as propriedades mecânicas dos *pellets*.

Ao ser introduzida na extrusora, ocorre o processo de fundir o polímero para formar uma massa, nesse processo é liberado água e gases que estavam presentes no polímero, e uma parte importante nessa etapa é em relação ao filtro, ele é frequentemente limpo porque o plástico possui muitas impurezas que ficam retidas no filtro, pelo fato de nessa empresa não haver uma etapa de lavagem para diminuir a quantidade de impurezas no polipropileno. Essa etapa de extrusão tem que ser bem controlada para não comprometer as propriedades do material final.

O polipropileno sai da extrusora na forma de fios e em seguida é levada a um banho em água para resfriar o material, nessa etapa é possível verificar se há defeitos nesse material, um defeito característico é a ruptura do fio quando alguma variável na extrusora não está correta.

Por fim, esse fio é cortado para dar origem aos *pellets*, que passam por uma peneira vibratória, que tem como função filtrar os *pellets* com o tamanho desejável, os demais realimentam a extrusora novamente. Depois da peneira o material granulado é seco e pesado para ser colocados em sacas, e a última etapa é a estocagem para ser vendido futuramente.

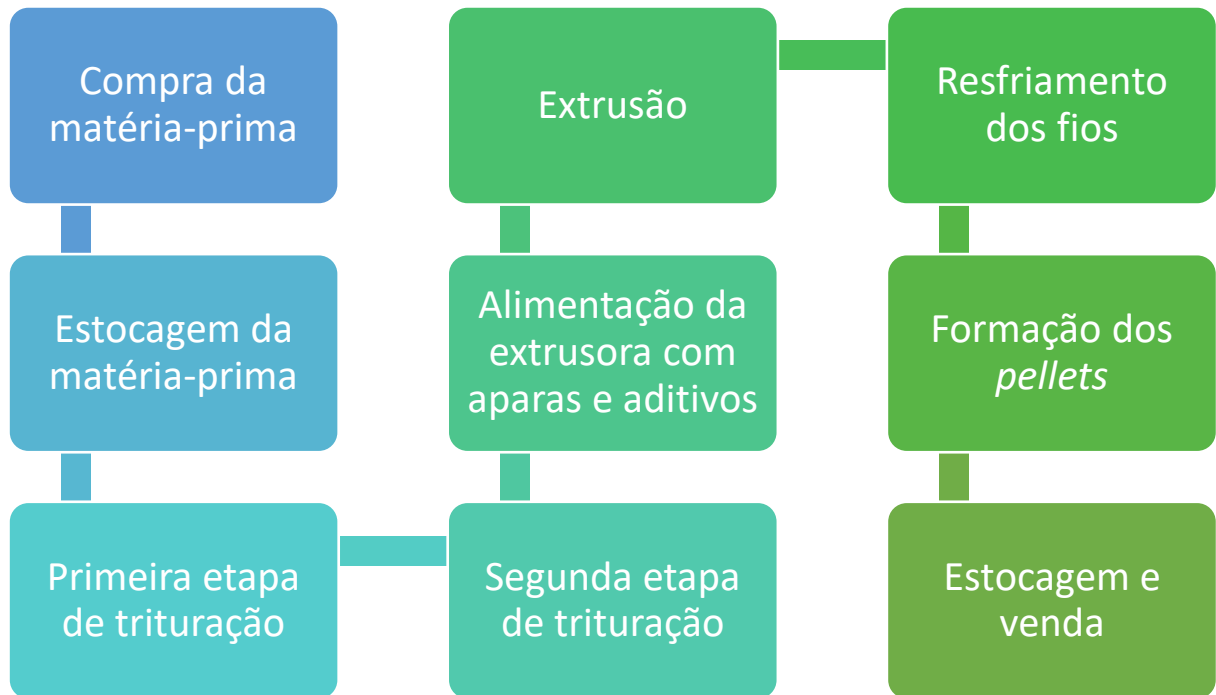


Figura 45 - Esquema da reciclagem em filmes de polipropileno (CONFEÇÃO PRÓPRIA)

Um ponto a se diferenciar dos processos demonstrados, é não haver uma etapa de lavagem do polipropileno, isso resulta no acúmulo de impurezas no filtro que acaba sendo trocado várias vezes ao dia. E outro ponto interessante é em relação a matéria-prima trabalhada, onde são utilizados apenas filmes que contenham polipropileno, impedindo a utilização de filmes multicamadas, que representam uma grande proporção desse mercado.

Os processos na empresa são feitos de forma manual, apenas a alimentação do moinho de lâminas que é feita com uma esteira por questão de segurança, o restante depende de funcionários para controlar a produção.

O controle de qualidade é feito por meio da medida de carga ( $\text{CaCO}_3$ ) com a queima de parte da resina num forno mufla, e por meio de um teste de índice de fluidez, que mede a viscosidade que é essencial para controlar as variáveis da extrusora.

Em relação a destinação dos *pellets* produzidos, a empresa os vende para processos que produzirão produtos que não tem uma exigência mecânica tão grande, como por exemplo confecção de pás de lixo.

Em relação ao desempenho histórico, a empresa seguiu um desempenho muito parecido com o desempenho da área de reciclagem de plásticos apresentada no tópico 4.2 – Reciclagem de plásticos no Brasil, em que cresceu consideravelmente ao longo das duas últimas décadas, mas que apresentando um período de dificuldade nesses últimos anos com uma redução no quadro de funcionários e nos rendimentos da empresa, com a tentativa de pequenos processos serem substituídos por maquinários, como por exemplo, um aspirador deslocar o polipropileno triturado. Ainda falando nas dificuldades, um dos sócios aponta a dificuldade de competir com os materiais chineses, que ingressam no Brasil com polipropileno virgem com um preço bem competitivo, e aponta também a alta tributação que dificulta o desenvolvimento do mercado de reciclagem, em que a matéria prima é taxada, assim como ao reingressar ao mercado na forma de plástico reciclado.<sup>[32]</sup>

No cenário atual de pandemia, a empresa está sofrendo seriamente do ponto de vista financeiro, porque a demanda diminuiu bastante no setor de reciclados até pelo fato da preferência por plásticos descartáveis por motivos de higiene.

#### **4.5 - Restrições ao uso do polipropileno reciclado**

Um ponto que limita significativamente o mercado de reciclados de polipropileno, é em relação a aplicação do material reciclado em alimentos, fármacos, brinquedos de criança e produtos que exigem uma especificidade técnica. O único polímero que possui uma exceção é o PET, que devido ao grande mercado, sofreu pressão do empresariado para poder aplicar o uso de PET reciclado em contato direto com alimentos pela resolução RDC nº 20 de 2008 da ANVISA. A restrição é justificada pela possibilidade de composto com baixa massa molar migrar para o interior do material causando contaminações.<sup>[33]</sup>

Em alguns países como os Estados Unidos possui uma legislação mais flexível nesse ponto, em que plásticos reciclados podem ser utilizados em contato com alimentos desde que esteja dentro de um limite, isso de certo modo estimula o mercado de reciclagem.<sup>[33]</sup>

No Brasil, Chile, Austrália e mesmo em alguns países europeus a aplicação dos reciclados foi restringida apenas ao contato indireto com alimentos, ou seja, em produtos multicamadas com uma camada de material descontaminado (alumínio, tratamentos superficiais e material virgem) em contato direto com o alimento.<sup>[33]</sup>

## **4.6 - Outras alternativas**

### **4.6.1 – Reutilização**

A reutilização, ao contrário da reciclagem, dispensa um reprocessamento, em que o produto final é transformado em um novo sem alteração de propriedades e sem nenhum subsequente processo. Geralmente, esse processo é aplicado em uso menos nobres em relação a aplicação original.

Um exemplo de reutilização é o reaproveitamento de polipropileno reciclado incorporando resíduos de pneus e  $\text{CaCO}_3$ , esse processo foi estudado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), e concluiu que o uso de polipropileno reciclado com incorporação dos aditivos  $\text{CaCO}_3$  em pequenas quantidades e o resíduo de pneu e contribuem de forma significativa na tenacidade do material, isso possibilitaria um reuso em móveis de jardim, por exemplo.<sup>[29]</sup>

Um outro exemplo seria na utilização de ciclovia feitas com resíduos de polipropileno, a ciclovia foi implementada em Zwolle na Holanda, com 70% de plástico reciclado e 30% de polipropileno. Esse projeto é uma parceria da KWS que é uma construtora de estradas, a Wavin que é fabricante de tubos e da Total que é fornecedora de gás e petróleo. Os fabricantes estimam que a estrada tenha a vida útil até três vezes maior que as ciclovias convencionais, além de ter um custo baixo e ter um tempo de construção e pavimentação menores. Mas o desempenho ainda

precisa ser analisado, principalmente em relação ao desgaste e ruídos produzidos com seu uso.<sup>[31]</sup>

#### **4.6.2 – Redução**

Uma outra alternativa à reciclagem é a redução, a redução pode acontecer tanto pelo redimensionamento e diminuição do desperdício, quanto de forma indireta com alternativas mais limpas.

Um exemplo de redução é o polipropileno verde que a Braskem desenvolveu, em que o polipropileno é produzido através do etanol da cana-de-açúcar, que pode diminuir o uso do polipropileno convencional. Essa ideia pode contribuir não só para diversificar seus negócios e adquirir novos clientes, quanto atrair holofotes e promover a marca da empresa. Além do fato que, segundo a consultoria GS&MD – Gouvêa de Souza, de São Paulo, os clientes preocupados com o meio ambiente estão dispostos a gastar até 7,6% a mais por um produto sustentável.<sup>[30]</sup>

## **5 – CONCLUSÃO**

Na visão geral, assim como muitos outros processos no Brasil, como conclusão é possível ver que o setor de reciclagem é um mercado e processo que tem muito a melhorar, e tem um potencial incrível, muito pelas projeções de crescimento de produção nos próximos anos, porém depende de incentivo para não se tornar um inimigo do meio ambiente, seja por meio de pesquisas para trazer novas alternativas, seja pela conscientização da população, seja por meio de medidas governamentais que facilitem o reprocessamento.

Em relação as dificuldades do reprocessamento, a perda de propriedades do polipropileno, a limitação do uso de polímeros reciclados, e ao alto custo de coleta, limpeza e separação, acabam prejudicando o mercado de reciclagem. Quando olhamos para o ciclo como um todo, com o continuo fornecimento de matéria prima, tecnologia de conversão adequada, demanda e a viabilidade econômica, é possível

afirmar que a reciclagem no Brasil é viável em relação aos aspectos supracitados, em que para o polipropileno em filmes pré-consumo, todos os aspectos acima estão desenvolvidos, porém de forma ainda tímida perto do que poderia representar, com destaque para a demanda, que poderia ser bem maior, com a aplicação desse polipropileno reciclado em objetos que não se encaixam nas limitações que foram citadas, pois muitas vezes o reciclado atende as necessidades, mas não é escolhido pela falsa ideia de que o reciclado é muito inferior.

E cada vez mais temas relacionados a sustentabilidade são debatidos, principalmente no contexto atual de pandemia devido à Covid-19, em que muitos dos plásticos são utilizados uma vez e descartados. O que melhora as perspectivas para um futuro, é o fato que a reciclagem mecânica, que é a mais comum no Brasil, vem crescendo em volume ao longo das duas últimas décadas, e qualidade dos produtos, devido à otimização dos processos.

## 6 - REFERÊNCIAS

- [1]. MAIER, Clive. **Polypropylene: the Definitive User's Guide and Databook**, Burlington: Elsevier, 1998.
- [2]. TRIPATHI, Devesh. **Practical guide to polypropylene**, Shawbury, U.K.: Rapra Technology, 2002.
- [3]. IONASHIRO, M. **Fundamentos de Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial**. São Paulo, 2014.
- [4]. TOKUMOTO, Shinichi. **Deformação plástica do polipropileno isotático: aspectos do mecanismo, propriedades e morfologia**, Porto Alegre: Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- [5]. SHIELDS, T. J.; ZHANG, J.; KARGER-KOCSIS, J. **Fire hazard with polypropylene**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1999
- [6]. CHINELATTO, Marcelo Aparecido; AGNELLI, José Augusto Marcondes; CANEVAROLO, Sebastião Vicente. **Synthesis and Characterization of Copolymers from Hindered Amines and Vinyl Monomers**, Polímeros Ciência e Tecnologia, 2014.
- [7]. A. V. Shenoy, D. R. Saini: **Melt Flow Index: More Than Just a Quality Control Parameter**. Part I., *Advances in Polymer Technology*, Vol. 6, No. 1, pages 1–58 (1986)
- [8]. MALISKA, Ana Maria. **Efeito da concentração, massa molar e temperatura reológicas de soluções dextrans**, Santa Catarina: Tese de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1988.
- [9]. J.M. Dealy, K.F. Wissbrun: **Melt Rheology and its Role in Plastics Processing: Theory and Applications**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1999.
- [10]. L. H. Sperling “**Introduction to Physical Polymer Science**” 2nd Edition Edition, John Wiley and Sons, New York, 1992.
- [11]. J.M.G. Cowie: **Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials**, 2nd edition edition, 1991, Blackie Blackie Academic and Professional.
- [12]. CARVALHO, L. B. **Produção de Polipropileno Bi-Orientado (BOPP): Tecnologias e Aplicações**. Bragança, PA 2008.
- [13]. ALVES, Vitor, **Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos**, Rio de Janeiro: Dissertação de Trabalho Final. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
- [14]. SPINACE, M. A., DE PAOLI, M.A. **A Tecnologia da Reciclagem dos Polímeros**, Campinas: Quim. Nova Vol. 28, 2005.
- [15]. GOODSHIP, V. **Introduction to plastics recycling**. Smithers Rapra, 2007.
- [16]. AGUADO, J. **Feedstock recycling of plastic wastes**. Royal Society of Chemistry, 1999.
- [17]. AZAPAGIC, A. **Polymers - The Environment and Sustainable Development**. J. Wiley, 2003.
- [18]. William D. Callister, Jr., **Materials Science and Engineering – An Introduction**, John Wiley, NY, 8ª ed (2010), Cap. 14 e 15.
- [19]. PIATTI, Tânia M. RODRIGUES, Reinaldo A. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. - Maceió: EDUFAL, 2005.
- [20]. KARIAN, Harutun (Ed.). **Handbook of polypropylene and polypropylene composites, revised and expanded**. CRC press, 2003.

- [21]. PASQUINI, Nello. **Polypropylene Handbook, 2nd Edition**. Carl Hanser Verlag, Munich. 2005.
- [22]. GEYER, R. *et al.* Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**. 19 jul. 2017.
- [23]. VASCONCELOS, Yuri. **Planeta Plástico, Edição 281**, jul. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>>. Acessado em: 11/10/2020
- [24]. KANTOVISCKI, Adriano (Maio de 2011). «**Materiais Poliméricos - Conceitos & Definições**»
- [25]. **O futuro pós-pandemia é do plástico, e ele não será reciclado**. THE WALL STREET JOURNAL. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/06/o-futuro-pos-pandemia-e-do-plastico-e-ele-nao-sera-reciclado.shtml>>. Acessado em: 18/10/2020
- [26]. PETRY, André. **Mercado brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico**. Porto Alegre, 2011.
- [27]. **Mercado de filmes BOPP prevê estagnação em 2019**. Plástico Virtual. Disponível em: <https://plasticovirtual.com.br/mercado-de-filmes-bopp-preve-estagnacao-em-2019/>. Acessado em: 19/10/2020
- [28]. **Indústria de embalagens flexíveis tem desempenho estável durante pandemia**. Blog Polo Films. Disponível em: <https://www.polofilms.com.br/blog/industria-de-embalagens-flexiveis-tem-desempenho-estavel-durante-a-pandemia/>. Acessado em: 19/10/2020
- [29]. Danilo A. da Costa, Diego H. S. Oliveira, Adillys M. da Cunha, Raquel B. Leite. **ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE POLIPROPILENO RECICLADO POR MEIO DA INCORPORANDO DE RESÍDUOS DE PNEUS E CaCO<sub>3</sub>**. Campina Grande - PB
- [30]. **Nova Aposta Verde da Braskem**. Isto É. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/noticias/negocios/20111102/nova-aposta-verde-braskem/2503.shtml>. Acessado em 22/10/2020
- [31]. **Novidade nas ruas: em vez de asfalto, plástico reciclado**. Época negócios. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/09/novidade-nas-ruas-em-vez-de-asfalto-plastico-reciclado.html> Acessado em: 22/10/2020
- [32]. J.L. Mesquita. **Reciclagem do plástico, um drama da nossa geração**. Disponível em: <https://marsemfim.com.br/reciclagem-do-plastico/>. Acessado em: 24/10/2020
- [33]. ISENMANN, A. **Reciclagem dos Plásticos**. Timóteo – MG. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA (CEFET) – *Campus Timóteo*
- [34]. FERNANDES, Beatriz. DOMINGUES, Antonio. **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE POLIPROPILENO RECICLADO PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**. Polímeros vol. 17. São Carlos: Junho, 2007.
- [35]. KOLSTAD, Jeffrey. VINK, Erwin. **ASSESSMENT OF ANAEROBIC DEGRADATION OF INGENIO™ POLYLACTIDES UNDER ACCELERATED LANDFILL CONDITIONS**. Polymer Degradation and Stability, Vol. 97, Pages 1131-1141, July, 2012.
- [36]. CANEVAROLO, S.V. (2003). **Técnicas de caracterização de polímeros**.
- [37]. **Propriedades Polipropileno**. INCOMPLAST. Disponível em: <https://incomplast.com.br/polipropilenopp/> . Acessado em: 20/12/2020
- [38]. Nicole R. Demarquete. **ESTRUTURA E PROPRIEDADES DE POLIMÉROS**, 8ª Aula de PMT 2100 - Introdução à Ciência dos Materiais para Engenharia.
- [39]. Perkinelmer , **Thermogravimetric Analysis (TGA): A Beginner's Guide**. Disponível em: [perkinelmer.com](http://perkinelmer.com) - TGABeginnersGuide.pdf. Acessado em 20/12/2020
- [40]. Haines, P. J. **Principles of Thermal Analysis And Calorimetry**. Cambridge, UK: Lynx Edicions, 1992.



[41]. TOLEDO, Mettler. **Thermal Analysis of Polymers**. Application Handbook.

[42]. ABIPLAST. **Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico - Perfil 2018**.