



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Análise e Perspectivas do Mercado de Polipropileno

Autor: João Cesar Fonseca Onofrio Neto

Orientador: Prof. Dr. Nilson Romeu Marcilio

Porto Alegre, maio de 2021

Autor: João Cesar Fonseca Onofrio Neto

Análise e Perspectivas do Mercado de Polipropileno

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química*

Orientador: Prof. Dr. Nilson Romeu Marcilio

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Juarez Melo, DEQUI/UFRGS

Prof. Dr. Evandro Steffani, DEQUI/UFRGS

Porto Alegre

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, aos meus pais, ao meu irmão e às minhas avós. Eles sempre me incentivaram a estudar e me proporcionaram condições de cursar esta graduação.

Aos meus amigos Pedro, Rafael e Gabriel, que me inspiram a cada dia e tiveram papel crucial na minha formação pessoal e acadêmica. Aprendo diariamente com cada um de vocês.

Agradeço especialmente a minha namorada Carol, que sempre esteve disponível a me ajudar e prestou todo o apoio necessário, além de ser extremamente paciente nos momentos difíceis. Você também faz parte desta conquista.

Agradeço ao professor orientador Nilson Marcilio pelo suporte durante o trabalho.

RESUMO

O polipropileno (PP) é o segundo termoplástico mais produzido no mundo, sendo fabricado em todos os continentes. É uma resina versátil e compatível com diversas técnicas de processamento. Suas propriedades, aliadas a um custo moderado, garantiram um crescimento expressivo do consumo do polímero nas últimas décadas. Hoje, o PP é parte integrante da vida cotidiana moderna, estando presente nas mais variadas aplicações, que vão de peças automotivas a embalagens de alimentos, de fraldas infantis a máscaras descartáveis. Estas últimas, que se tornaram praticamente onipresentes no biênio 2020-2021 por causa da pandemia da COVID-19. Os estudos de mercado são essenciais para embasar o processo de tomada de decisão de empresas. Desta forma, o presente trabalho tem o objetivo de caracterizar e apresentar as tendências para o mercado global de polipropileno. O futuro do PP continua promissor. A população global se aproximando de 10 bilhões de pessoas em 2050, uma classe média crescente e movimentos de urbanização principalmente na Ásia e África, são tendências que devem sustentar a demanda por polipropileno nos próximos anos, que deve continuar crescendo acima do PIB mundial. Um aumento na produção global do polímero é necessário para atender ao crescimento previsto da demanda. A capacidade instalada da resina deve expandir em pelo menos 40% até 2024 com os projetos em andamento, com boa parte dos investimentos na China, Índia e Sudeste Asiático. Uma variação das margens de lucro dos produtores ao longo do tempo é esperada devido ao caráter cíclico do mercado de polipropileno. Neste trabalho, são apresentadas as principais aplicações, métodos de fabricação e processamento, maiores produtores globais e dados de comércio internacional.

Palavras-chave: Polipropileno. Propeno. Plásticos. Petroquímica.

ABSTRACT

Polypropylene (PP) is the second most produced thermoplastic in the world, being manufactured on all continents. It is a versatile resin and compatible with several processing techniques. Its properties, combined with a moderate cost, have guaranteed an expressive growth in the consumption of the polymer in the last decades. Today, PP is an integral part of modern daily life, being present in the most varied applications, ranging from automotive parts to food packaging, from children's diapers to disposable masks. The latter, which became virtually ubiquitous in the 2020-2021 biennium because of the COVID-19 pandemic. Market research is essential to support the decision-making process of companies. Thus, the present work aims to characterize and present the trends for the global polypropylene market. The future of PP remains promising. The global population approaching 10 billion people in 2050, a growing middle class and urbanization movements mainly in Asia and Africa, are trends that are expected to sustain the demand for polypropylene in the coming years, which should continue to grow above the world GDP. An increase in the global production of the polymer is necessary to meet the expected growth in demand. The installed capacity of the resin is expected to expand by at least 40% by 2024 with the projects in progress, with a large part of investments in China, India and Southeast Asia. A variation in the profit margins of producers over time is expected due to the cyclical nature of the polypropylene market. In this work, the main applications, manufacturing and processing methods, major global producers and international trade data are presented.

Keywords: *Polypropylene. Propylene. Plastics. Petrochemistry.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da molécula do polipropileno	3
Figura 2: Ilustração da reação de polimerização do polipropileno	4
Figura 3: Distribuição das principais tecnologias comerciais de produção de polipropileno ...	5
Figura 4: Diagrama simplificado da tecnologia Spheripol para produção de polipropileno	5
Figura 5: Reator da tecnologia UNIPOL, no Texas	6
Figura 6: <i>Pellets</i> comerciais de polipropileno	8
Figura 7: Representação esquemática da cadeia de suprimentos da indústria petroquímica	11
Figura 8: Representação conceitual do balanço entre oferta e demanda em mercados cíclicos	13
Figura 9: Histórico de preços dos últimos 40 anos do polipropileno e do propeno no mercado americano, em centavos de dólar por libra	13
Figura 10: Maiores produtores de polipropileno, em porcentagem	15
Figura 11: Maiores fabricantes de polipropileno, por capacidade instalada, em milhares de toneladas por ano	16
Figura 12: Projeção da demanda de plásticos até 2050, em milhões de toneladas	17
Figura 13: Comparação entre a variação do PIB mundial (em porcentagem) e o crescimento da demanda de polipropileno (em milhões de toneladas).....	17
Figura 14: Histórico de preços dos últimos 20 anos do polipropileno em diferentes regiões, em dólares por tonelada.....	19
Figura 15: Alterações na demanda global de polipropileno em decorrência da pandemia, incluindo aplicações médicas, materiais de construção, automotivo, embalagens, eletrodomésticos, manufatura de equipamentos, manufatura de eletrônicos.....	20
Figura 16: Evolução da demanda de polipropileno na China e impacto da COVID-19 em diferentes setores, em milhares de toneladas.	21
Figura 17: Rota tecnológica de produção de biopolipropileno proposta pela Mitsui Chemicals	22
Figura 18: Comparativo entre a economia linear e uma adaptação para a economia circular na cadeia do plástico.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades de diversos tipos de polipropileno.....	8
Tabela 2: <i>Ranking</i> dos países exportadores de polipropileno, em 2019	18
Tabela 3: <i>Ranking</i> dos países importadores de polipropileno, em 2019.....	19

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Polipropileno	3
2.1	Processo Produtivo	3
2.2	Tipos e Propriedades	6
2.3	Processamento e Aplicações	8
3	Análise do Mercado Mundial de Polipropileno	11
3.1	A cadeia de suprimentos do Polipropileno	11
3.2	Precificação	12
3.3	Efeito do gás de xisto	14
3.4	Demanda e Oferta	14
3.5	Comércio Internacional	18
4	Presente e Futuro do Polipropileno	20
4.1	Efeitos e Consequências da COVID-19	20
4.2	Sustentabilidade	21
4.2.1	Biopolímeros	22
4.2.2	Reciclagem Química	23
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	25
	REFERÊNCIAS	26

1 Introdução

Ao longo da história, o consumo de plásticos vem crescendo e substituindo materiais mais tradicionais como vidro, madeira e metais em uma infinidade de aplicações. O plástico é um material incrivelmente versátil, que aumentou sua utilidade e importância ao longo do tempo. A sua popularidade pode ser explicada pela enorme gama de propriedades apresentada pelos mais diversos tipos de plástico, em conjunto de um custo atrativo e facilidade de processamento (MAIER e CALAFUT, 1998).

Nos tornamos tão dependentes dos plásticos, que é difícil imaginar uma sociedade sem eles. Seja na forma de poliestireno, policarbonato, PET ou polietileno, eles são praticamente onipresentes. Na construção, servem como tubulação de água e esgoto. No setor automotivo, fazem parte de peças e acabamentos, tornando os veículos mais leves e resistentes. Na medicina, são utilizados tanto em próteses, como seringas e aventais médicos. Isso, sem falar nos eletrodomésticos e móveis. Em suma, da agricultura ao transporte e da indústria aeroespacial às embalagens de alimentos, o uso de plásticos tornou-se parte integrante da vida diária moderna (IHS MARKIT, 2019).

Desde a descoberta do polipropileno e início da produção comercial em meados dos anos 1950, o mercado de PP apresentou uma história de crescimento impressionante. Os investimentos nas primeiras indústrias eram mais baseados em expectativas do que qualquer uso estabelecido. Todavia, os resultados iniciais foram encorajadores: a combinação de uma resina de fácil moldagem com propriedades intermediárias entre os já conhecidos polietileno (PE) e poliestireno (PS) permitiu uma rápida penetração em diversas aplicações (MOORE, 1996).

Hoje, o polipropileno é o segundo termoplástico mais produzido no mundo, sendo fabricado em todos os continentes. Ele faz parte de um gigantesco negócio global e é considerado uma importante *commodity* no comércio internacional. A sua versatilidade e compatibilidade com várias técnicas de processamento incentiva a aplicação do PP em centenas de bens de consumo e industriais que afetam praticamente todos os aspectos do cotidiano (MALPASS e BAND, 2012).

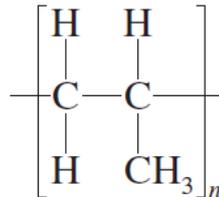
O crescimento populacional e o aumento no PIB mundial devem alimentar a demanda por todos os tipos de materiais nos próximos anos, tendo o PP como um dos principais representantes dos termoplásticos (IHS MARKIT, 2019).

Este trabalho tem como **objetivo geral** analisar o panorama atual e as perspectivas de crescimento para o mercado do polipropileno. Como **objetivos específicos** tem-se a apresentação das principais aplicações do polipropileno, os métodos de fabricação e processamento, os maiores produtores globais e dados do comércio internacional.

2 Polipropileno

Polipropileno (PP) é um polímero termoplástico versátil, compatível com várias técnicas de processamento e utilizado em diversas aplicações comerciais. É sintetizado a partir da polimerização do propeno (HARPER, 2000). A Figura 1 apresenta a representação da molécula de polipropileno.

Figura 1: Representação da molécula do polipropileno



Fonte: (Smith et al., 2019)

O monômero propeno, também chamado de propileno, é a matéria-prima básica do PP e deve ter um alto nível de pureza. O propeno é uma das principais *commodities* químicas da cadeia petroquímica e é obtido de forma predominante como coproduto do craqueamento à vapor da nafta (PLASTICS INSIGHT, 2017). Todavia, a produção do monômero a partir da desidrogenação do propano se tornou uma alternativa viável e vem se popularizando nos últimos anos em decorrência do desenvolvimento da indústria do gás de xisto e consequente aumento da oferta de gás natural nos Estados Unidos (MALPASS e BAND, 2012).

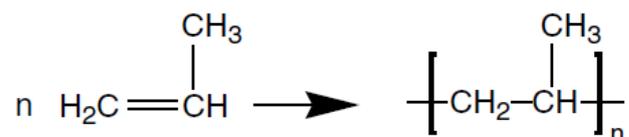
O polipropileno foi descoberto acidentalmente em 1951 por dois pesquisadores da Phillips Petroleum Company, J. Paul Hogan e Robert L. Banks, enquanto trabalhavam para converter o propileno para a forma gasosa. Mais tarde em 1954, Giulio Natta e Karl Ziegler, polimerizaram o PP utilizando um catalisador Ziegler-Natta durante o processo (PLASTICS INSIGHT, 2017).

Desde a sua introdução, o polipropileno se tornou uma das mais importantes resinas termoplásticas da atualidade, sendo o segundo mais produzido no mundo, perdendo apenas para o polietileno. O PP é fabricado em várias formas e suas aplicações são onipresentes na vida cotidiana, desde a fibra em tapetes e estofados até garrafas plásticas (MONTENEGRO et al., 1996).

2.1 Processo Produtivo

O polipropileno é produzido pela polimerização do propileno na presença de um catalisador, sob calor e pressão cuidadosamente controlados. Na reação de polimerização, as moléculas do monômero são unidas para formar uma grande molécula de polipropileno. O propileno, gasoso em temperatura ambiente, reage com um catalisador organometálico para fornecer um local para a reação ocorrer, e as moléculas de propileno são adicionadas sequencialmente através de uma reação entre o grupo funcional metálico na cadeia do polímero e a ligação insaturada do monômero (MAIER e CALAFUT, 1998). A Figura 2 ilustra a reação de polimerização do polipropileno.

Figura 2: Ilustração da reação de polimerização do polipropileno



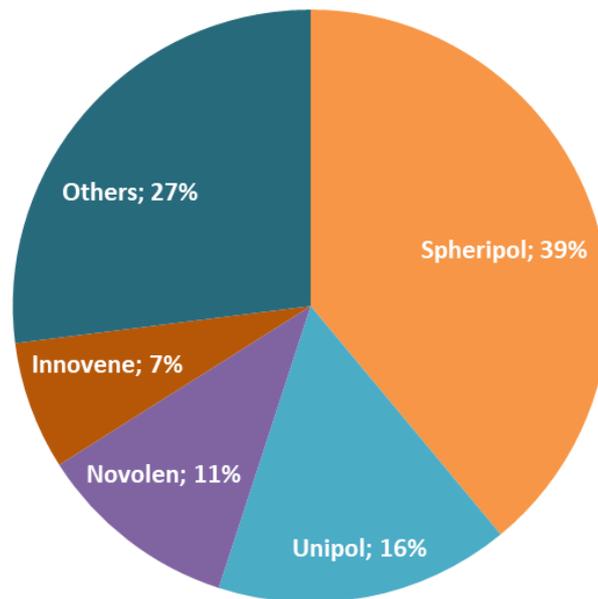
Fonte: (Harper, 2000)

Os catalisadores Ziegler-Natta são os catalisadores comerciais mais comuns. Karl Ziegler e Giulio Natta receberam em conjunto o Prêmio Nobel em 1963 pelo desenvolvimento de catalisadores de polimerização de poliolefinas com alto rendimento. Os catalisadores Ziegler-Natta originais eram um complexo de haletos de metal de transição, geralmente TiCl_3 , com um composto organometálico como cocatalisador para iniciar a polimerização.

Em contraste com os catalisadores Ziegler-Natta, os catalisadores de metallocenos possuem um único sítio ativo e suas propriedades, como massa molar e estrutura, podem ser adaptadas para atender às necessidades da aplicação. Os polipropilenos feitos com estes catalisadores exibem maior rigidez e transparência, melhor resistência ao impacto e tenacidade mesmo em temperaturas subambientais. O ponto de fusão ($147\text{-}158^\circ\text{C}$) do polipropileno metalloceno é geralmente inferior ao do polipropileno convencional ($160\text{-}170^\circ\text{C}$) (MAIER e CALAFUT, 1998).

Existem muitas tecnologias comerciais que são usadas para a produção do polímero. Dependendo da tecnologia, o polipropileno produzido tem um conjunto único de propriedades. Os processos de polimerização podem ser através de solução, suspensão em um solvente (*slurry*), massa (*bulk*) e em fase gasosa, sendo este último a de tecnologia mais moderna (MALPASS e BAND, 2012). Antes da década de 80, a polimerização em suspensão era o processo mais usado na produção de PP. Hoje no mundo se pode enumerar uma dezena de processos em utilização, porém os processos que representam pouco mais da metade da capacidade produtiva mundial são: Spheripol (LyondellBasell) e Unipol (Dow Chemical) (PLASTICS INSIGHT, 2017). A Figura 3 mostra a distribuição das principais tecnologias comerciais de produção de polipropileno utilizadas atualmente.

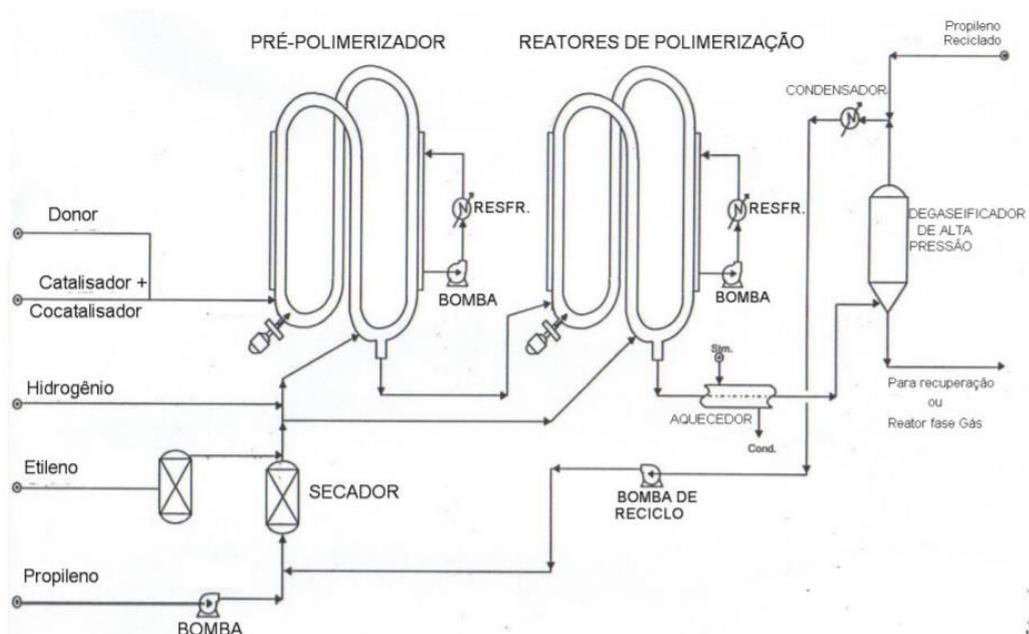
Figura 3: Distribuição das principais tecnologias comerciais de produção de polipropileno



Fonte: Extraído e adaptado de (Plastics Insight, 2017)

Devido à sua grande versatilidade, o processo Spheripol da LyondellBasell é o mais amplamente utilizado, respondendo por cerca de 39% da produção global total de polipropileno (PLASTICS INSIGHT, 2017). É capaz de produzir a linha completa de produtos de polipropileno (HP, RACO e HECO). Consiste em um processo híbrido, pois emprega dois reatores de leito fluidizado do tipo *loop* em combinação com um reator de fase gasosa. Utiliza a reação em suspensão em propeno líquido para a obtenção do homopolímero e a reação em fase gasosa para a produção de copolímero, mostrado esquematicamente na Figura 4.

Figura 4: Diagrama simplificado da tecnologia Spheripol para produção de polipropileno



Fonte: (Lucca, 2007)

A polimerização inicia com a mistura dos componentes do sistema catalítico e uma pré-polimerização para ativação dos catalisadores. Na próxima etapa do processo, ocorre a transferência para o primeiro reator de polimerização (*loop*). A partir do primeiro reator *loop*, o polímero suspenso em propeno líquido (monômero) é transferido ao segundo reator *loop*. Nesta etapa é introduzido hidrogênio na proporção necessária a fim de controlar a massa molecular e obter o índice de fluidez desejado.

Também pode ser realizada a alimentação de eteno (para produção de copolímero). As partículas de polímero são então descarregadas do segundo reator e enviadas para recuperação dos monômeros e secagem dos polímeros. Após isso, o polipropileno é extrudado para formar os *pellets*, forma usual de comercialização (MALPASS e BAND, 2012).

O segundo processo produtivo mais utilizado é o da Unipol, que é uma extensão do processo de fase gasosa da Union Carbide (agora Dow Chemical) para polietileno, desenvolvido originalmente no final dos anos 1960 (PLASTICS INSIGHT, 2017). O processo UNIPOL PP utiliza um grande reator em fase gasosa em leito fluidizado, mostrado na Figura 5. A parte superior bulbosa do reator se tornou quase icônica na indústria de poliolefinas. Essa parte arredondada do reator é projetada para ser uma zona de desprendimento de partículas, permitindo que as partículas suspensas caiam de volta no leito fluidizado.

Figura 5: Reator da tecnologia UNIPOL, no Texas



Fonte: Univation Technologies, 2020

As principais etapas do processo são o manuseio de catalisador, tratamento do propileno, polimerização, extrusão e peletização. Para a produção de copolímero, o homopolímero produzido no reator de polimerização é transferido para um reator de copolimerização, onde ocorre adição de etileno e hidrogênio (MALPASS e BAND, 2012).

2.2 Tipos e Propriedades

O custo moderado e um bom equilíbrio de propriedades tornam o polipropileno atraente para a produção de diversos produtos manufaturados. É um dos termoplásticos mais leves,

com massa específica de 0,900 a 0,910 g/cm³. O polímero ainda é um bom isolante e tem uma constante dielétrica baixa (SMITH et al., 2019).

Aditivos como pigmentos e antioxidantes podem ser aplicados ao PP para dar as propriedades desejadas. O negro de fumo é comumente adicionado ao polipropileno para conferir resistência aos raios UV. Agentes antiestáticos podem ser incorporados em embalagens e agentes deslizantes podem ser adicionados para diminuir o atrito em aplicações de filme (HARPER, 2000).

O PP tem uma temperatura de fusão considerada alta (160-170 °C) se comparada com outros termoplásticos comuns. Possui boa resistência ao calor, podendo ser usado em aplicações que exijam esterilização a vapor. No entanto, torna-se quebradiço em temperaturas próximas a 0 °C. Isso pode ser evitado por meio da copolimerização com outros monômeros, sendo o etileno o mais comum. A presença do etileno na estrutura do polipropileno dificulta a cristalização, diminui o ponto de fusão e aumenta a flexibilidade e resistência ao impacto.

O polipropileno tem boa resistência química, incluindo resistência à maioria dos solventes orgânicos. Porém, a permeação de solventes clorados e hidrocarbonetos podem afetar o material. O PP também possui elevada resistência à fadiga, sendo amplamente utilizado em aplicações de dobradiça viva (MAIER e CALAFUT, 1998).

De modo geral, o PP é facilmente reciclado e pode ser processado por uma grande variedade de métodos, incluindo moldagem por injeção, moldagem por sopro, extrusão e termoformagem. O polipropileno também possui a propriedade de estar orientado. A biorientação melhora as propriedades óticas do material e aumenta sua resistência à ruptura. O filme biorientado (BOPP) é utilizado para a produção de fitas adesivas, rótulos e embalagens para alimentos (MONTENEGRO et al., 1996).

O polipropileno é produzido comercialmente em diferentes formas, dependendo das propriedades desejadas. Os tipos mais importantes disponíveis são:

- Homopolímero (HOMO): é considerado um tipo geral e pode ser usado para uma variedade de finalidades. São plásticos duráveis e rígidos;
- Copolímero randômico (RACO): apresentam melhor flexibilidade e ponto de fusão mais baixo. Possui unidades de comonômero, geralmente etileno, dispostas aleatoriamente ao longo da estrutura;
- Copolímero de impacto (também chamado de copolímero heterofásico ou HECO): são mais resistentes e duráveis que o homopolímero e têm em sua composição entre 5 % e 25 % de etileno.

Mais de três quartos do mercado global de polipropileno industrial é homopolímero, que contém apenas monômero de propileno na cadeia do polímero. Esta variante fornece rigidez e tenacidade, mas exibe baixa resistência ao impacto em baixas temperaturas e apresenta baixa clareza para algumas aplicações. Já os copolímeros de propileno contêm um ou mais tipos diferentes de monômeros e embora o etileno seja o comonômero mais frequente, 1-buteno e 1-hexeno também podem ser usados. Enquanto os copolímeros randômicos são usados em aplicações que requerem maior clareza ou um ponto de fusão mais baixo, os

copolímeros de impacto são usados em aplicações automotivas e outras que requerem alta resistência ao impacto em baixas temperaturas (MALPASS e BAND, 2012). As principais características de cada tipo principal de polipropileno estão resumidas na Tabela 1:

Tabela 1: Propriedades de diversos tipos de polipropileno

Tipo de PP	Abreviação	Comonômero típico	Conteúdo do comonômero (wt %)	Resistência ao impacto	Transparência do filme	Resistência à tração	Aplicação
Homopolímero	HOMO	-	0	+	+	+++	Fibras
Copolímero Randômico	RACO	etileno	1-7	++	+++	++	Embalagens
Copolímero de Impacto	HECO	etileno	5-25	+++	+	+	Automóveis

Fonte: Adaptado de (Montenegro et al., 1996)

2.3 Processamento e Aplicações

O polipropileno chega ao consumidor em uma enorme variedade de produtos. Pode estar presente na forma de uma caixa de ferramentas, nas fibras no carpete da sala, na embalagem da tele-entrega ou em centenas de outros itens que se encontram diariamente em nossas casas, automóveis e locais de trabalho. É encontrado em móveis e eletrodomésticos de uso comum em residências e em muitos dispositivos médicos utilizados em hospitais. Em muitos casos, o consumidor pode não ter consciência do impacto que o polipropileno tem na vida cotidiana, mas certamente perceberia se esses itens repentinamente não estivessem disponíveis.

A jornada do PP do fabricante ao consumidor normalmente começa com o polímero bruto sendo derretido, peletizado, embalado e transportado para os processadores (Figura 6). Os processadores introduzem outros aditivos (específicos para o uso final), fundem o polímero novamente e moldam o polímero fundido empregando uma das diversas técnicas de fabricação (MALPASS e BAND, 2012).

Figura 6: *Pellets* comerciais de polipropileno



Fonte: (Braskem, 2018)

Muitos processos diferentes são usados para transformar grânulos de plástico em produtos moldados, como folhas, hastes, seções extrudadas ou tubos. O PP é um termoplástico e os termoplásticos são geralmente aquecidos até ficarem macios e depois remodelados antes do resfriamento. A moldagem de plástico envolve o enchimento do polímero fundido no molde oco para que ele tome sua forma. Este processo envolve uma alta faixa de pressão e imenso calor. Existem diferentes técnicas usadas na moldagem de plástico, incluindo moldagem por injeção, moldagem por sopro, moldagem rotacional e moldagem por compressão (PLASTICS INSIGHT, 2017).

A moldagem por injeção é um dos métodos de processamento mais utilizados para a conversão da resina em produtos comerciais. A máquina injetora usa um mecanismo de parafuso para derreter o plástico e injetá-lo em um molde. No processo de moldagem por injeção, os grânulos de plástico são alimentados através de uma abertura no cilindro de injeção de uma rosca rotativa, que os leva para frente em direção ao molde. A rotação do parafuso força os grânulos contra as paredes aquecidas do cilindro, fazendo com que eles derretam devido ao calor da compressão e fricção. Quando o suficiente de material plástico é derretido na extremidade do molde do parafuso, o parafuso injeta o plástico derretido nas cavidades do molde por meio de um movimento semelhante a um êmbolo. O material é então refrigerado dentro do molde, permitindo sua solidificação e remoção do produto sem deformação. Finalmente, o molde é aberto e a peça é ejetada do molde com ar ou por pinos ejetores acionados por mola.

A extrusão é outro método de processamento muito utilizado. Alguns dos produtos fabricados pelo processo de extrusão são tubos, hastes, filmes, fibras, folhas e formatos de todos os tipos. A máquina de extrusão também é usada para a produção de formas brutas, como *pellets* e para a recuperação de resíduo. No processo de extrusão, a resina termoplástica é alimentada em um cilindro aquecido e o plástico derretido é forçado através de uma abertura em uma matriz para formar formas contínuas. Após sair da matriz, a peça extrudada deve ser resfriada abaixo de sua temperatura de transição vítrea para garantir estabilidade. O resfriamento é geralmente feito com um sistema de jato de ar ou água. O material extrudado pode ser cortado em grânulos com uma faca rotativa ou enrolado em bobinas.

Outras técnicas de processamento importantes para termoplásticos são a moldagem por sopro e a termoformagem. O sopro é um processo descontínuo, adequado para a obtenção de peças ocas. Na moldagem por sopro, um cilindro ou tubo de plástico aquecido é colocado entre as extremidades de um molde. O molde é fechado e ar comprimido é injetado, forçando o plástico contra as paredes do molde. Por esse processo podem ser feitos, por exemplo, frascos para usos diversificados, garrafas plásticas e brinquedos volumosos. Na termoformagem, uma folha de plástico aquecida é forçada nos contornos de um molde por pressão. A pressão mecânica pode ser usada com matrizes coincidentes ou um vácuo pode ser usado para puxar a folha aquecida em direção a uma matriz (SMITH et al., 2019).

Um método especial de fabricação de filme de PP é denominado polipropileno biorientado (ou BOPP). Na fabricação destes filmes, após extrudado, o material passa por um conjunto de cilindros e rolos para reduzir e controlar a espessura do filme. O filme é tipicamente esticado sequencialmente em direções ortogonais e transversais, enquanto a folha de polímero é mantida abaixo da temperatura de fusão (normalmente entre cerca de 120 °C e 160 °C). O alongamento orienta as cadeias poliméricas e, após o resfriamento, resulta em um filme com

propriedades aprimoradas, como maior resistência à tração, clareza excepcional e reduzida permeabilidade à umidade. O BOPP é particularmente importante na produção de filmes de alta clareza para embalagens e são amplamente utilizados em embalagens de produtos alimentícios, pois oferecem barreira a gases e boa resistência à ruptura e perfuração.

Os métodos de fabricação escolhidos variam para cada categoria de aplicação. Por exemplo, as aplicações de embalagem geralmente envolvem extrusão. Eletrodomésticos e peças automotivas são normalmente produzidos por moldagem por injeção. As propriedades mais adequadas para o polipropileno são diferentes em cada técnica. É complexa a relação entre o método de processamento e as propriedades ideais do polímero, o que muitas vezes envolve o equilíbrio entre custo e facilidade com as propriedades mecânicas necessárias para a aplicação. Para o processamento do polímero, o índice de fluidez é um determinante importante. É um indicador da facilidade com que o polímero fundido fluirá durante o processo de moldagem. Em geral, para aplicações de moldagem por injeção, é preferível usar polipropileno com alto índice de fluidez. Isso garante excelente fluxo de polipropileno fundido e enchimento eficiente de moldes. Da mesma forma, para aplicações de extrusão de filme, o polipropileno com índice de fluidez mais baixo geralmente fornece propriedades mais desejáveis.

De forma geral, o polipropileno vem ao longo do tempo substituindo o vidro, metal e plásticos de engenharia, como ABS, policarbonato, poliestireno e nylon em muitas aplicações. O PP ainda pode competir com outros termoplásticos, como polietileno e PVC, e pode substituir o PET em embalagens rígidas. As razões incluem menor custo e melhor desempenho. Os produtos feitos de polipropileno são frequentemente mais duráveis e pesam significativamente menos, enquanto retêm ou mesmo melhoram a resistência. A faixa de fusão relativamente alta possibilita que ele também seja usado em dispositivos médicos que requerem esterilização em temperaturas elevadas (MALPASS e BAND, 2012).

Muitos *grades* disponíveis com propriedades diferentes tornam o polipropileno útil em aplicações como fibras, filmes, filamentos e peças moldadas por injeção para automóveis, embalagens rígidas, eletrodomésticos, equipamentos médicos, embalagens de alimentos e produtos de consumo (MAIER e CALAFUT, 1998). No setor automobilístico, os copolímeros de polipropileno de alto impacto substituíram a borracha dura na caixa de bateria. É amplamente utilizado no interior e exterior do automóvel como em para-choques, painéis e espelhos retrovisores. No mercado de embalagens flexíveis, os filmes de polipropileno são usados em uma variedade de aplicações devido ao seu brilho e boa rigidez. Em embalagens plásticas rígidas, é usado para tampas de rosca, caixas e potes. Além disso, o homopolímero de polipropileno é usado extensivamente para forro de móveis. As fibras são outra aplicação importante para o polipropileno, principalmente em carpetes, devido ao seu baixo custo e resistência ao desgaste. As fibras preparadas com polipropileno são utilizadas tanto em tecidos quanto em nãotecidos, para a produção de filtros, absorventes, fraldas e máscaras descartáveis (HARPER, 2000).

3 Análise do Mercado Mundial de Polipropileno

A seguir é apresentada a análise de mercado mundial de polipropileno, incluindo a cadeia de suprimentos do polímero, a precificação, o efeito do gás de xisto, a demanda e oferta e o comércio internacional.

3.1 A cadeia de suprimentos do Polipropileno

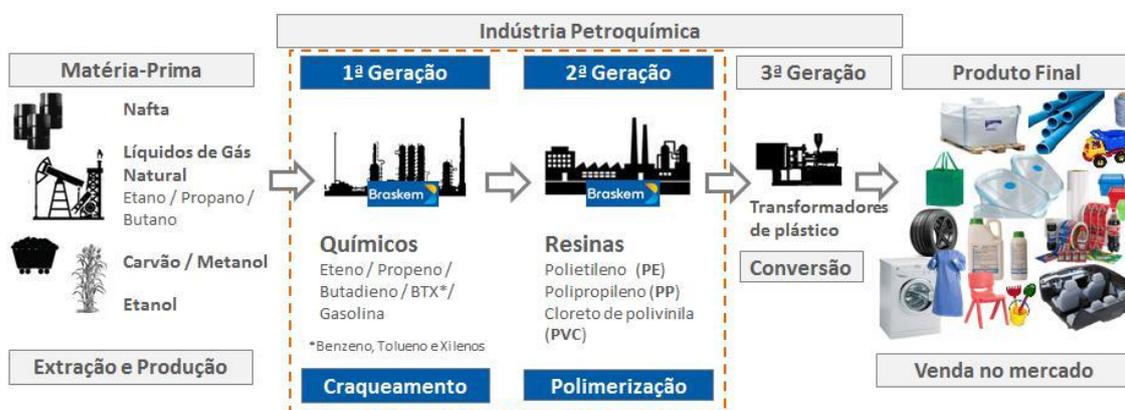
A Indústria Petroquímica tem sua base nas matérias-primas obtidas da indústria de energia e a cadeia de suprimentos da maior parte do polipropileno produzido começa com a extração do petróleo. O petróleo bruto é então refinado em uma variedade de produtos, incluindo o propeno, o monômero chave para a indústria de polipropileno (BRASKEM, 2018).

No entanto, a abundância natural de propeno (e olefinas em geral) no petróleo bruto é baixa. Desta forma, as olefinas sintetizadas a partir do petróleo são frequentemente obtidas na indústria petroquímica por uma técnica chamada craqueamento (também conhecida como pirólise). O craqueamento converte hidrocarbonetos de alta massa molar, como nafta e líquidos de gás natural, em moléculas menores, como as olefinas (MALPASS e BAND, 2012).

O propeno é produzido principalmente por *crackers* de etileno, sendo um coproduto do craqueamento a vapor. A quantidade produzida depende da natureza da matéria-prima. Se a matéria-prima é leve como o etano, então menos propileno é produzido, mas quando a matéria-prima se torna mais pesada como propano, butano e nafta, a quantidade de coprodução de propileno é maior (PLASTICS INSIGHT, 2017). Outra técnica de produção de propeno que ganhou importância nos últimos anos, especialmente nos Estados Unidos com o desenvolvimento da indústria do gás de xisto, é a desidrogenação do propano, importante componente do gás liquefeito de petróleo (GLP) (MALPASS e BAND, 2012).

O propeno, junto com o eteno, são os químicos de base mais importantes para a cadeia petroquímica. Estes petroquímicos básicos são então polimerizados em resinas termoplásticas que são vendidas para transformadores, que as convertem em produto para venda no mercado (BRASKEM, 2018). A Figura 7 mostra a representação esquemática da cadeia de suprimentos da indústria petroquímica.

Figura 7: Representação esquemática da cadeia de suprimentos da indústria petroquímica



Fonte: (Braskem, 2018)

3.2 Precificação

Diferente de outras *commodities*, como petróleo e nafta, o polipropileno não é amplamente negociado em bolsa de valores, com exceção para a Bolsa de Commodities de Dalian, na China. Desta forma, existem várias consultorias de inteligência de mercado especializadas em avaliar os preços do PP em diversas regiões. Como exemplo, e que são utilizadas como fonte deste estudo tem-se: IHS Markit, ICIS (*Independent Commodity Intelligence Services*) e S&P Global Platts.

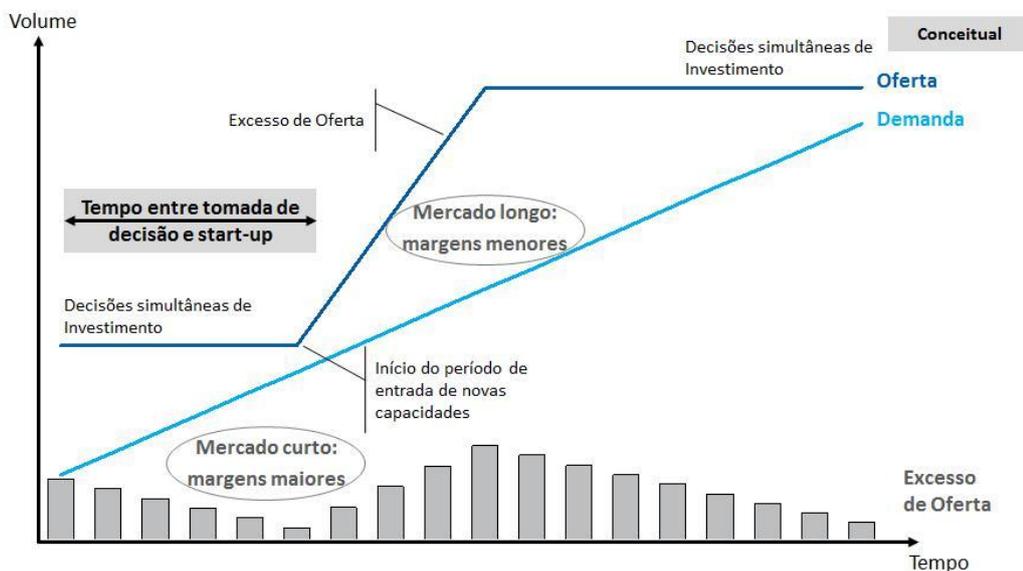
A unidade de referência internacional para os preços do polímero é dólar por tonelada, apesar de se utilizar a moeda local para os mercados domésticos. Uma particularidade dos Estados Unidos é que os preços locais são geralmente negociados em centavos de dólar por libra.

De forma simplificada, o preço do polipropileno pode ser representado pelo custo do propeno, mais um custo de polimerização e a margem do produtor (BRASKEM, 2018). Como o propeno é obtido majoritariamente como coproduto do craqueamento a vapor, seu preço está suscetível à precificação da indústria petroquímica como um todo. Se no *cracker* de etileno utiliza-se etano como matéria-prima, então pouco propeno é produzido. Agora, se a matéria-prima é mais pesada como propano, butano ou nafta, então a coprodução de propeno é bem maior (PLASTICS INSIGHT, 2017).

Via de regra, a precificação dos petroquímicos é influenciada tanto dos custos à montante quanto da demanda à jusante. E quanto mais sobe-se, ou volta-se, na cadeia de valor, maior a influência do mercado energético. Ou seja, os preços do polipropileno são diretamente relacionados com os preços do propeno e indiretamente impactados por flutuações dos preços da nafta, do barril de petróleo e do gás natural.

Deixando a parte de custo de lado e focando na parcela da margem do produtor, é imprescindível considerar as relações circunstanciais e estruturais de oferta e demanda. Como o que acontece com as *commodities* em geral, os investimentos em novas capacidades na Indústria Petroquímica não seguem de forma linear a demanda (que tende a seguir o crescimento das economias), ocasionando momentos estruturais cíclicos de excesso de oferta, e por consequência maior competição entre os produtores e margens menores (MOORE, 1996). De forma geral, as decisões de investimento ocorrem de forma simultânea em momentos de maior atratividade no mercado, com uma demanda crescendo mais que a oferta e os fabricantes tirando o proveito de margens maiores. Porém, no *start-up* destes investimentos, volta a ocorrer um excesso de oferta e queda nas margens, até a demanda crescer de forma significativa novamente, rebalancear o mercado e o ciclo se repetir (BRASKEM, 2018). Uma representação conceitual destes ciclos pode ser vista na Figura 8.

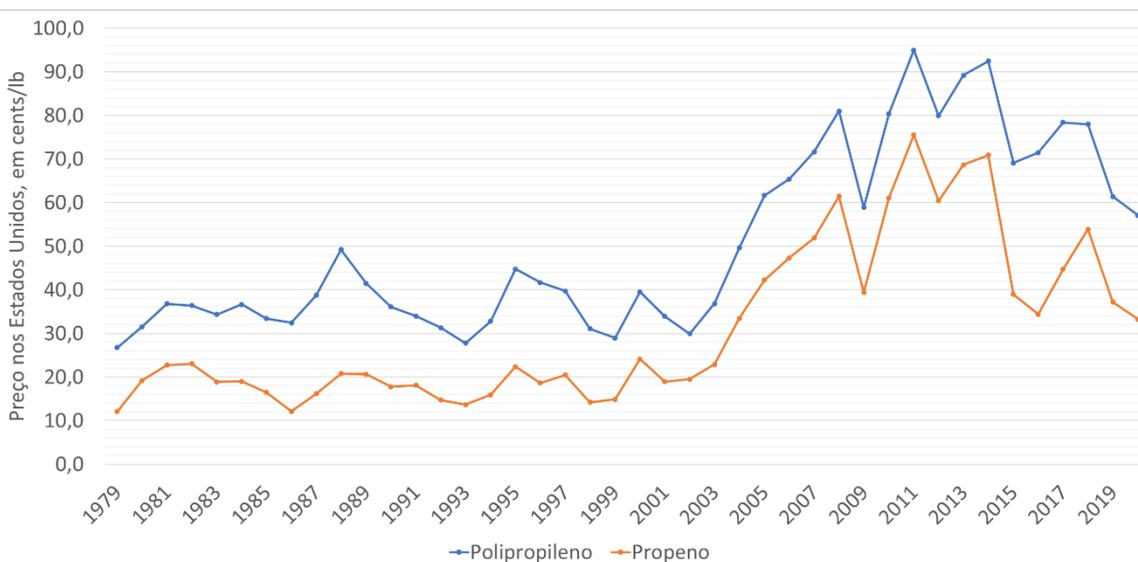
Figura 8: Representação conceitual do balanço entre oferta e demanda em mercados cíclicos



Fonte: (Braskem, 2018)

A Figura 9 mostra um gráfico de evolução dos preços do polipropileno e sua matéria-prima ao longo dos últimos 40 anos. Nesta Figura, é nítida a correlação histórica entre a resina e o monômero. Também é possível visualizar o caráter cíclico do mercado, com momentos de altas e baixas nos preços.

Figura 9: Histórico de preços dos últimos 40 anos do polipropileno e do propeno no mercado americano, em centavos de dólar por libra



Fonte: Extraído e adaptado de (Chemical Data, 2021)

3.3 Efeito do gás de xisto

Não se pode falar do mercado de polipropileno sem contextualizar os efeitos que a revolução do gás de xisto nos Estados Unidos tem causado na indústria petroquímica global. O aumento da produção de gás natural a partir do xisto mudou o cenário competitivo para os plásticos americanos. Uma vez que os produtores norte-americanos usam predominantemente matérias-primas à base de gás natural, e os produtores europeus e asiáticos geralmente usam matérias-primas à base de petróleo, a diferença entre os preços das matérias-primas é fundamental para compreender a competitividade dos produtos petroquímicos e plásticos em diferentes regiões.

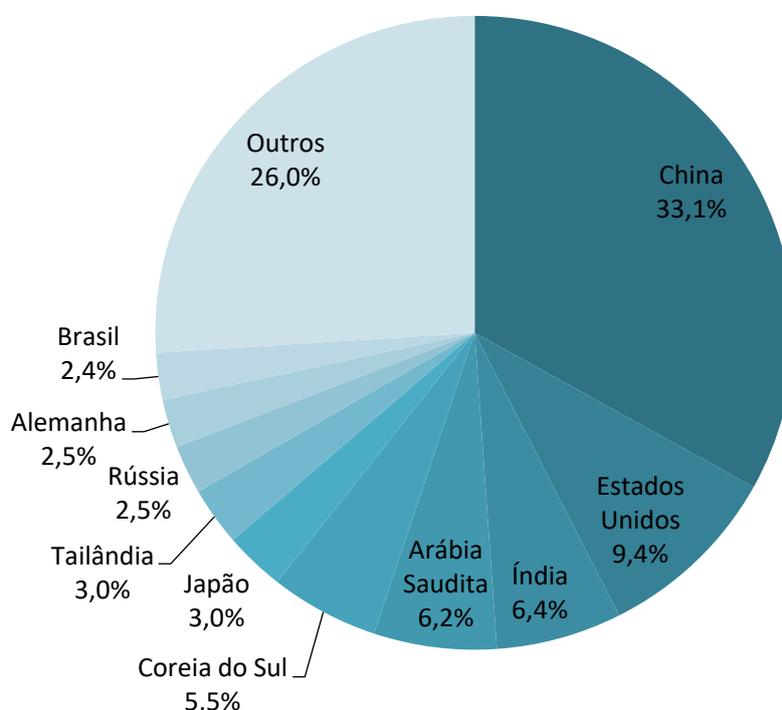
O desenvolvimento desta indústria permitiu aos Estados Unidos fazer uma transição de uma época de gás natural relativamente escasso para uma época de abundância. O advento do gás de xisto e do óleo de xisto levou a um aumento na produção de etano, propano e outros líquidos de gás natural (NGLs). E a indústria de plásticos, em particular, se aproveitou disso à medida que o país se tornou um produtor de propeno e etileno de baixo custo.

Uma década atrás, os Estados Unidos estavam entre os produtores de custo mais alto e agora é um dos produtores de custo mais baixo globalmente. Como resultado, houve uma enxurrada de novos investimentos na capacidade de plásticos do país anunciados desde 2010 (SWIFT et al., 2015). Hoje, os Estados Unidos são um exportador líquido de polietileno e tem potencial para se tornar também um importante exportador de polipropileno nos próximos anos. A nova planta da Braskem inaugurada no fim de 2020 é um marco e encerrou um período de mais de 10 anos sem novas capacidades de PP no país (ICIS, 2020a). A planta, chamada de Delta, tem capacidade de produção de 450 mil toneladas/ano e parte de sua produção será exportada, um símbolo do novo cenário de competitividade internacional do polipropileno americano (S&P GLOBAL PLATTS, 2020).

3.4 Demanda e Oferta

A Figura 10, mostra, em termos percentuais, os maiores produtores mundiais de polipropileno. A produção global de polipropileno em 2020 foi de cerca de 82,9 milhões de toneladas. A China que é o principal produtor mundial do polímero produziu cerca de 27,4 milhões de toneladas, com uma participação de aproximadamente 33,1 % na produção global. Na sequência aparecem Estados Unidos com 7,8 milhões de toneladas, Índia com 5,3 milhões de toneladas e Arábia Saudita com 5,2 milhões de toneladas. O Brasil está apenas na décima posição com 2 milhões de toneladas e aproximadamente 2,4 % da produção mundial de PP (POLYGLOBE, 2021).

Figura 10: Maiores produtores de polipropileno, em porcentagem

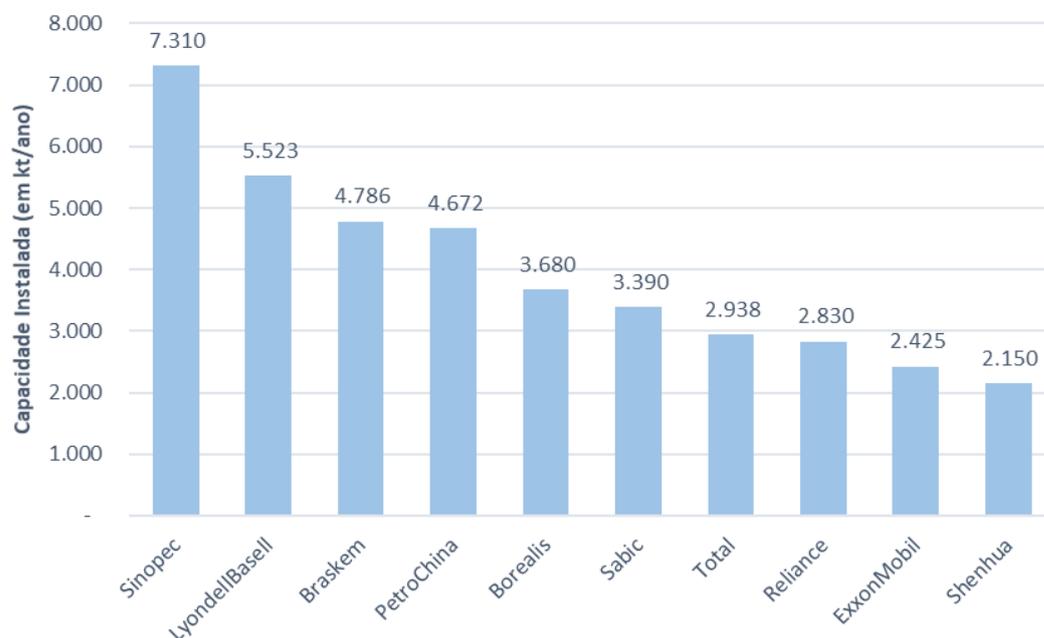


Fonte: Extraído e adaptado de (Polyglobe, 2021)

Pelo menos 35,9 milhões de toneladas de capacidade estão previstas para serem instaladas até 2024, representando um aumento de 40,1 % comparado à 2020. Os projetos em andamento estão concentrados nas áreas de maior crescimento da demanda. Se por um lado a região da Ásia responde por mais da metade dos investimentos, praticamente não estão previstas novas capacidades no mercado já consolidado da Europa. Vale destacar o número expressivo de projetos na China, Índia e em países do Sudeste Asiático, estas duas últimas regiões apresentando um crescimento aproximado de 60 % em capacidade instalada nos próximos quatro anos.

A produção de polipropileno é dominada por poucos produtores no mundo, sendo que os 20 maiores respondem por cerca de 60 % da produção global. A chinesa Sinopec é a maior fabricante mundial da resina, com uma capacidade instalada de 7,3 milhões de toneladas por ano. A segundo maior fabricante é a holandesa LyondellBasell com 5,5 milhões de toneladas por ano, seguida pela multinacional brasileira Braskem, com 4,8 milhões de toneladas e expressivos 5,3 % da capacidade instalada mundial (POLYGLOBE, 2021). O grupo holandês chegou a iniciar negociações para comprar o controle da petroquímica brasileira em 2019, mas acabou desistindo do negócio frente à incertezas jurídicas devido ao afundamento de bairros de Maceió causado pela extração de sal-gema da Braskem na região (BRAZIL JOURNAL, 2019). A Figura 11 mostra as maiores fabricantes mundiais de polipropileno, por capacidade instalada, em milhares de toneladas por ano.

Figura 11: Maiores fabricantes de polipropileno, por capacidade instalada, em milhares de toneladas por ano



Fonte: Extraído e adaptado de (Polyglobe, 2021)

Para falar sobre projeção de consumo, é necessário contextualizar sobre a tendência de crescimento populacional e do PIB Mundial, grandes direcionadores da demanda de PP e de plásticos em geral. Nos próximos 30 anos, a população mundial se aproximará dos 10 bilhões, o que representa um aumento de mais de 25 %, acrescentando mais de 2,5 bilhões de pessoas, principalmente na Ásia e na África. Ao mesmo tempo, à medida que as pessoas em todo o mundo continuam a trabalhar para melhorar seu padrão de vida, a demanda por alimentos, transporte, infraestrutura e bens de consumo aumentará. O crescimento populacional e as melhorias nos padrões de vida irão alimentar a demanda por todos os tipos de materiais, como madeira, papel, aço, alumínio, concreto, vidro e plástico.

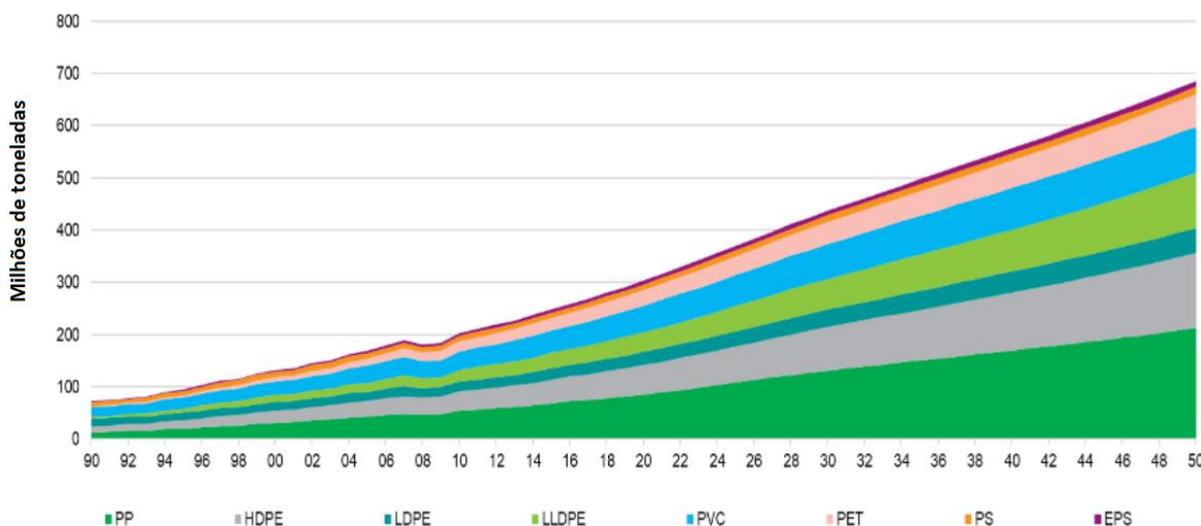
Um dos principais impulsionadores do crescimento do plástico no futuro será o número crescente de famílias mudando de uma categoria de renda baixa para uma de renda média, especialmente em regiões em desenvolvimento como Índia, Sudeste Asiático e África. Até o ano de 2030, o mundo adicionará mais de 400 milhões de famílias à classe média. À medida que a renda familiar aumenta, há um maior consumo de bens duráveis e não duráveis, o que impulsiona a demanda por plástico em uma variedade de segmentos de uso final.

No ano de 2000, 48 % da população vivia em cidades ou ambientes urbanos. É esperado que este número salte para 68 % da população mundial até 2050, o que deve impactar em um crescimento da demanda por plásticos. A migração da vida rural para um ambiente urbano resulta na necessidade de materiais plásticos para uma vasta gama de aplicações. Esta megatendência deve ser puxada principalmente pela China e Índia.

Espera-se que a demanda global de plásticos aumente de 280 milhões de toneladas em 2018 para 437 milhões de toneladas até 2030, representando um crescimento anual médio de 3,5 %. O crescimento da demanda deve moderar para 2,1 % de 2030 a 2050, mas ainda

adicionando outros 200 milhões de toneladas de demanda, chegando a 686 milhões de toneladas em 2050 (IHS MARKIT, 2019). A Figura 12 mostra a projeção da demanda mundial de plásticos até 2050, em milhões de toneladas.

Figura 12: Projeção da demanda de plásticos até 2050, em milhões de toneladas

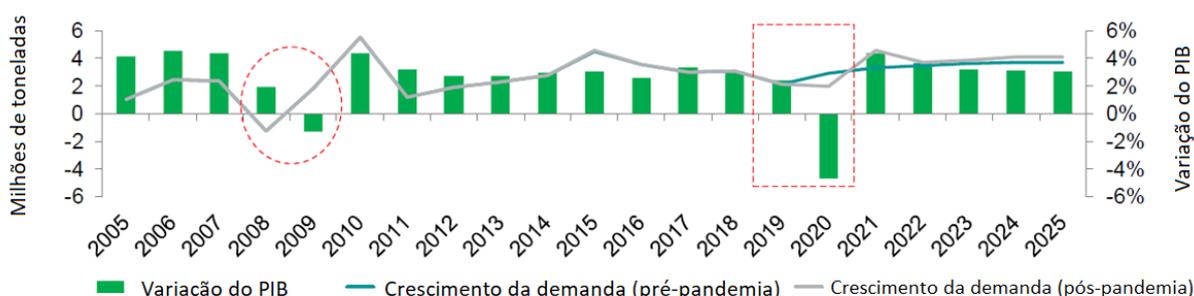


Fonte: Adaptado de (IHS Markit, 2019)

As poliolefinas representam atualmente a maior participação com aproximadamente 67% em 2018, sendo 28 % de participação do polipropileno. O crescimento da demanda resultará em uma participação ainda maior, de 67 % em 2018 para 74 % em 2050 (IHS MARKIT, 2019).

Apesar da desaceleração da demanda global resultante da crise financeira de 2008 e da pandemia em 2020, o crescimento do polipropileno continua a superar o PIB mundial, com a demanda global sendo alimentada pela demanda especialmente alta da China e suas indústrias orientadas para a exportação. Esta resiliência demonstrada em épocas de crise é reflexo das propriedades altamente desejáveis que o tornam o material escolhido para uma abundância de aplicações (IHS MARKIT, 2021c). A Figura 13 mostra a comparação entre a variação do PIB mundial (em porcentagem) e o crescimento da demanda de polipropileno (em milhões de toneladas).

Figura 13: Comparação entre a variação do PIB mundial (em porcentagem) e o crescimento da demanda de polipropileno (em milhões de toneladas)



Fonte: Adaptado de (IHS Markit, 2021a)

Os atributos do polipropileno garantem que ele continuará sendo uma parte importante do futuro dos termoplásticos. O PP tem historicamente crescido mais de 7 % ao ano em longos períodos e espera-se que continue crescendo acima do PIB. Estimativas recentes preveem que o mercado global de polipropileno crescerá entre 4 % e 5 % ao ano nos próximos anos (IHS MARKIT, 2019).

3.5 Comércio Internacional

Em 2019, o polipropileno foi o 101º produto mais comercializado mundialmente, com um total de US\$ 25,3 bilhões, representando 0,14 % do comércio mundial. A resina é uma importante *commodity* e na forma de *pellets* é facilmente transportável em containers por meio de uma cadeia de suprimentos altamente eficiente que facilita a exportação do produto de locais de produção de baixo custo, como o Oriente Médio, para as áreas de maior demanda, como o Sudeste Asiático. Apenas a Arábia Saudita e a China são responsáveis por mais de um terço do comércio internacional de polipropileno.

No ano de 2019, os principais exportadores de PP foram Arábia Saudita (US\$ 5,33 bilhões), Coreia do Sul (US\$ 2,21 bilhões), Bélgica (US\$ 1,59 bilhões), Estados Unidos (US\$ 1,5 bilhões) e Alemanha (US\$ 1,5 bilhões). O Brasil aparece apenas na 22ª posição com US\$ 303 milhões exportados, sendo que os principais destinos foram Argentina, Peru e Estados Unidos.

Os principais importadores no ano de 2019 foram China (US\$ 3,3 bilhões), Turquia (US\$ 2,11 bilhões), Alemanha (US\$ 1,23 bilhões), Itália (US\$ 1,23 bilhões) e Vietnã (US\$ 1,19 bilhões). O Brasil aparece apenas na 24ª posição com US\$ 361 milhões importados, possivelmente em decorrência das elevadas tarifas de importação (13,5 %), que perdem somente para Bahamas (40,2 %), Bermudas (25 %) e Maldivas (19,6 %) (The Observatory of Economic Complexity (OEC), 2021). A Tabela 2 mostra o *ranking* dos países exportadores de polipropileno, em 2019, e a Tabela 3 mostra o *ranking* dos países importadores de PP no mesmo ano.

Tabela 2: *Ranking* dos países exportadores de polipropileno, em 2019

Exportações de Polipropileno em 2019			
#	País	Valor (em US\$ milhões)	Porcentagem(%)
1	Arábia Saudita	5.329,5	21,1%
2	Coreia do Sul	2.208,9	8,7%
3	Bélgica	1.588,1	6,3%
4	Estados Unidos	1.503,0	5,9%
5	Alemanha	1.499,9	5,9%
6	Singapura	1.027,8	4,1%
7	Emirados Árabes Unidos	960,1	3,8%
8	Tailândia	787,6	3,1%
9	França	727,9	2,9%
10	Espanha	601,1	2,4%
11	Malásia	589,2	2,3%
12	Índia	586,6	2,3%
13	Itália	552,0	2,2%
14	Holanda	501,2	2,0%
15	Taiwan	472,0	1,9%
16	China	455,8	1,8%
17	Egito	396,4	1,6%
18	África do Sul	396,2	1,6%
19	Japão	345,5	1,4%
20	Rússia	327,5	1,3%

Fonte: Extraído e adaptado de (The Observatory of Economic Complexity (OEC), 2021)

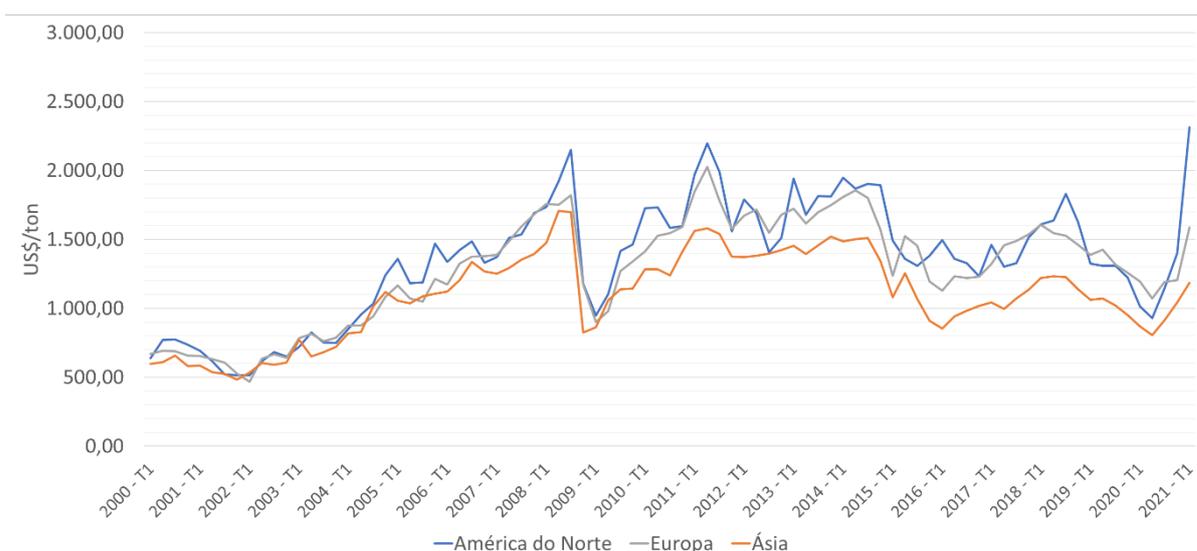
Tabela 3: Ranking dos países importadores de polipropileno, em 2019

Importações de Polipropileno em 2019		
# País	Valor (em US\$ milhões)	Porcentagem(%)
1 China	3.302,9	13,1%
2 Turquia	2.109,6	8,3%
3 Alemanha	1.233,6	4,9%
4 Itália	1.228,7	4,9%
5 Vietnã	1.193,3	4,7%
6 Indonésia	907,1	3,6%
7 México	828,8	3,3%
8 Bélgica	782,1	3,1%
9 Índia	751,2	3,0%
10 Polônia	699,6	2,8%
11 Malásia	577,5	2,3%
12 França	541,7	2,1%
13 Egito	511,9	2,0%
14 Paquistão	464,7	1,8%
15 República Checa	451,7	1,8%
16 Singapura	417,0	1,6%
17 Canadá	405,3	1,6%
18 Estados Unidos	404,5	1,6%
19 Holanda	395,8	1,6%
20 Reino Unido	395,6	1,6%

Fonte: Extraído e adaptado de (The Observatory of Economic Complexity (OEC), 2021)

Devido a facilidade de transporte do polipropileno em *pellets*, a disparidade entre preços em diferentes regiões abre uma janela de oportunidade para o comércio internacional. Desta forma, flutuações de preços em uma região podem e tendem a influenciar outros mercados. É possível visualizar na Figura 14 como a cotação da *commodity* tende a variar de forma conjunta em diferentes localidades.

Figura 14: Histórico de preços dos últimos 20 anos do polipropileno em diferentes regiões, em dólares por tonelada



Fonte: Extraído e adaptado de (IHS Markit, 2021b)

Os preços no mercado doméstico dos Estados Unidos atingiram a máxima histórica em fevereiro de 2021, passando dos 2,5 mil dólares por tonelada. O aumento nos preços se deu principalmente por consequência aos impactos da tempestade de neve ocorrida no Texas

naquele mês. Pelo menos 80 % da produção norte-americana de polipropileno foi temporariamente interrompida pela onda de frio, ao mesmo tempo em que a demanda pela resina estava forte, seguindo a rápida recuperação pós-pandemia do setor de manufatura dos Estados Unidos.

4 Presente e Futuro do Polipropileno

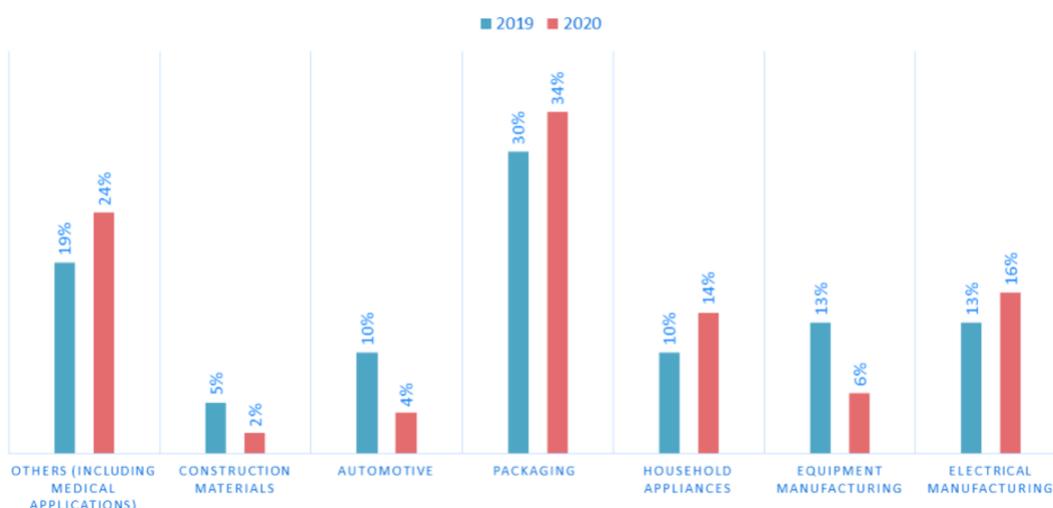
O mercado presente e futuro do polipropileno está sendo afetado pela pandemia da Covid-19 e pelos desafios sustentáveis das economias mundiais.

4.1 Efeitos e Consequências da COVID-19

O ano de 2020 foi definitivamente um ano atípico com milhões de mortes, aeroportos fechados e *lockdowns* em países inteiros. A pandemia resultou em grandes interrupções logísticas em todo o mundo e uma desaceleração da economia global. Apesar disso, a demanda por polipropileno demonstrou resiliência. No início de 2020, era esperado que o consumo de PP fosse severamente afetado pelo COVID-19, enquanto isso se manteve no segundo trimestre, a situação melhorou no segundo semestre (IHS MARKIT, 2021c).

O aumento na demanda por aplicações médicas como máscaras descartáveis e aventais hospitalares, forneceu um grande suporte ao consumo de polipropileno. O mesmo ocorreu com uma melhora na demanda por embalagens de alimentos, pois as pessoas comem mais em casa e menos nos restaurantes. A demanda por eletrodomésticos e eletrônicos também aumentou à medida que a classe média gastava mais dinheiro em bens duráveis durante a quarentena. Por um outro lado, o consumo em automóveis, construção civil e fabricação de equipamentos industriais diminuiu de forma significativa. Na Figura 15, é possível visualizar o impacto da pandemia na demanda por PP de acordo com o setor (ICIS, 2021).

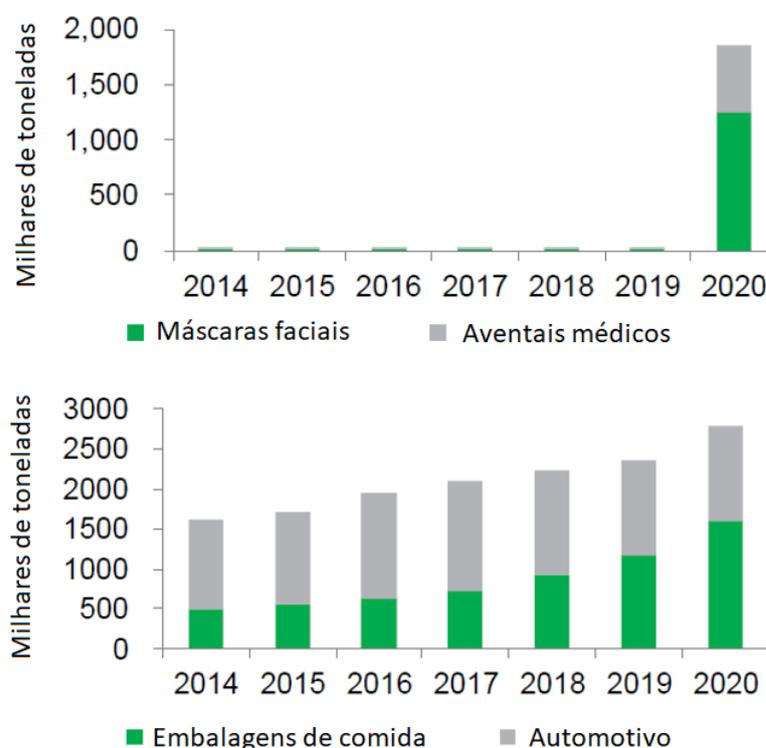
Figura 15: Alterações na demanda global de polipropileno em decorrência da pandemia, incluindo aplicações médicas, materiais de construção, automotivo, embalagens, eletrodomésticos, manufatura de equipamentos, manufatura de eletrônicos.



Fonte: (ICIS, 2021)

Entre as principais nações, a China foi o único país que teve um crescimento positivo do PIB em 2020, de cerca de 2,3 % ao ano. O crescimento econômico da China foi apoiado por um controle local da pandemia e uma recuperação mais forte do que o esperado no segundo semestre. Como o país é o maior consumidor e importador global de PP, a demanda pela poliolefina também foi impulsionada. A China fabricava cerca de metade do consumo global de máscaras faciais descartáveis antes do COVID-19. Em decorrência da pandemia, o volume de produção aumentou cerca de 28 vezes em 2020, enquanto as exportações aumentaram 86%, impactando fortemente a demanda por PP. O aumento nas embalagens de alimentos para viagem também foi importante, compensando uma queda no segmento de automóveis conforme pode ser visto na Figura 16 (IHS MARKIT, 2021c).

Figura 16: Evolução da demanda de polipropileno na China e impacto da COVID-19 em diferentes setores, em milhares de toneladas.



Fonte: Adaptado de (IHS Markit, 2021c)

4.2 Sustentabilidade

Finalmente objetivos sustentáveis começaram a aparecer nos planos estratégicos de governo das maiores economias do mundo. Em muitas regiões, especialmente na União Europeia, a legislação está estabelecendo metas agressivas, buscando desenvolver novas tecnologias e incentivar uma economia mais circular. A China é outro exemplo, com planos para controlar a poluição por plásticos e restringir a produção e consumo de produtos plásticos de uso único.

Pressionados por consumidores de um lado, e governos do outro, a indústria petroquímica não deve ficar de fora desta revolução verde. Diversas empresas já anunciaram planos para reduzir emissões e buscar a neutralidade de carbono. Polímeros de base biológica

(biopolímeros) e reciclagem química surgem como meios alternativos, e possuem potencial de tornar a cadeia do plástico mais sustentável (PRICE HANNA CONSULTANTS, 2020).

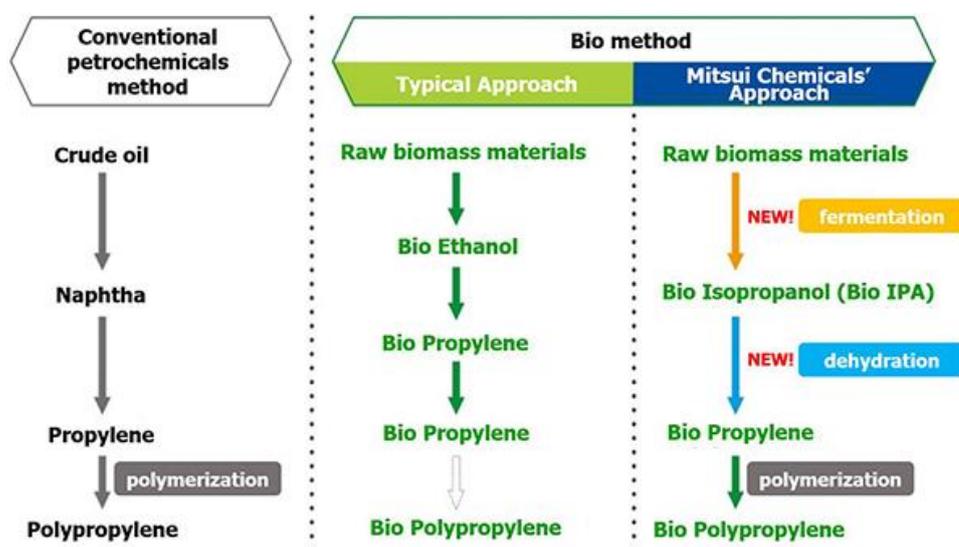
4.2.1 Biopolímeros

Biopolímeros são polímeros termoplásticos produzidos a partir de biomassa, e são considerados alternativas ecológicas aos plásticos derivados do petróleo ou gás natural. A biomassa abrange não apenas as culturas alimentares, como milho, cana-de-açúcar e trigo, mas também os subprodutos das culturas, como o bagaço da cana-de-açúcar e a lignina da madeira. Dois exemplos de biopolímeros sintéticos disponíveis comercialmente são o PLA (poliácido láctico), produzido a partir do milho, e o biopolietileno, fabricado no Brasil pela Braskem a partir da desidratação do etanol da cana-de-açúcar.

Embora já exista tecnologia para produzir PP a partir de base biológica, ela permanece em um estágio inicial principalmente devido a fatores econômicos. Quando comparado aos processos para produzir bio-PE, a obtenção dos precursores do bio-PP requer etapas de reação adicionais que aumentam os custos e a utilização de energia, inviabilizando por ora o desenvolvimento da produção em escala comercial. Os precursores de base biológica do PP incluem 2-buteno, n-butanol, propano derivado de bioglicerol e propileno derivado de isopropanol de base biológica, sendo que esta última rota produtiva está sendo testada pela Mitsui Chemicals.

A Mitsui Chemicals, com sede em Tóquio no Japão, é um grande fornecedor global de polímeros, com mais de uma década de experiência investida no desenvolvimento de alternativas de base biológica. Em 2019, anunciou a realização de testes para produzir bio-PP por meio de isopropanol de base biológica, conforme mostra a Figura 17. Em colaboração com um produtor de arroz e o Ministério do Meio Ambiente do Japão, eles estão no que descrevem como sendo o primeiro teste de demonstração de industrialização de bio-PP do mundo, com planos para avaliar a tecnologia, qualidade, eficiência econômica e impacto no meio ambiente. No entanto, não está prevista a comercialização da produção pelo menos até 2024 (PRICE HANNA CONSULTANTS, 2020).

Figura 17: Rota tecnológica de produção de biopolipropileno proposta pela Mitsui Chemicals



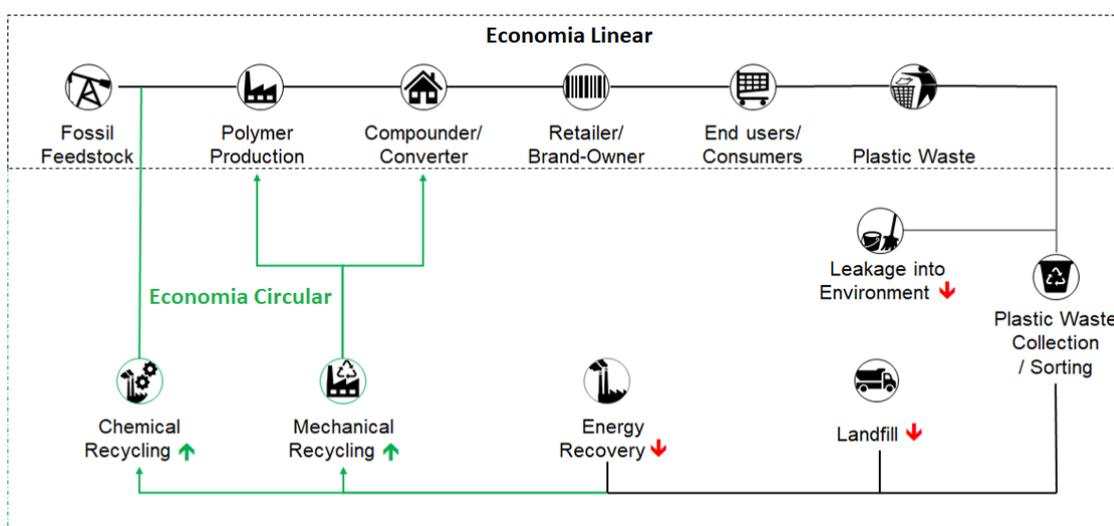
Fonte: (Mitsui Chemicals, 2019)

Iniciativas que contornam esta abordagem e merecem destaque envolvem a Neste. A empresa finlandesa é uma estatal de energia e é atualmente a maior produtora mundial de diesel renovável. As matérias-primas usadas no processo da Neste incluem óleo de cozinha usado, gordura animal e resíduos da indústria de alimentos. Em 2019, a empresa anunciou acordos de colaboração com dois grandes produtores de polipropileno para desenvolver a produção de bioplásticos em escala comercial a partir de fontes renováveis. A petroquímica austríaca Borealis planeja usar propano renovável produzido pela Neste como matéria-prima em sua planta de desidrogenação de propano, para produção de biopolipropileno. A holandesa LyondellBasell irá fabricar bio-PP a partir da nafta renovável da Neste. Estas alternativas são interessantes pois não envolvem grandes investimentos e podem se aproveitar da infraestrutura existente (PRICE HANNA CONSULTANTS, 2020).

4.2.2 Reciclagem Química

A reciclagem química está sendo considerada um divisor de águas, que pode transformar a reciclagem de plásticos e ajudar a estabelecer uma economia circular na indústria petroquímica. No pensamento econômico linear, os hidrocarbonetos são convertidos em soluções para os consumidores e seus resíduos são direcionados para aterro ou incineração. Em contrapartida, a economia circular busca recuperar o máximo dos resíduos pós-consumo e devolvê-los como polímero ou matéria-prima na cadeia de suprimentos. A Figura 18 mostra um comparativo entre a economia linear e uma adaptação para a economia circular na cadeia do plástico.

Figura 18: Comparativo entre a economia linear e uma adaptação para a economia circular na cadeia do plástico



Fonte: Adaptado de (IHS Markit, 2020)

A reciclagem avançada de plásticos, também chamada de reciclagem química, refere-se a várias tecnologias diferentes como pirólise, gaseificação, despolimerização e craqueamento catalítico, que convertem plásticos pós-consumo em monômeros e hidrocarbonetos mais pesados. Ao contrário da reciclagem mecânica, a reciclagem química quebra as ligações

químicas do plástico, produzindo matéria-prima que pode ser repolimerizada para produzir polímeros virgens e formar novos produtos. Ambas as abordagens são complementares. Se por um lado a reciclagem mecânica funciona bem para formas específicas como garrafas e recipientes, a reciclagem química apresenta-se como alternativa para resíduos plásticos de baixa qualidade e embalagens de contato com alimentos (IHS MARKIT, 2020).

A Braskem foi a primeira empresa brasileira a receber a Certificação Internacional de Sustentabilidade e Carbono (ISCC Plus), para a produção de polímeros a partir de matérias-primas alternativas à nafta, como o óleo de pirólise. Esta iniciativa está alinhada com o objetivo da empresa de se tornar carbono neutro até 2050 (BRASKEM, 2021). Também, recentemente, a multinacional anunciou uma parceria com a Encina para desenvolver polipropileno circular. A empresa americana planeja inaugurar em 2023 uma planta de reciclagem química, que irá converter resíduos plásticos através de pirólise catalítica para fornecer matéria-prima às operações de PP da Braskem nos Estados Unidos (ICIS, 2020b).

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Para o polipropileno, 2020 foi um ano de resiliência. Apesar de forte desaceleração da economia global causada pela pandemia do COVID-19, a demanda pela resina cresceu no período. Subitamente, milhões de pessoas passaram a usar máscaras descartáveis e a consumir via tele-entrega diariamente, o que impulsionou o consumo de não tecidos e embalagens de PP. Este aumento de demanda acabou compensando a queda em outros segmentos, como o automotivo.

O futuro do polipropileno continua promissor. É um polímero versátil, disponível a um custo moderado e de fácil moldagem. Devido a suas propriedades atraentes, o PP deve continuar sendo o material de escolha para uma diversidade de aplicações, garantindo seu lugar de protagonista entre os termoplásticos. A população global se aproximando de 10 bilhões de pessoas em 2050, uma classe média crescente e movimentos de urbanização principalmente na Ásia e África, são tendências que devem sustentar a demanda por polipropileno nas próximas décadas, que deve continuar crescendo acima do PIB mundial.

É imprescindível um aumento na oferta mundial de polipropileno nos próximos anos para atender ao crescimento do consumo previsto. A capacidade instalada da resina deve expandir em pelo menos 40 % até 2024 com os projetos em andamento, com destaque para os investimentos na China, Índia e Sudeste Asiático. Todavia, a disponibilidade de propeno a baixo custo e o balanço entre o aumento da oferta e o crescimento da demanda são pontos-chave para definir a lucratividade dos produtores. Uma variação das margens ao longo do tempo é esperada devido ao caráter cíclico do mercado de polipropileno.

Este trabalho pode ser usado como um ponto de partida para futuros estudos. Como sugestão de trabalhos futuros vale citar o acompanhamento da evolução nos próximos anos de novas tecnologias como as de reciclagem química e o desenvolvimento de alternativas biológicas. Outra opção é avaliar quais os impactos das crescentes políticas públicas de restrição ao plástico no futuro do PP. Por fim, uma análise mais aprofundada sobre o monômero propeno é fundamental para compreender o mercado e as perspectivas do mercado de polipropileno na sua plenitude.

REFERÊNCIAS

BRASKEM. **O Setor Petroquímico**. Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/o-setor-petroquimico>>. Acesso em: 10 out. 2020.

BRASKEM. **Braskem recebe certificação internacional para produção de resinas e químicos a partir de matérias-primas circulares**. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-recebe-certificacao-internacional-para-producao-de-resinas-e-quimicos-a-partir-de-materias-primas-circulares>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

BRAZIL JOURNAL. **Lyondell desiste de comprar a Braskem**. Disponível em: <<https://braziljournal.com/exclusivo-lyondell-desiste-de-comprar-a-braskem>>. Acesso em: 6 abr. 2021.

CHEMICAL DATA. **Product Data**. Disponível em: <[https://dashboard.chemicaldata.com/#!/>. Acesso em: 18 mar. 2021.](https://dashboard.chemicaldata.com/#!/)

HARPER, C. A. Modern Plastics Handbook. In: 1ª ed. New York: McGraw-Hill Education, 2000. p. 10–73.

ICIS. **Braskem's plant ends multi-year drought of no new US PP capacity**. Disponível em: <<https://subscriber.icis.com/news/petchem/news-article-00110551884>>. Acesso em: 12 set. 2020a.

ICIS. **Encina eyes '23 start-up for US chem-recycling plant; to supply Braskem**. Disponível em: <<https://subscriber.icis.com/news/petchem/news-article-00110583974>>. Acesso em: 9 dez. 2020b.

ICIS. **Global PP Demand to Remain Resilient in 2021 Even If We Fail to Control the Pandemic**. Disponível em: <<https://www.icis.com/asian-chemical-connections/2021/02/global-pp-demand-to-remain-resilient-in-2021-even-if-we-fail-to-control-the-pandemic/>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

IHS MARKIT. Population Growth and Materials Demand Study. **American Chemistry Council**, 2019.

IHS MARKIT. **Chemical recycling of plastics waste – A new business opportunity in the Arabian Gulf**. Disponível em: <<https://ihsmarkit.com/research-analysis/chemical-recycling-of-plastics-waste.html?ite=990781&ito=1273&itq=04fa3601-1161-4f1f-aac0-3113f2fb45a4&itx%5Bidio%5D=92744471>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

IHS MARKIT. Polypropylene: Near term demand exceeds expectations despite COVID-19. 2021a.

IHS MARKIT. **Chemical Price & Economics**. Disponível em:

<<https://connect.ihsmarket.com/data-browser/buildQuery/Chemical Price AND Economics>>. Acesso em: 20 mar. 2021b.

IHS MARKIT. **Market Focus Issue 24: The silver lining during challenging times**. Disponível em:

<https://connect.ihsmarket.com/Document/Show/phoenix/3858279?connectPath=EmailAlerts&utm_campaign=Immediate 3858279 from phoenix&utm_source=EmailAlerts&utm_medium=email>. Acesso em: 12 jan. 2021c.

LUCCA, E. A. DE. Modelagem e simulação de reatores industriais em fase líquida do tipo loop para polimerização de propileno. **Universidade Estadual de Campinas**, 2007.

MAIER, C.; CALAFUT, T. Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook. In: 1ª ed. Norwich: William Andrew, 1998. p. 3–11.

MALPASS, D. B.; BAND, E. I. Introduction to Industrial Polypropylene. In: 1ª ed. Beverly: Scrivener Publishing, 2012. p. 1–15, 183–198, 235–277.

MITSUI CHEMICALS. **Mitsui Chemicals Group's Bio-Polypropylene Adopted for Project Commissioned by Ministry of the Environment**. Disponível em:

<https://jp.mitsuichemicals.com/en/release/2019/2019_0926.htm>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MONTENEGRO, R. S. P.; ZAPORSKI, J.; RIBEIRO, M. C. M.; et al. A Situação Atual e Futura da Indústria de Polipropileno. **BNDES**, 1996.

MOORE, E. P. Polypropylene Handbook. In: 1ª ed. Cincinnati: Hanser Publishers, 1996. p. 3–9, 257–279.

PLASTICS INSIGHT. **All About Polypropylene (PP): Production, Price, Market & its Properties**. Disponível em: <<https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polypropylene/>>. Acesso em: 10 out. 2020.

POLYGLOBE. **Worldwide polymer producers, plants, capacities**. Disponível em:

<<https://www.polyglobe.net/login.asp>>. Acesso em: 1 abr. 2021.

PRICE HANNA CONSULTANTS. **Plastics Panic and Climate Crisis**, 2020.

S&P GLOBAL PLATTS. **Braskem aims to compete globally with new PP plant: CEO**. Disponível em: <<https://pmc.platts.com/Article.aspx?nl=Polymerscan&id=c60650fc-b61d-43c5-bae9-be8254361a94>>. Acesso em: 12 set. 2020.

SMITH, W. F.; HASHEMI, J.; PRESUEL-MORENO, F. Foundations of Materials Science and Engineering. In: 6ª ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019. p. 488–525.

SWIFT, T. K.; MOORE, M. G.; SANCHEZ, E.; et al. The Rising Competitive Advantage of U.S. Plastics. **American Chemistry Council**, 2015.

THE OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY (OEC). **Polypropylene: Product Trade, Exporters and Importers**. Disponível em:

<<https://oec.world/en/profile/hs92/polypropylene-in-primary-forms>>. Acesso em: 1 abr. 2021.

UNIVATION TECHNOLOGIES. **History of UNIPOL™ Technology**. Disponível em: <<https://www.univation.com/en-us/unipol/polyethylene-technology-history.html>>. Acesso em: 2 abr. 2021.