

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Estefany da Silva Campos Prado



**AVALIAÇÃO DO USO DE PET E PE RECICLADO EM
EMBALAGENS COSMÉTICAS**

RIO DE JANEIRO

2023

Estefany da Silva Campos Prado

AVALIAÇÃO DO USO DE PET E PE RECICLADO EM EMBALAGENS COSMÉTICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Orientador(es): Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

P896a Prado, Estefany da Silva Campos
Avaliação do uso de PET e PE reciclado em
embalagens cosméticas / Estefany da Silva Campos
Prado. -- Rio de Janeiro, 2023.
65 f.

Orientadora: Bettina Susanne Hoffmann.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2023.

1. Plásticos reciclados. 2. Embalagens
cosméticas. 3. Polietileno. 4. Polietileno
Tereftalato. I. Hoffmann, Bettina Susanne, orient.
II. Título.

Estefany da Silva Campos Prado

AVALIAÇÃO DO USO DE PET E PE RECICLADO EM EMBALAGENS COSMÉTICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado em 18 de dezembro de 2023.

Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc., UFRJ.

Carla Reis de Araújo, D.Sc., UFRJ.

Marcelo Mendes Viana, D.Sc., UFRJ.

Rio de Janeiro
2023

Dedico este trabalho ao meu avô, que sempre me ensinou sobre o valor e a importância do conhecimento para se entender o mundo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder uma vida tão bela e pela sustentação, saúde e força nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Gustavo e Juliana, agradeço imensamente por seu amor incondicional, por sempre estarem ao meu lado, por todos seus esforços para me apoiar a correr atrás dos meus sonhos. Vocês são a minha base, sem vocês nada disso seria possível.

A minha irmã Alice, você me faz querer ser cada dia melhor, me faz ser exemplo e me inspira a buscar novos desafios. Quero te mostrar que tudo é possível se você acreditar e sempre dar o seu melhor, até mesmo nas coisas mais simples.

Ao meu companheiro de vida, Kevin por todo amor, carinho, dedicação e paciência durante essa minha trajetória. Você se fez de porto seguro muitas vezes para que pudesse ter forças e resiliência para persistir na busca pelos meus sonhos.

A toda minha família e amigos, por acreditar no meu potencial e por sempre estar presente me incentivando. Agradeço pelos ensinamentos, pelos conselhos, por compartilhar minhas alegrias e tristezas e por último, mas não menos importante, pelos cafezinhos de final de tarde.

Aos meus colegas de faculdade, de trabalho, e professores, que compartilharam experiências e momentos que contribuíram para que chegasse até aqui.

As instituições públicas IFRJ e UFRJ, por terem oferecido um ensino de qualidade e por terem me formado, não somente como profissional, mas também como pessoa. Demonstrando a capacidade de excelência do ensino público no Brasil.

À professora Bettina Susanne Hoffmann, pela orientação nesse trabalho, por compartilhar seus conhecimentos e pela confiança que teve em mim, seu apoio foi fundamental.

*Nada pode te parar se você tiver fé...
Se censurarem suas ideias, tenha coragem
Nunca desista, sempre levante sua voz
Lute forte e sem medidas
Nunca pare de sonhar.*

(Lynda Aguirre Thomas, Letra de No Pares, RBD)

RESUMO

PRADO, Estefany. **Avaliação do uso de PET e PE reciclado em embalagens cosméticas**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Química - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O plástico atualmente é o material mais utilizado para a produção de embalagens. Devido ao seu alto consumo e tendência de crescimento significativo, tem se tornado um desafio para a sociedade, pois impacta diretamente na geração de resíduos sólidos. Estes, se não forem descartados e geridos corretamente, podem acabar tendo destinações inapropriadas, causando grandes impactos ambientais. Considerando que a maioria das embalagens são produzidas a partir de Polietileno Tereftalato (PET) e Polietileno (PE), polímeros com qualificação para reciclagem, este trabalho tem por objetivo identificar como tem sido a utilização destes polímeros reciclados em embalagens cosméticas. Ao contrário do setor agroalimentar, a indústria cosmética não oferece atualmente um quadro de referência ou diretrizes para a análise sistemática das interações do recipiente-conteúdo, principalmente as legislações para materiais reciclados, estão mais relacionadas ao contato com alimentos. Por essa razão algumas empresas do setor tendem a ter dificuldades na troca dos materiais virgens pelos reciclados na tentativa de conciliar o padrão de qualidade no grau que os cosméticos necessitam. Estudos demonstram a existência de tecnologias capazes de produzir embalagens confiáveis e compatíveis com produtos cosméticos, através de processos mais simplificados, além da contínua busca e desenvolvimento por novas soluções cada vez mais sustentáveis, para garantir a segurança do consumidor final. Tendo em vista que a qualidade do material após a reciclagem, depende diretamente da técnica escolhida, atualmente a reciclagem mecânica tem sido mais a empregada, porém por conta da necessidade de produtos de maior qualidade, a reciclagem química e biológica tem sido vastamente investigada para desenvolvimento de um processo que seja sustentável ambiental e viável economicamente. Apesar dos desafios, os players têm se mostrado favoráveis a embalagens de polímeros reciclados, delimitando metas para a substituição do plástico virgem. Sendo assim, se observa o engajamento dos players e a necessidade de políticas de incentivo, para o contínuo crescimento da demanda por embalagens cosméticas recicladas.

Palavras-chave: Plásticos reciclados; Embalagens cosméticas; Polietileno e Polietileno Tereftalato

ABSTRACT

PRADO, Estefany. **Evaluation of the use of post consumer PET and PE in cosmetic packaging**. Rio de Janeiro, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Química - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Plastic is currently the most used material for the production of packaging. Due to its high consumption and significant growth trend, it has become a challenge for society, as it directly impacts the generation of solid waste. These, if not discarded and managed correctly, can end up having inappropriate destinations, causing major environmental impacts. Considering that the majority of packaging is produced from Polyethylene Terephthalate (PET) and Polyethylene (PE), polymers qualified for recycling, this work aims to identify how these recycled polymers were used in cosmetic packaging. Unlike the agri-food sector, the cosmetics industry does not currently offer a framework or guidelines for the systematic analysis of container-content interactions, particularly legislation for recycled materials is more related to food contact. For this reason, some companies in the sector tend to have difficulties in exchanging virgin materials for recycled ones in an attempt to match the quality standard to the level found in cosmetics. Studies demonstrate the existence of technologies capable of producing reliable and compatible packaging for cosmetic products, through more simplified processes, in addition to the continuous search and development for new, increasingly sustainable solutions, to guarantee the safety of the end consumer. Bearing in mind that the quality of the material after recycling depends directly on the chosen technique, currently mechanical recycling has been used more often, however due to the need for higher quality products, chemical and biological recycling has been extensively investigated for the development of a process that is environmentally sustainable and economically viable. Despite the challenges, players have to provide complete packaging made from recycled polymers, setting goals for replacing virgin plastic. Therefore, the engagement of players and the need for incentive policies are observed, for the continuous growth in demand for recycled cosmetic packaging.

Keywords: Recycled plastics; cosmetic packaging; Polyethylene and Polyethylene Terephthalate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Reação de formação do PET	19
Figura 2: Diagrama de blocos de produção do PET.	20
Figura 3: Reação de formação do polietileno.	21
Figura 4: Diagrama de blocos de comparação entre o processo de produção do PE Verde x PE Tradicional	21
Figura 5: Evolução estrutural do polietileno.	22
Figura 6: Ramificações longas PEBD	25
Figura 7: Ramificações longas PEBD.	25
Figura 8: Ciclo de produção do Polietileno Verde (PE Verde).	27
Figura 9: Caminhos de produção do plástico virgem e do plástico pós consumo.	28
Figura 10: Exemplo de moinhos	29
Figura 11: Esquema de separação de polímeros por diferenças de densidade	30
Figura 12: Diagrama de blocos do processo de reciclagem energética.	32
Figura 13: Hidrólise do PET e a função da PETase e MHETase no processo.	33
Figura 14: Modelo de extrusora rosca simples	34
Figura 15: Máquina de molde por injeção.	35
Figura 16: Processo de Sopro.	35
Figura 17: Infográfico destinação dos plásticos.	37
Figura 18: Projeção da demanda global de plásticos de acordo com a origem de produção.	38
Figura 19: Estimativa global de crescimento dos plásticos reciclados nos próximos anos.	39
Figura 20: Volume de resíduo consumido na reciclagem no Brasil.	39
Figura 21: Mercado global de reciclagem de plástico por produto em 2021.	40
Figura 22: Produção no Brasil de resinas reciclada	41
Figura 23: Mercado global de embalagens cosméticas por tipo de material	44
Figura 24: Processos de obtenção de PET grau alimentício.	45
Figura 25: Processo de termofusão.	47
Figura 26: Comparativo de preços entre os polímeros virgens e reciclados.	48
Figura 27: Embalagens de gel de banho produzidas por PEAD reciclado	54
Figura 28: Esmaltes que possuem tampas produzidas a partir de lixeiras plásticas	54

Figura 29: Produtos Albéa produzidos a partir de resinas PCR.	55
Figura 30: Embalagem refil feita de PET reciclado	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características e aplicações de polietilenos de diferentes densidades.....	23
Quadro 2: Polímeros aplicados ao setor de cosméticos.....	42
Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos materiais para embalagens cosméticas	43
Quadro 4: Resultados dos players de produtos cosméticos embalados engajados no Compromisso Global.....	56
Quadro 5: Resultados dos players produtores de embalagens engajados no Compromisso Global.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BHET	Bis-hidroxietiltereftalato
CARG	Taxa de Crescimento Anual Composta
CBPDA	Certificado de Boas Práticas de Distribuição e/ou Armazenagem
DMT	Dimetil tereftalato
EFSA	Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos
EG	Etileno glicol
FDA	Administração de Alimentos e Medicamentos (Estados Unidos)
ISO	Organização Internacional de Normalização
MEG	Mono etileno glicol
MHET	Mono (2-hidroxietil) tereftálico
NBR	Norma Brasileira
PCR	Resina pós-consumo
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PELBD	Polietileno Linear de Baixa Densidade
PET	Polietileno tereftalato
PIF	Arquivo de informações do Produto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTA	Ácido tereftálico
PVC	Policloreto de vinila
RIC	Sistema Internacional de Codificação de Identificação de Resina
RSP	Resíduos sólidos plásticos
SSP	Policondensação no estado sólido
UE	União Europeia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2	HISTÓRICO	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.4	JUSTIFICATIVA	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	POLIETILENO TEREFTALATO	19
2.2	POLIETILENO	21
2.2.1	Polietileno de alta densidade	23
2.2.2	Polietileno de baixa densidade	24
2.2.3	Polietileno linear de baixa densidade	25
2.2.4	Polietileno “verde”	26
2.3	RECICLAGEM	27
2.3.1	Reciclagem Mecânica	28
2.3.2	Reciclagem Química	31
2.3.3	Recuperação Energética	32
2.3.4	Reciclagem Biológica/Orgânica	32
2.4	MÉTODOS DE TRANSFORMAÇÃO DOS POLÍMEROS	34
2.4.1	Extrusão	34
2.4.2	Injeção	34
2.4.3	Sopro e sopro pré-formado	35
3	METODOLOGIA.....	36
4	DESENVOLVIMENTO.....	36
4.1	ANÁLISE DO ATUAL CENÁRIO DOS PLÁSTICOS.....	36
4.2	RELEVÂNCIA DOS POLÍMEROS SELECIONADOS.....	40
4.3	EMBALAGENS NO SETOR DE COSMÉTICOS.....	42
5	RESULTADOS	44
5.1	VIABILIDADE TECNOLÓGICA	44
5.1.1	PET PCR	44
5.1.2	PE PCR	46
5.2	COMPARATIVO DOS MATERIAIS VIRGEM E PÓS-CONSUMO	48
5.3	REGULAMENTAÇÃO	49
5.3.1	Internacionais	49
5.3.2	Brasil	50
5.3.3	Estados Unidos	51

5.3.4 Europa	52
5.4 AVANÇO DA IMPLEMENTAÇÃO DE EMBALAGENS RECICLADAS NO SETOR DE COSMÉTICOS.....	53
6 CONCLUSÕES.....	59
7 REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O plástico desempenha um papel significativo na sociedade de várias maneiras. Apesar dos desafios ambientais que apresentam, sua utilização se tornou muito relevante devido aos benefícios que apresentam como: preservação e proteção de itens de consumo como alimentos, produtos de limpeza, produtos de higiene, cosméticos, entre outros, evitando a deterioração e danos físicos; redução de riscos à saúde, reduzindo as chances de contaminação cruzada; redução de custos, por serem leves e resistentes ao transporte; inovação e design, possibilitando a identificação de marcas nas embalagens; entre outros.

A sociedade está cada vez mais consciente da necessidade de encontrar alternativas sustentáveis às embalagens plásticas e de adotar práticas responsáveis de produção e consumo. Portanto, equilibrar os benefícios das embalagens plásticas com a necessidade de minimizar seu impacto ambiental vem se tornando um desafio de pesquisa e inovação no setor.

1.2 HISTÓRICO

Observando os materiais descobertos pela humanidade, podemos afirmar que o plástico é um material relativamente “novo”. Sua história começa no século XIX e evoluiu rapidamente desde então. As primeiras descobertas dos potenciais materiais plásticos ocorreram através da utilização da borracha para criar objetos moldáveis.

A primeira formulação de plástico foi criada em 1862 pelo britânico Alexander Parkes, conhecida como Parkesina, quando aquecida podia ser moldada e mantinha a forma quando esfriava. Era um material semelhante à celulose, na época se buscava um substituto para a borracha que era considerada matéria-prima de muitos produtos. Por possuir um elevado custo de produção ocasionou no desestímulo dos investidores, porém a utilização do nitrato de celulose foi a inovação da época que revolucionaria a forma de produção de materiais de consumo.

Após esse período houve algumas descobertas importantes como a celuloide, constituída por fibras de algodão e ácidos; a vulcanização da borracha, por Charles Goodyear. Até que a baquelite foi inventada em 1907 por Leo Brekeland, a partir de um equipamento que permitia controlar as condições de temperatura e pressão da reação entre o fenol e o formaldeído. Esta foi a primeira resina termofixo comercializada. Possuía uma variedade de aplicações, desde peças de utensílios domésticos até isolantes elétricos.

Ao longo das próximas décadas, começaram a ser desenvolvidos e comercializados outras resinas termoplásticas que possibilitaram ampliar as formas de aplicação, pois estas resinas podem ser derretidas e moldadas repetidamente, como o polietileno e o policloreto de vinila (PVC). Ocorrendo uma expansão da demanda mundial após a Segunda Guerra Mundial por produtos de consumo, embalagens e materiais de construção, nesse período foram desenvolvidos plásticos como o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polipropileno (PP), que poderiam ser produzidos em larga escala.

Apesar da consolidação destas resinas no mercado, houve avanços significativos no desenvolvimento de “plásticos modernos”, e foram estudados novos processos de produção e maior especificidade para as resinas produzidas, como por exemplo, o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polietileno (PET) e o poliestireno expandido (isopor).

Ao longo dos anos o consumo excessivo de materiais plásticos e o descarte inadequado, iniciaram preocupações crescentes sobre os impactos ambientais causados pela acumulação destes resíduos sólidos. Gerando esforços para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis, como itens biodegradáveis, bioplásticos feitos a partir de fontes renováveis, conscientização social sobre o uso de plásticos descartáveis e busca por soluções de reciclagem mais eficazes.

No geral, a história do plástico é marcada por inovação, avanços tecnológicos e desafios relacionados à sua gestão ambiental. A sociedade continua a explorar maneiras de utilizar os benefícios dos plásticos de maneira mais responsável e sustentável.

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de utilização de resinas recicladas, considerando pré e pós consumo, de Polietileno Tereftalado (PET) e Polietileno (PE) para a produção de embalagens destinadas a cosméticos.

Como objetivos específicos tem se:

- Avaliação da viabilidade tecnológica dos processos de reciclagem existentes;
- Estudar as regulamentações que possuam as especificações necessárias para utilização de reciclados em produtos cosméticos;
- Analisar linhas de pesquisa que busquem inovar a produção de embalagens.
- Análise das tendências de mercado.

1.4 JUSTIFICATIVA

A presença dos plásticos é notável em todos os âmbitos da sociedade, desde o uso na construção civil, embalagens de bebidas, eletrônicos, carros, entre muitos outros. Dados da Abiplast (Associação Brasileira da Indústria do Plástico) estimam que no ano de 2022 houve um consumo aparente de 7,1 milhões de toneladas de plástico no Brasil, sendo 32,8% PE (12,3% PEBDL / 8,0% PEBD / 12,5% PEAD) e 8,5% PET. Por representarem um percentual significativo na produção, é importante que haja alternativas para o resíduo gerado após o consumo.

Além disso, por se tratar de resinas obtidas do petróleo, considerada fonte não-renovável, estudos têm sido guiados a encontrar outros recursos como matéria prima. Considerando este cenário e o aumento crescente de resíduos plásticos que possuem um longo prazo de decomposição, a utilização de resinas recicladas pós-consumo tem se mostrado uma alternativa sustentável e uma via de reduzir o descarte desenfreado e incorreto que causa graves consequências ao meio ambiente.

Dentro desse viés, a indústria de cosméticos tem se mostrado aberta às inovações propostas para implementação de materiais reciclados em suas embalagens. Considerando que há uma grande tendência de aumento do uso e variedade de produtos cosméticos, é necessário que existam opções de materiais adequados para embalagem e transporte, que apresentem vantagens não somente econômicas como também sustentáveis.

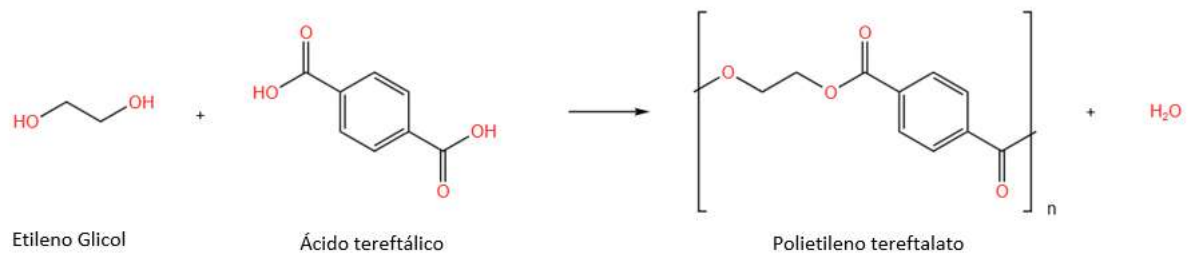
Por essa razão, esse trabalho aborda a comparação entre as resinas que possuem maior índice de consumo, pois é necessário verificar se após o processo de reciclagem, as resinas ainda mantêm as especificações que o mercado de cosméticos exige, considerando principalmente a qualidade do produto e segurança do consumidor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLIETILENO TEREFTALATO

O Polietileno Tereftalato (PET) é um polímero termoplástico da família dos poliésteres, produzido a partir da reação de policondensação entre o ácido tereftálico (PTA) e o etileno glicol (MEG) (Fig. 1), ambos derivados do petróleo bruto (Fig. 2).

Figura 1: Reação de formação do PET



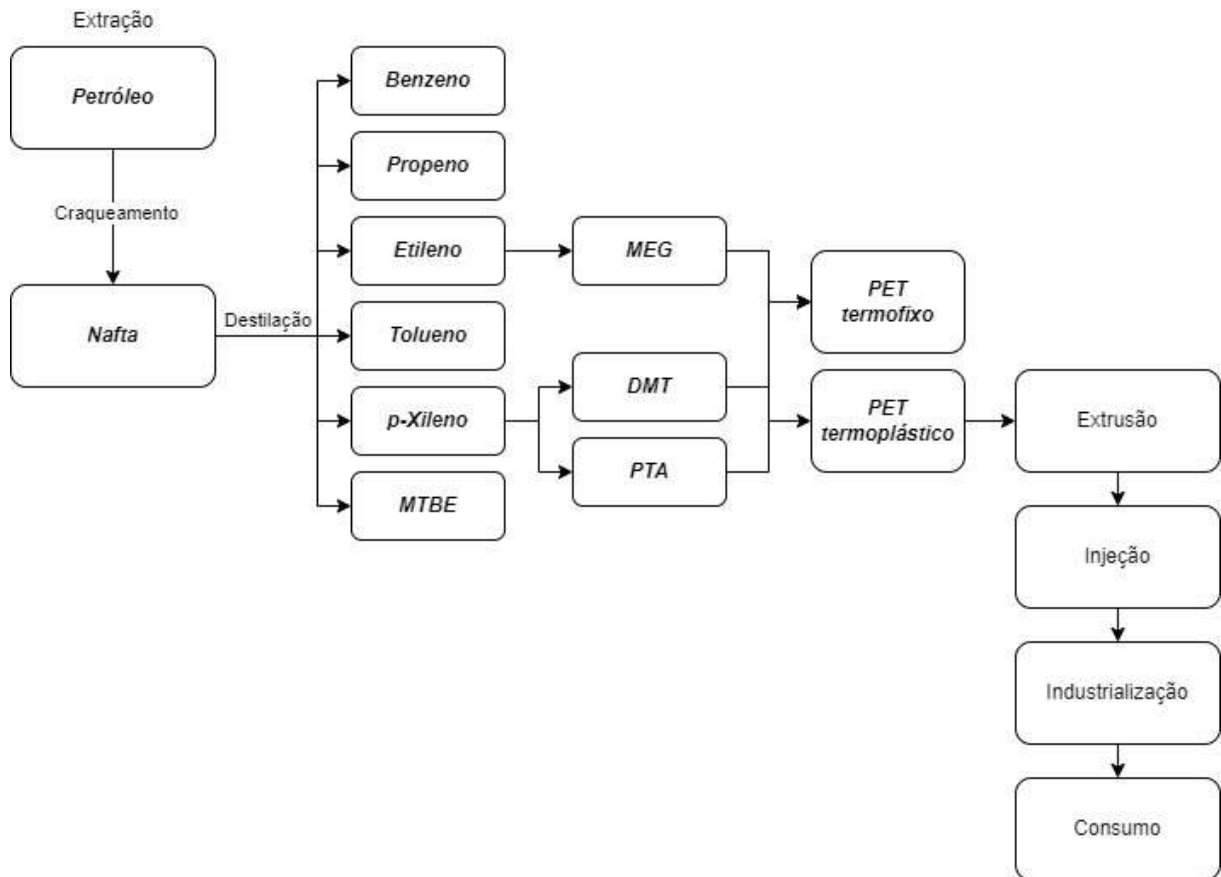
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Em escala industrial sua produção é constituída por duas etapas: pré-polimerização e policondensação.

Na etapa de pré-polimerização, além do ácido tereftálico, o dimetil tereftalato (DMT) também pode ser utilizado como matéria-prima, juntamente ao etileno glicol. Em ambos os casos é exigida alta pureza dos materiais. Por um período, o DMT era a matéria-prima preferida para a fabricação de PET, em parte porque o éster geralmente pode ser feito em forma mais pura do que o ácido. Porém com o desenvolvimento dos processos de fabricação do ácido tereftálico de alta pureza, o ácido livre ganhou aceitação e atualmente é a matéria-prima preferencial, isto porque elimina a necessidade de recuperação do metanol e o mecanismo de esterificação é consideravelmente mais rápido comparado a reação de transesterificação do DMT (JI,2013). O objetivo dessa etapa é a formação de um pré-polímero, bis-hidroxieteraftalato (bis-HET).

A policondensação consiste na polimerização do BHET quando submetido ao calor e ocorre liberação de etileno glicol (EG) e formação do PET. Após é destinado a depender da grade requerida para o PET, seja têxtil ou garrafa, respectivamente por policondensação no estado sólido (SSP) (Fig. 3) sob vácuo ou em atmosfera de gás inerte (BRUINS, 1976).

Figura 2: Diagrama de blocos de produção do PET.



Fonte: Adaptado de VALT, 2004.

Materiais produzidos a partir do PET podem ser facilmente identificados graças ao Sistema Internacional de Codificação de Identificação de Resina (RIC), facilitando a separação dos diferentes tipos de polímeros.



No geral, possui propriedades físicas e mecânicas que permitem versatilidade em sua aplicação. Possui excelente transparência, peso leve, propriedades de barreira elementos, como a gás e água, resistência ao impacto, resistência aos raios UV e resistência à quebra (BENYATHIAR, 2022). Por essa razão é comumente utilizado na produção de recipientes de bebidas, fibras sintéticas, embalagens de alimentos, frascos e potes de cosméticos, farmacêuticos e limpeza. Sendo assim, um dos principais polímeros utilizados atualmente pelo mercado. (NITISCO, 2020)

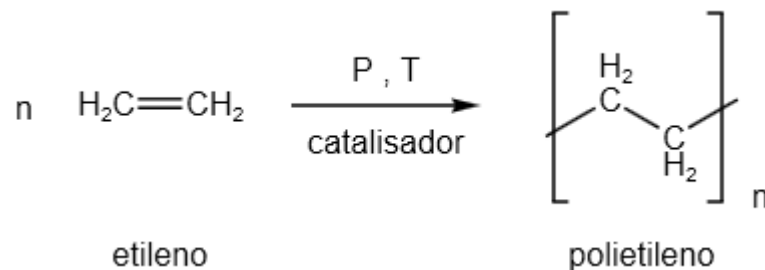
Além disso, é importante destacar que a evolução na tecnologia de reciclagem, permitiu que o PET fosse o primeiro e único termoplástico reciclado a contar com a autorização de órgãos sanitários para ser utilizado em novas embalagens de produtos alimentícios (ABIPET, 2022).

2.2 POLIETILENO

O Polietileno (PE) é o polímero termoplástico atualmente mais consumido globalmente. Por ser um polímero com muita demanda, elevado volume de produção e versatilidade de aplicação, é classificado como um polímero de semi-commodities.

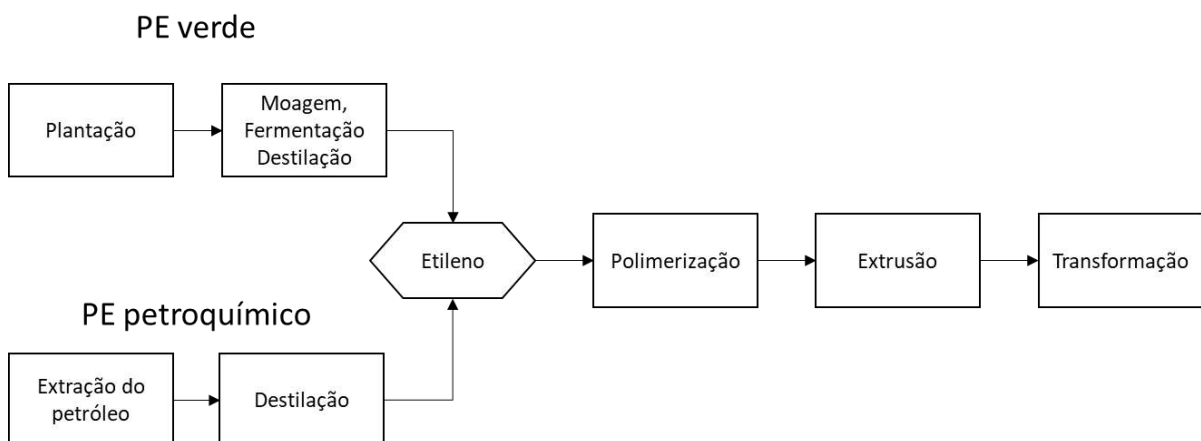
É obtido de forma majoritária, a partir da cadeia petroquímica, sendo produzido a partir da destilação da nafta para obtenção e polimerização do etileno (Fig. 3) (IUPAC: eteno). Outra possível fonte para formação do eteno é a desidratação do etanol, chamado de “polietileno verde”, se diferenciando do tradicional apenas na obtenção da matéria-prima (Fig. 4).

Figura 3: Reação de formação do polietileno.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

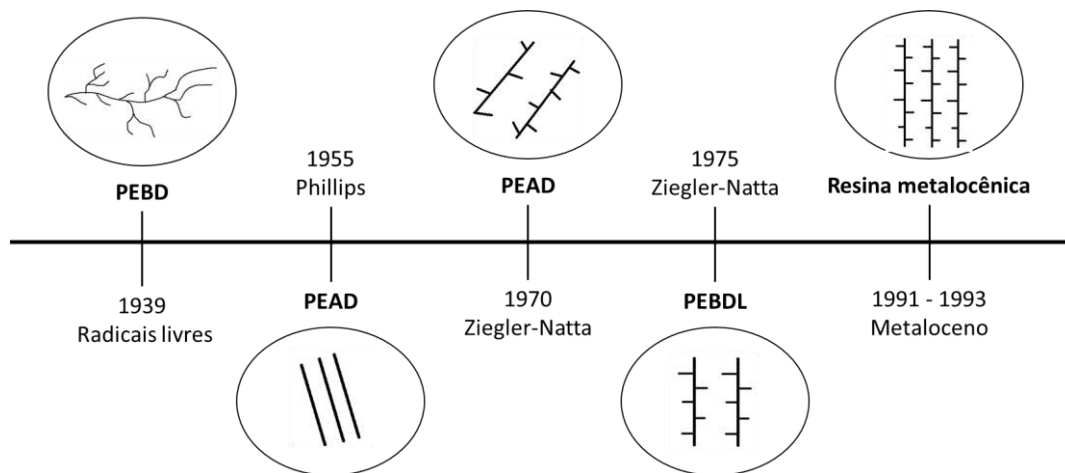
Figura 4: Diagrama de blocos de comparação entre o processo de produção do PE Verde x PE Tradicional



Fonte: Adaptado de Silva, A. 2022

Apesar de possuir o mesmo monômero básico de formação, o polietileno possui diferentes processos de produção, pois dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, ocorre a formação de produtos com diferenças estruturais em função das ramificações formadas (Fig.5), sendo os principais: PEAD (polietileno de alta densidade), PEBD (polietileno de baixa densidade) e PEBDL (polietileno linear de baixa densidade). (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Figura 5: Evolução estrutural do polietileno.



Fonte: Adaptado de Forte, et.al, 1996.

As diferenças estruturais, causam impactos diretamente nas características do polímero obtido, assim como em sua destinação final de aplicação, isto é, as propriedades físico-químicas geradas pelas diferentes ramificações, geram produtos com diferentes especificações. Conforme sua utilização pode ser reaproveitado através do processo de reciclagem, esse processo pode ou não impactar sua destinação a depender da tecnologia utilizada (Quadro 1).

Quadro 1: Características e aplicações de polietilenos de diferentes densidades

Polímero	Características	Aplicações	Pós-consumo (PCR)
PEAD	. Resistência química, mecânica, térmica . Leve, rígido e impermeável	Frascos rígidos, tubos, telhas, galões, brinquedos, eletrodomésticos, sacarias	Frascos para produtos de limpeza, cosméticos, tubulações, conduítes
PEBD	. Resistência química, a impacto e deformação . Flexível, transparente, formação de filmes	Embalagens para alimentos, sacolas, filmes para fios e cabos	Envelopes, filmes, sacos
PELBD	. Resistência química, a impacto e tração . Flexível, transparente, formação de filmes, capacidade de selagem, formação de fibras para isolamento	Filmes, sacos, tampas de garrafa, bombonas, mangueiras, tanques, produtos de higiene	Envelopes, filmes, sacos

Além de possuírem métodos de produção diferentes, durante o processo de reciclagem o PEAD e o PEBD também são processados separadamente, para obter uma resina mais similar possível da matéria prima virgem e para que sejam adicionados na proporção correta de formação dos materiais reciclados. Por essa razão, é de extrema importância a identificação dos materiais de acordo com a RIC.



2.2.1 Polietileno de alta densidade

A produção do polietileno de alta densidade ocorre a partir do processo de poliadição em lama, em um meio aquoso e na presença de catalisadores de alta especificidade, que contribuem para a construção de moléculas extensas e lineares. É polimerizado em baixas temperaturas e pressões. Para operar nessas condições, os primeiros catalisadores utilizados que obtiveram resultados satisfatórios foram os descobertos por Ziegler e Natta, como uma combinação entre tetracloreto de titânio e trietil-alumínio. Atualmente, há também outros catalisadores empregados, sendo o principal o processo Phillips, que utiliza catalisador a base de óxido de cromo. A principal diferença entre os polímeros provenientes de cada um desses

processos, é que com Philips obtém-se PEAD menos ramificado e, conseqüentemente, com densidade ainda maior (COUTINHO; MELLO, 2003).

Os catalisadores de Ziegler-Natta utilizados no processo de polimerização do polietileno são, majoritariamente, à base de tetracloreto de titânio suportado em cloreto de magnésio (FORTE; CUNHA, 2000). O processo, como mencionado anteriormente, ocorre a baixas temperaturas, geralmente abaixo de 100 °C e baixas pressões, entre 10 a 15 atm. Utiliza-se hidrocarbonetos parafínicos como solventes e hidrogênio como agente de transferência de cadeia.

Após a etapa de polimerização, ocorre o envio para uma unidade de separação, onde o diluente é removido e reciclado para uso posterior. O polímero resultante é lavado e seco para remover impurezas residuais e solventes. Em seguida, é granulado em pellets para facilitar o armazenamento, transporte e processamento subsequente.

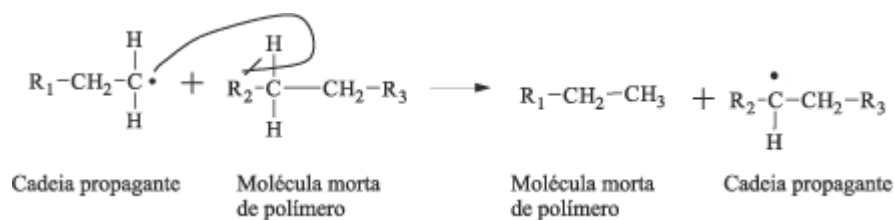
2.2.2 Polietileno de baixa densidade

A síntese do PEBD acontece através da reação de polimerização do eteno, em cadeia, via radicais livres. Nesse processo, a formação da cadeia se dá, primeiramente, através da adição de um radical livre a uma molécula de monômero insaturado. Dessa forma, é gerado uma espécie ativa, o que culminará na formação da cadeia polimérica a partir de sucessivas adições entre os monômeros (DREGER; BARBOSA, 2016). Esse processo é altamente exotérmico e utiliza pressões entre 1000 e 3000 atm e temperaturas entre 100 e 300 °C.

O processo industrial para a obtenção do PEBD utiliza três unidades: a unidade de compressão, o reator de autoclave ou tubular e o sistema de separação de produtos. A compressão é feita no gás eteno altamente puro, e, em seguida, no reator tubular, este é aquecido até a temperatura de iniciação (140/150 °C) e ocorre a iniciação da reação de polimerização, que é realizada através da injeção de misturas de oxigênio e peróxido como iniciadores (KIPARISSIDES, et al., 1993).

As condições da reação e principalmente a sua natureza altamente exotérmica é responsável pela grande ramificação presente no PEBD, alterando a simetria da cadeia principal. Essa característica influencia diretamente nas propriedades do polímero, como a menor densidade e resistência mecânica, uma vez que é a presença de ramificações que diminui as interações entre as cadeias e a torna mais expandida. As ramificações supracitadas podem ser de dois tipos distintos (BILLMEYER, 1984):

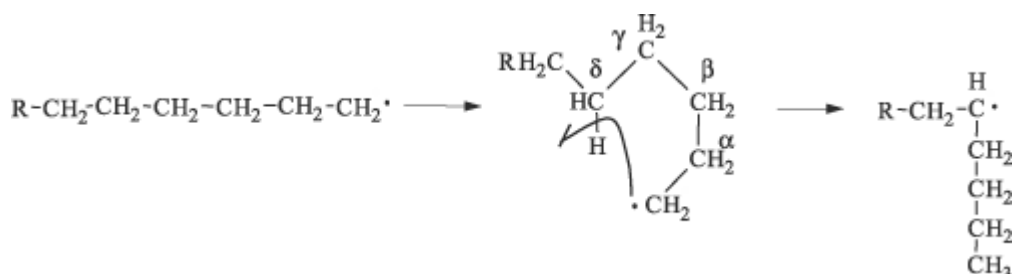
- 1- Ramificações longas devido à transferência de cadeia intermolecular (Fig. 6).

Figura 6: Ramificações longas PEBD

Fonte: Dreger e Barbosa, 2016.

Esse tipo de ramificação influencia diretamente parâmetros como o grau de cristalização do polímero e sua viscosidade em solução. Elas costumam ser bem longas, tanto quanto a cadeia principal.

- 2- Ramificações mais curtas devido à transferência de cadeia intermolecular
São, em sua maioria, n-butilla, além de etila e n-hexila (Fig. 7).

Figura 7: Ramificações longas PEBD.

Fonte: Dreger e Barbosa, 2016.

2.2.3 Polietileno linear de baixa densidade

A polimerização do polietileno linear de baixa densidade (PELBD) acontece pelo mecanismo de coordenação aniônica. Ela ocorre em pressões e temperaturas mais brandas, cerca de 145 MPa e 200 °C. Para essa reação, são utilizados catalisadores de Ziegler-Natta e hidrocarbonetos como solventes. Como mencionado anteriormente, a formação da cadeia polimérica se dá a partir da coordenação e inserção do monômero através da alquilação de um composto de metal de transição.

O controle da temperatura do meio reacional pode influenciar diretamente no peso molecular do polímero, assim como na concentração do agente de transferência, que, para esta reação, costuma ser o hidrogênio. Os catalisadores de Ziegler-Natta conferem ao PELBD ramificações curtas menos homogêneas em comparação às resinas metalocênicas, assim como uma cadeia polimérica mais curta. Por possuir ramificações mais curtas, o PELBD tem suas

cadeias poliméricas mais próximas e compactas, conferindo a ele maior densidade e, consequentemente, resistência mecânica.

2.2.4 Polietileno “verde”

O polietileno foi o primeiro polímero obtido a partir de fontes renováveis a ser certificado mundialmente, podendo ser chamado de “polietileno verde”, “biopolímero”, “bioplástico”, “resina verde” (CORDEIRO et al, 2018).

O ciclo de vida deste material consiste em 7 etapas principais (Fig 8), sendo elas:

1. Cultivo e extração da cana-de-açúcar: produtores rurais fornecem a matéria-prima para as usinas
2. Moagem da cana e fermentação dos açúcares: processo microbiológico de fermentação alcoólica, no qual os carboidratos (glicose e frutose) são degradados até a formação de etanol e CO₂
3. Processamento químico: indústrias petroquímicas realizam as etapas de primeira geração para formação do monômero eteno a partir da desidratação do etanol
4. Polimerização através de reação de poliadição para formação do polietileno verde. Assim como o polietileno tradicional, as escolhas de catalisador e condições de pressão e temperatura, são capazes de gerar resinas de diferentes estruturas (Alta densidade, Baixa densidade, Baixa Densidade Linear)
5. Transformação: empresas transformadoras de plástico criam design e geram os produtos de desejo comercial
6. Consumo: compradores finais que utilizam o plástico e realizam o posterior descarte
7. Reciclagem: através da coleta seletiva pelo trabalho de catadores de ruas e cooperativas e coprodutos gerados pela indústria.

Figura 8: Ciclo de produção do Polietileno Verde (PE Verde).



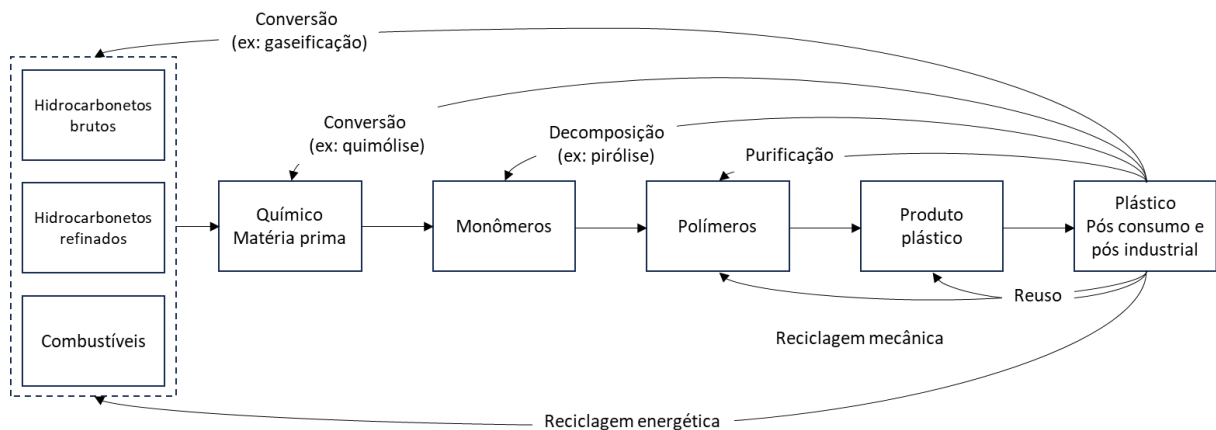
Fonte: Braskem, 2012.

Destaca-se que a principal diferença dessa forma de produção, é que na produção convencional, ocorre emissões de poluentes no processo de craqueamento do petróleo, ao passo que na formação do polietileno verde são necessários plantios de cana-de-açúcar que pela ótica ambiental estimulam a captação e fixação de gás carbônico da atmosfera. Conseqüentemente, colaborando para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE). (EISELE et. al. 2015)

2.3 RECICLAGEM

A reciclagem de plásticos pode ser dividida em: Mecânica, Química, Energética e Biológica. No geral, são utilizados como matéria-prima itens plásticos que foram encaminhados para o descarte/reaproveitamento, podendo ser separados em materiais pré-consumo, resinas que não foram destinadas ao consumidor final em sua maior parte resíduos de fabricação, ou pós-consumo, advindos do descarte de produtos pelos consumidores. A depender do estado do material coletado e procedimento escolhido é possível retornar a diferentes etapas do processo de produção chegando até mesmo ao monômero original com as mesmas propriedades do polímero “virgem” (Fig. 9).

Figura 9: Caminhos de produção do plástico virgem e do plástico pós consumo.



Fonte: Adaptado de AFARA analysis, 2021.

2.3.1 Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica consiste no processo de reprocessamento dos materiais, podendo ser através de moldagem por compressão, extrusão, injeção, entre outros (SPINACÉ, 2005). Dependendo da procedência e do tipo de polímero podemos ter variações no processo de reciclagem, mas no geral são definidos pelas seguintes etapas:

- 1) Separação do resíduo polimérico: esse procedimento pode ser feito de forma manual, sendo a forma mais utilizada no Brasil considerando a estrutura da empresa de reciclagem e estrutura de trabalho de coletores ser de pequeno porte ou automatizada.
 - a) Manual: Os materiais plásticos possuem um código de identificação da resina utilizada em sua fabricação, normalmente um número de 1 a 7 dentro de um triângulo de três setas e sob o mesmo uma abreviatura. Este código normalmente é colocado na base do recipiente ou no verso da embalagem que contém o produto (no caso de material flexível). Os códigos de identificação têm por objetivo facilitar a recuperação dos recipientes plásticos descartados com o resíduo sólido urbano, uma vez que auxiliam sua separação e posterior reciclagem e revalorização (COLTRO, et al, 2008).

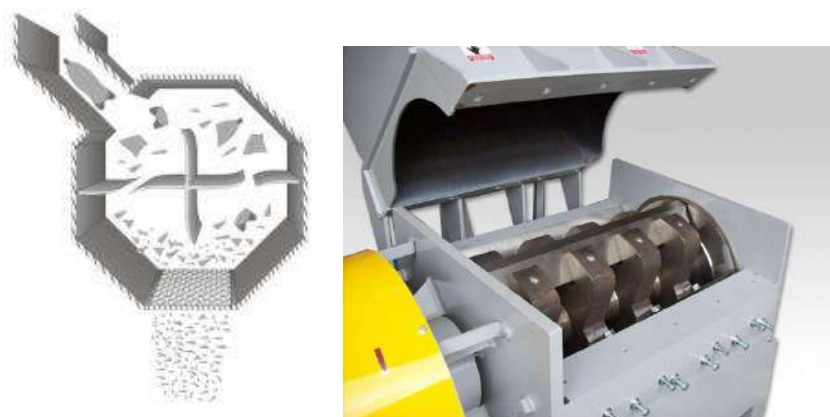
Também podem ser utilizados testes como: odor dos vapores de queima, aparência da chama, temperatura de fusão e solubilidade, os quais são

baseados em suas características físicas e de degradação térmica, que são distintas. (SPINACÉ, 2005)

- b) Automatizada: baseada majoritariamente na diferença de densidade, podendo ser em tanques de flotação ou em hidrociclones. Para a separação de materiais metálicos pode ser utilizado a separação eletrostática. E para diferenciação de polímeros transparentes ou coloridos, pode-se aplicar as técnicas de espectroscopia Raman associada à análise multivariada ou na região do infravermelho. (SPINACÉ,2005)

- 2) Moagem: quebra mecânica dos resíduos plásticos em fragmentos particulados. A moagem do plástico acontece através de um equipamento chamado moinho (Fig. 10), que possui peneiras de diferentes tamanhos, capaz de reduzir o material na dimensão desejada.

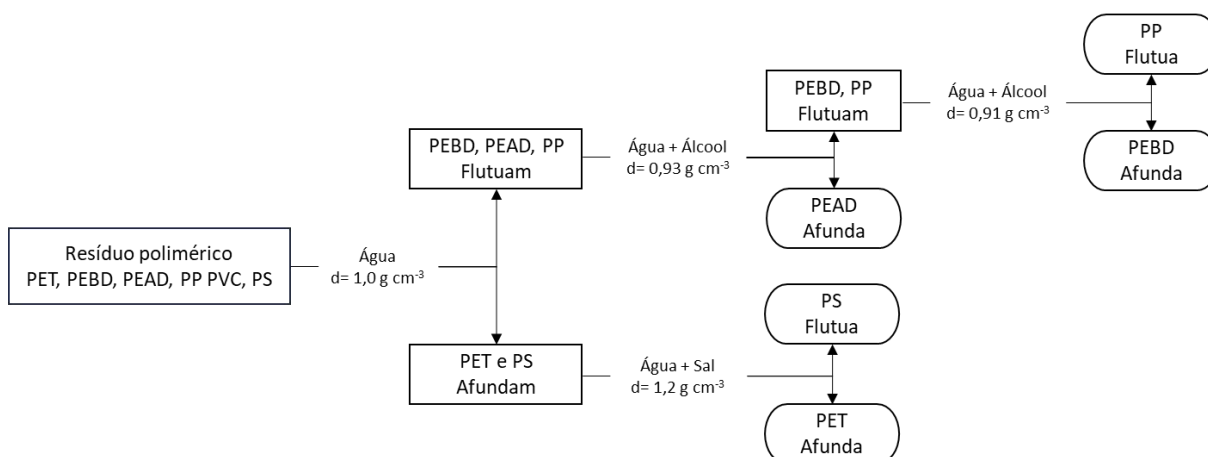
Figura 10: Exemplo de moinhos



Fonte: Primotécnica e Mancini, 2023 Unesp.

- 3) Lavagem: após a moagem os fragmentos (*flakes*) passam por uma retirada de contaminantes, essa lavagem é geralmente realizada com água e aditivos para a limpeza, juntamente com o processo de separação por diferença de densidade (Fig. 11).

Figura 11: Esquema de separação de polímeros por diferenças de densidade



Fonte: Adaptado de Spinacé 2005.

- 4) Secagem: após separados, os *flakes* são secos em grandes secadores com circulação de ar quente. Essa etapa é de extrema importância pois a umidade pode causar problemas durante o processamento do material, e como vantagem de pré-aquecer o polímero é possível manter uma temperatura de plastificação mais uniforme, reduzindo as chances do aparecimento de pontos de superaquecimento e permitindo ciclos mais rápidos.
- 5) Reprocessamento: Para a reciclagem, o processo de extrusão costuma ser o mais indicado, isto porque o material não apresenta a homogeneidade necessária para os demais processos como injeção ou termoformagem. A extrusão consiste basicamente na passagem forçada (controlada) do material granulado através de um cilindro aquecido, através de uma ou duas roscas “infinitas”, que transportam, misturam, compactam e permitem a retirada dos gases.
- 6) Transformação em produto acabado: o polímero reciclado é então adaptado ao seu produto de interesse, podendo ser embalagens, filmes, materiais de construção, brinquedos, entre outros.

Apesar de já possuir um processo definido e consolidado, a reciclagem mecânica só pode ser considerada vantajosa se for dada uma destinação ou disposição final ambientalmente correta do que não é aproveitado na indústria; incorporada a externalidade econômica de realizar tratamento do efluente gerado, e, por fim, qualificar e remunerar de modo justo o catador que disponibiliza a matéria-prima para a indústria. (SILVA, 2016)

2.3.2 Reciclagem Química

A reciclagem química consiste na despolimerização do material plástico, isto é, retornar ao estado do monômero original a partir de processos químicos avançados. São eles: hidrogenação, gaseificação, pirólise ou quimólise (ou solvólise). De modo geral, garantem a obtenção dos monômeros de partida dos polímeros, que por sua vez podem ser purificados e re-polimerizados.

Hidrogenação - Ocorre em altas temperaturas (440-480°C) que levam a quebra das cadeias poliméricas, resultando em radicais livres que posteriormente são saturados com hidrogênio, levando a hidrocarbonetos leves como metano, etano, propano;

Gaseificação - Nesse processo os polímeros são levados a altíssimas temperaturas (1200-1500 °C) são inseridos oxigênio de modo controlado para que não ocorra a combustão completa do material, ao final são recuperadas moléculas de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono, água e alguns gases inertes. Além dos potenciais de utilização dos subprodutos em outros processos produtivos, também podem ser aplicados em processos energéticos.

Pirólise - Pode ocorrer a baixas ou altas temperaturas. Em baixas ocorre a degradação térmica com a ausência de oxigênio, levando a despolimerização, formação de aromáticos e gases leves, além de líquidos de alta temperatura de ebulição como material para produção de poliolefinas. Em altas, ocorre a decomposição térmica na ausência de oxigênio, conforme processos petroquímicos padrões para o craqueamento das moléculas, sendo esse o método mais indicado para materiais de maior impureza.

Quimólise - Pode ser realizada através dos processos de Hidrólise, quando se utiliza excesso de água a altas temperaturas com presença de catalisador para recuperação dos químicos básicos para a formação do monômero; Alcoólise ao utilizar excesso de metanol para realizar a despolimerização na presença de um catalisador ácido ou base; ou Glicólise através de uma reação de transesterificação utilizando excesso de glicol.

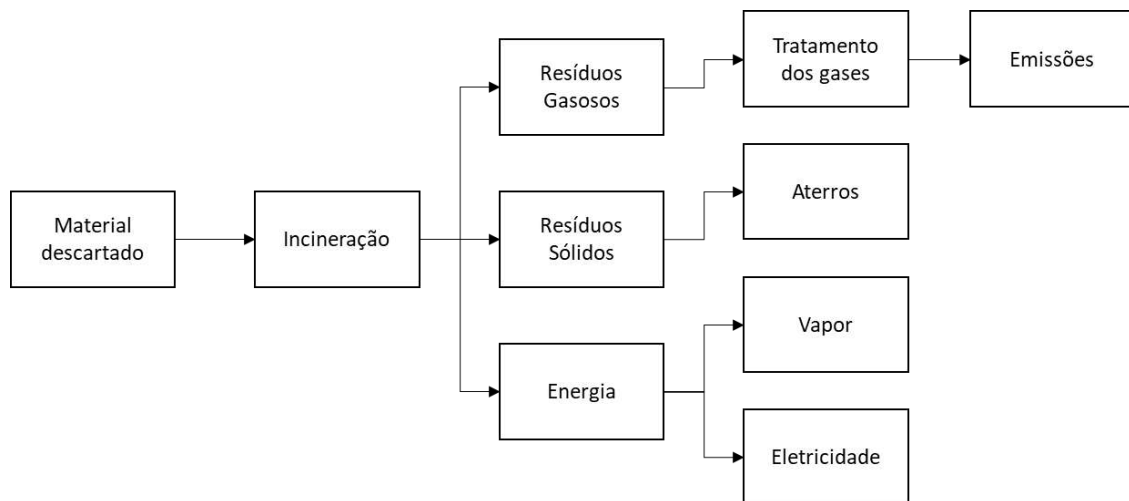
Em comparação com os outros métodos de reciclagem, a reciclagem química permite maior flexibilidade sobre a composição do material, permitindo assim uma triagem mais simplificada e sendo mais tolerante a impurezas, pois o tratamento é mais seletivo. Porém, economicamente é mais caro, sendo assim para sua viabilidade econômica são necessárias grandes quantidades de plástico, isto é, uma economia de escala.

2.3.3 Recuperação Energética

A reciclagem energética consiste na recuperação do poder calorífico do resíduo do polímero (Fig. 12). Então, através da incineração do material, há a geração de energia elétrica. Esse tipo de reciclagem é utilizado principalmente há baixa viabilidade econômica para realizar outro tipo de reciclagem. Apesar da poluição ambiental gerada pelos gases emitidos na queima do plástico, esse processo tem seus benefícios quando se tem como objetivo o tratamento do lixo urbano, visando evitar a superlotação de aterros sanitários, uma vez que há a redução de cerca de 70 a 90% da massa da resina.

O material plástico possui elevado potencial energético, uma vez que a energia contida em 1kg desse material pode ser equivalente à energia contida em 1kg de óleo combustível, sendo produzidos cerca de 650 quilowatts/hora de energia por tonelada de resíduo incinerado.

Figura 12: Diagrama de blocos do processo de reciclagem energética.



Fonte: Adaptado de Equipe Onze, 2011.

2.3.4 Reciclagem Biológica/Orgânica

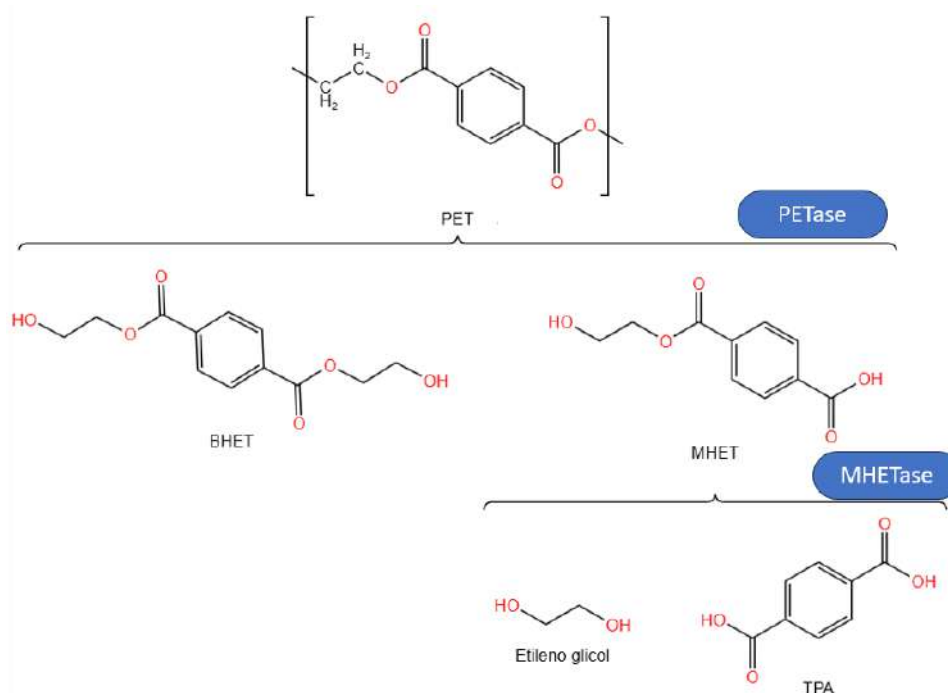
A reciclagem biológica de plásticos envolve o uso de enzimas produzidas por microrganismos para quebrar as cadeias poliméricas dos plásticos em oligômeros menores que podem ser metabolizados pelos microrganismos.

A degradação biocatalítica dos plásticos pode ser muito promissora, pois permite a despolimerização dos materiais de forma mais seletiva e sob condições brandas de processo, em meio aquoso. Porém, isso se torna uma dificuldade para plásticos insolúveis, que possuem cadeias poliméricas de diferentes conformações e suas estruturas compactas não oferecem a

acessibilidade necessária para a alocação das enzimas, gerando baixa reatividade (BOYANG, 2023).

Avanços recentes na biocatálise baseada em enzimas têm se mostrado promissores na reciclagem ou reciclagem de plásticos básicos, incluindo poliolefinas (TOUNIER, 2020). Isto porque microrganismos, como *Ideonella sakaiensis*, possuem capacidade de manipulação de plásticos. Por exemplo, o mecanismo de degradação do PET em monômeros benignos pela PET hidrolase e hidrolase do ácido mono (2-hidroxi-etil) tereftálico (MHET) (Fig. 13); no entanto, a reação encontra-se em escala piloto e aponta a necessidade de desenvolvimento adicional para comercialização devido à baixa atividade catalítica destas enzimas.

Figura 13: Hidrólise do PET e a função da PETase e MHETase no processo.



Fonte: Adaptado de MAITY et al., 2021

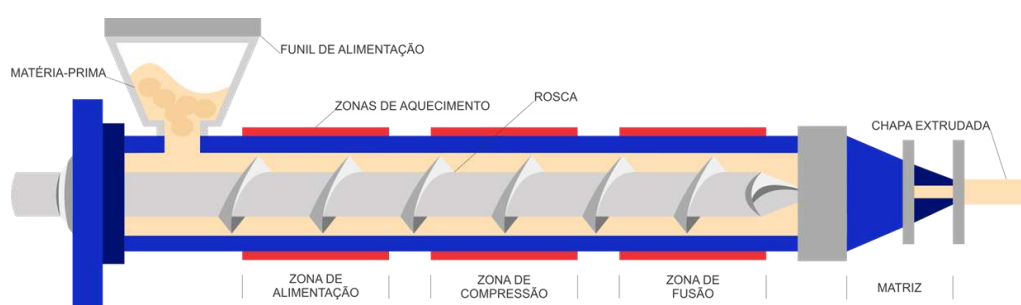
As bactérias metabolizadoras de plástico podem, portanto, ser uma alternativa potencial e eficiente para degradar o plástico de uma forma biológica e sustentável, ajudando assim a escalar a crise de poluição plástica. No entanto, ainda há desafios a serem superados, como a libertação de toxinas durante a eliminação do plástico e a recuperação de formas monoméricas puras da mistura. Além disso, existem os desafios enfrentados em relação ao aumento da cultura microbiana para a manipulação do plástico continua sendo uma questão devido à relação custo-benefício.

2.4 MÉTODOS DE TRANSFORMAÇÃO DOS POLÍMEROS

2.4.1 Extrusão

O processo de extrusão é utilizado para a plastificação contínua. No qual o polímero é inserido e pré-aquecido na da zona de alimentação, passa a zona de compressão onde ocorre a eliminação de ar, aumento de pressão e o material é fundido parcialmente ou totalmente, é então encaminhado a zona de dosagem ou vazão (Fig. 14) onde a pressão e temperatura passam a ser uniformes para o fornecimento do material a passagem da matriz (CUNHA, 2000).

Figura 14: Modelo de extrusora rosca simples



Fonte: Sulplast, 2023.

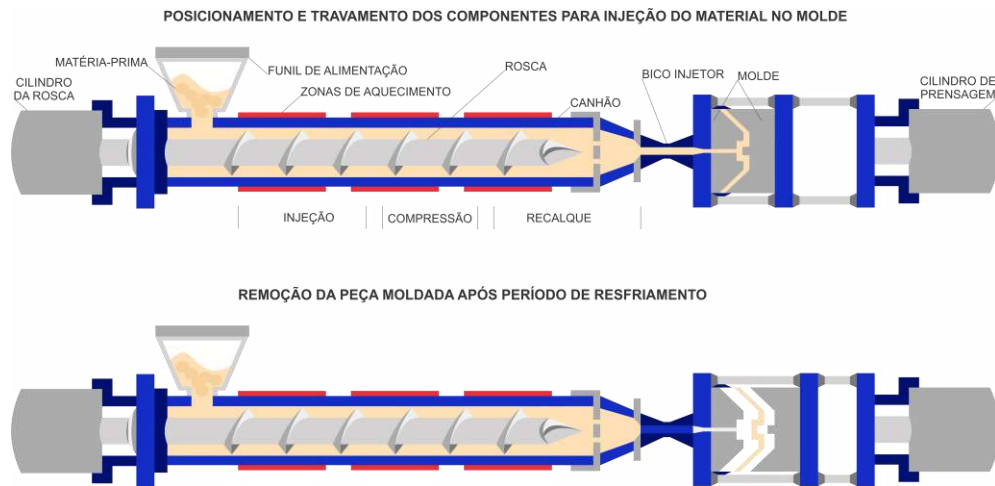
Através desse método é possível obter artefatos plásticos em diferentes formatos como por exemplo: pellets, chapas, perfis, tubos, entre outros. Dependendo das propriedades desejadas, também é possível inserir aditivos a matéria-prima alimentada para a melhoria da performance do material.

O projeto da extrusora e do parafuso utilizado tem um papel fundamental na mistura e transporte do material a ser processado, levando em consideração a sua velocidade e facilidade de plastificação (VIGNOL, 2005).

2.4.2 Injeção

O processamento por injeção, consiste basicamente em três etapas: preenchimento, empacotamento e resfriamento. O principal objetivo é a passagem forçada do polímero, previamente homogêneo e fundido, por uma cavidade (Fig. 15). Sendo assim, na fase de preenchimento o material entra na cavidade até preenchê-la, através da aplicação de pressão é inserido mais material, gerando um empacotamento, já que desde o início até a abertura do molde este sofre resfriamento (D'ÁVILA 1997).

Figura 15: Máquina de molde por injeção.



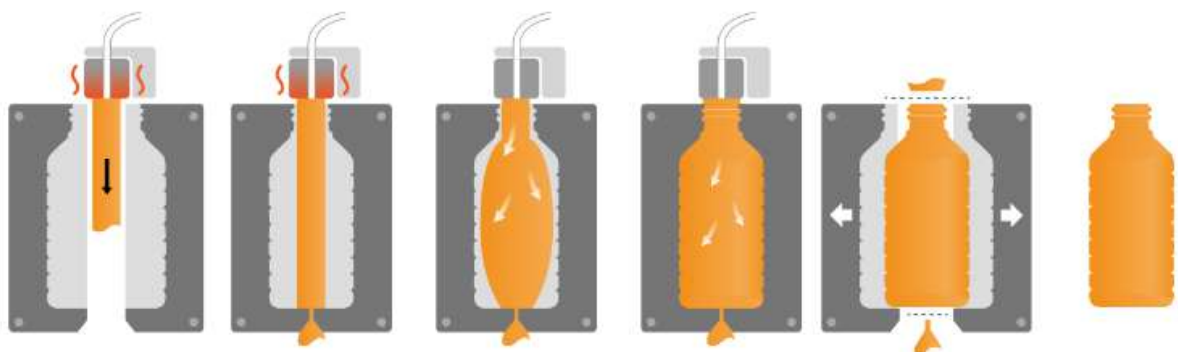
Fonte: Adaptado de Sulplast, 2023.

O modo de resfriamento é de extrema importância nesse processo, considerando que a orientação molecular na qual o polímero se organiza durante a cristalização, é determinante para atingir as características desejadas para o produto.

2.4.3 Sopros e sopros pré-formado

Neste processo o polímero é amolecido pela ação do calor e expulso através de uma matriz, gerando um formato de “mangueira”, que ao ser inserido no molde é introduzido uma agulha em seu orifício por onde o ar é soprado e o material é forçado a ocupar as paredes do molde que após o resfriamento é extraído no formato do produto desejado (Fig. 16).

Figura 16: Processo de Sopros.



Fonte: Altus, 2023.

Quando utilizado de forma conjugada com a injeção, esse processo passa a ser conhecido como sopro pré-formado. Essa combinação permite que o produto seja moldado sem comprometer suas características de resistência e transparência.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em etapas, sendo a primeira a observação do cenário atual. O fato da indústria de embalagens considerar a substituição de um material tão consolidado como o plástico proveniente da cadeia petroquímica (virgem), demonstra que a pressão da sociedade por soluções sustentáveis tem sido um diferencial, impulsionando a área de reciclados.

A segunda etapa consistiu em selecionar as resinas fonte de estudo e realizar o estudo bibliográfico dos seus processos de produção e dos métodos existentes de reciclagem. Os polímeros PET PCR e PE PCR, foram selecionados de acordo com a taxa de consumo aparente da sua resina virgem equivalente e possibilidade de aplicação em embalagens.

A terceira etapa consiste na investigação da tendência de aumento da utilização de embalagens plásticas recicladas no setor de cosméticos, a fim de desenvolver uma avaliação do impacto desses materiais de acordo com as tecnologias disponíveis.

Nesta avaliação foram utilizadas:

- Plataformas de pesquisa bibliográficas
- Patentes empresariais
- Relatórios de avaliação de mercado
- Revisões feitas pelas associações do setor de plásticos e reciclagem
- Levantamento da regulamentação aplicável a embalagens cosméticas

Por fim, foram consolidadas as informações adquiridas para determinar se as resinas estudadas apresentam um crescimento de utilização e qual resina tem sido aplicada de forma eficiente no setor de cosméticos.

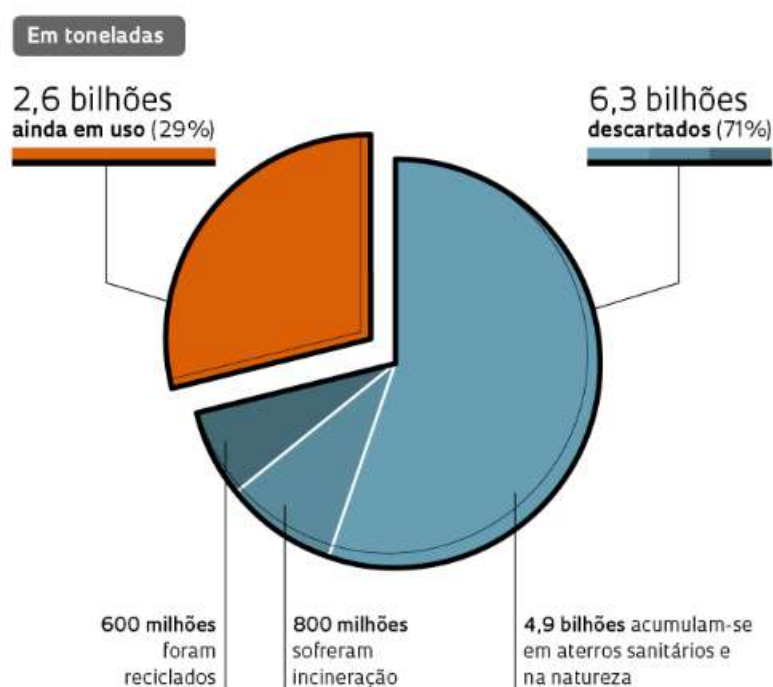
4 DESENVOLVIMENTO

4.1 ANÁLISE DO ATUAL CENÁRIO DOS PLÁSTICOS

Atualmente o mercado de plástico apresenta um crescimento acelerado e as projeções apontam a continuidade de seu crescimento de forma expressiva nos próximos anos. Atingindo uma avaliação de US\$ 712 bilhões em 2023 e estimativas apontam que irá atingir US\$ 1.050 bilhões até 2033, expandindo-se a um CAGR de 4% durante o período de previsão (FMI, 2023).

Considerando esse cenário de crescimento contínuo e o modo *business as usual* da cadeia, focado na produção em larga escala, um grande dilema vem se tornando um destaque: a indispensabilidade do plástico, devido a sua natureza essencial, sua versatilidade e performance, versus a má gestão de seus resíduos, levando a um crescimento dos resíduos sólidos plásticos (RSP). Segundo Roland Geyer, desde o início da produção de plástico em 1950 até o ano de 2017, já haviam sido produzidos 8.9 toneladas de plástico no mundo, destes apenas 7% foram destinados a reciclagem (Fig. 17).

Figura 17: Infográfico destinação dos plásticos.

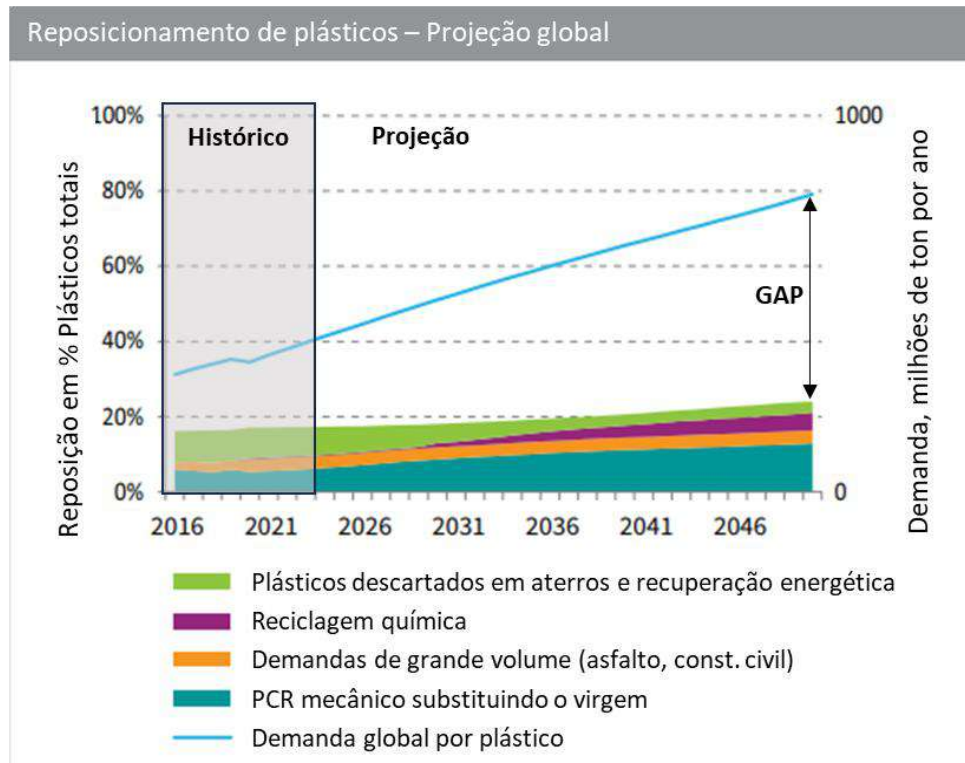


Fonte: Revista FAPESP, Alexandre Affonso, 2019.

De acordo o Relatório de Sustentabilidade desenvolvido pela Google, ao verificar o histórico de demanda e destinação dos resíduos, é notável o GAP entre o que tem sido produzido e de suas formas de reaproveitamento e, seguindo as projeções, esse *GAP* tende a se acentuar neste século (Fig 18). Todo esse material poderia ter um melhor aproveitamento se planejado sua destinação e incentivados investimentos em métodos de reciclagem, através de políticas e metas globais, tais como a Resolução 5/14 da Assembleia das Nações Unidas para o Meio Ambiente, *Acabar com a Poluição Plástica: Rumo a um Instrumento Internacional Legalmente Vinculativo*, que tem como objetivo mitigar a poluição plástica, inclusive através da “produção e consumo sustentáveis de plásticos” (Resolução 5/14, parágrafo 3b). A introdução de um instrumento internacional e juridicamente vinculativo para acabar com a poluição plástica

apresenta aos estados membros da ONU uma oportunidade de aumentar o nível de ação, coordenação e colaboração internacionais necessárias para avançar em direção a este objetivo.

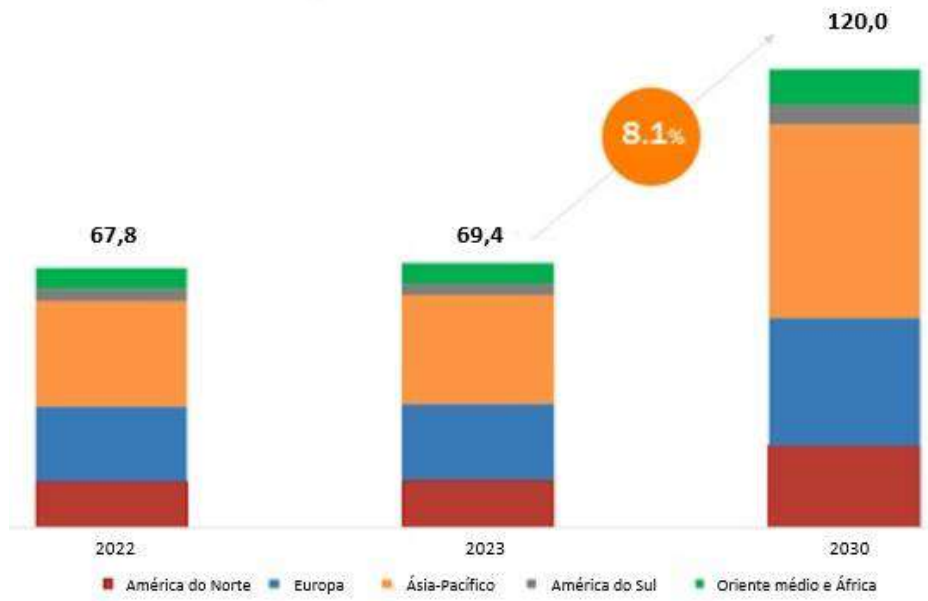
Figura 18: Projeção da demanda global de plásticos de acordo com a origem de produção.



Fonte: Adaptado de IHS Markit, 2021.

Apesar dos desafios para implementação e desenvolvimento dos processos de reciclagem, principalmente nas etapas de coleta e triagem por conta da contaminação dos materiais coletados, projeções de receita global de plásticos reciclados apontam um grande potencial de crescimento. Onde o CAGR é de 8,1%, sendo esperado que valha US\$120,0 bilhões até 2030, sendo uma maior taxa de participação provinda da Europa e Ásia Pacífica (Fig. 19). Espera-se que a crescente conscientização dos indivíduos, iniciativas governamentais e a exigência da sustentabilidade empresarial impulsionem o crescimento do mercado nos próximos anos.

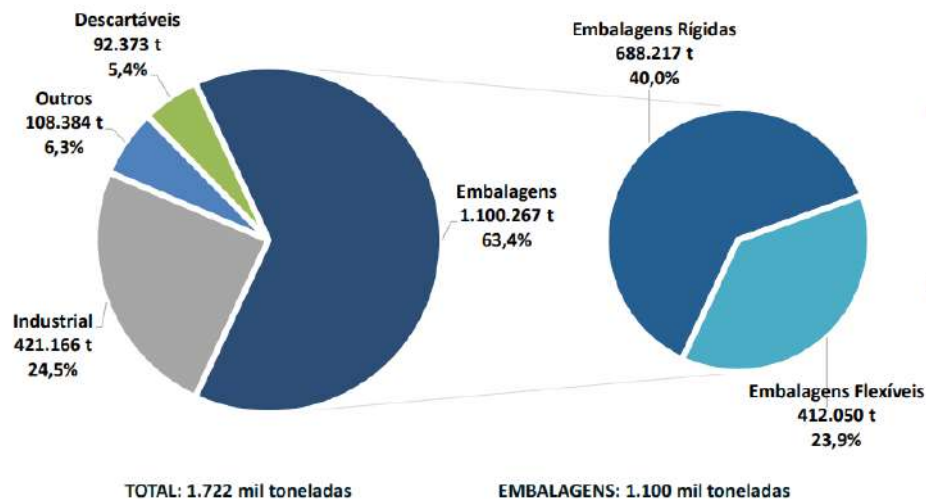
Figura 19: Estimativa global de crescimento dos plásticos reciclados nos próximos anos.



Fonte: Markets and Markets, 2022.

Dentre os materiais plásticos que efetivamente são destinados aos processos de reciclagem, as embalagens são as mais recebidas. Tomando como exemplo o cenário do Brasil em 2022, onde estas apresentações 63% do total de materiais reciclados (Fig. 20). Demonstrando assim para os setores que consomem esse tipo de material, como o ramo cosmético, alimentício e outros, seu potencial de aproveitamento e realocação deste resíduo no mercado.

Figura 20: Volume de resíduo consumido na reciclagem no Brasil.

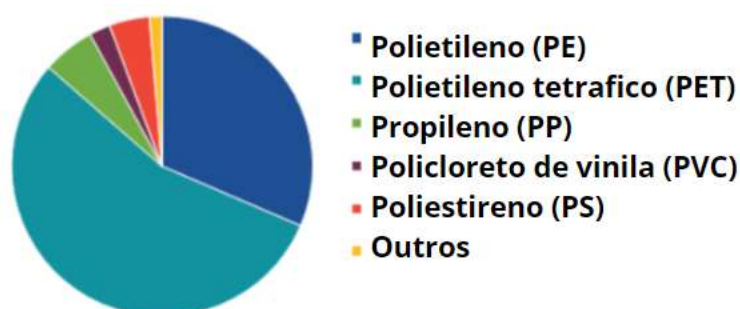


Fonte: MaxiQuim com dados da Pesquisa PICPlast 2022.

4.2 RELEVÂNCIA DOS POLÍMEROS SELECIONADOS

Dentro da gama de plásticos que são descartados diariamente, os cinco principais polímeros de embalagem a serem mencionados são PET, PE, PP, policloreto de vinila (PVC) e PS. Destes cinco, PET e PE representam 40% e 22% do total de resíduos plásticos coletados, respectivamente (SCHYNS; SHAVER, 2020). No contexto global, podemos destacar que o PE e PET representam a maior parcela de polímeros reciclados (Fig. 21).

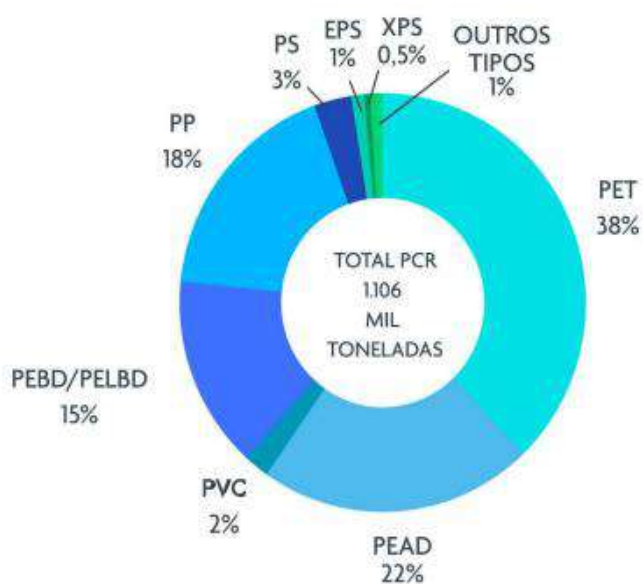
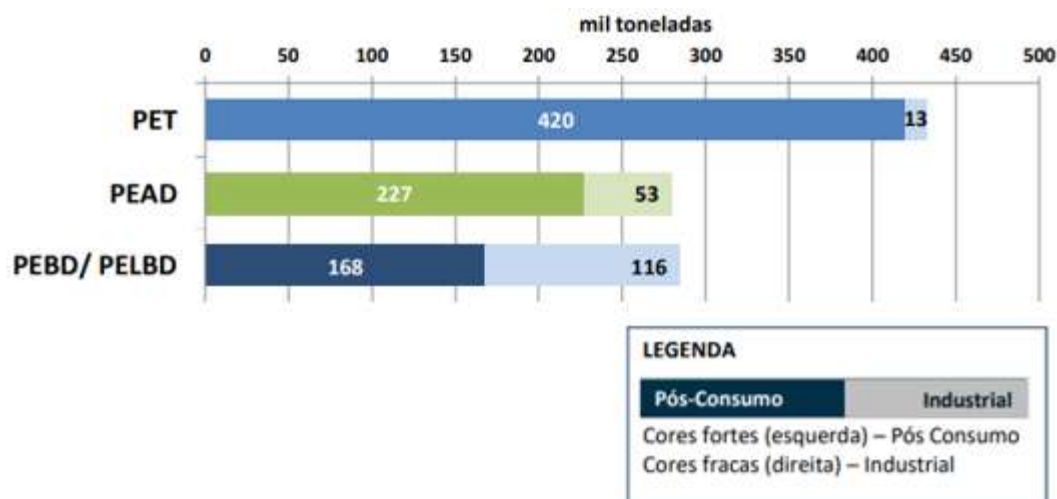
Figura 21: Mercado global de reciclagem de plástico por produto em 2021.



Fonte: Adaptado de Research Dive Analysis, 2023

Além disso, esses polímeros apresentam uma posição de destaque na produção de resinas recicladas no Brasil, sendo a maior parte proveniente de materiais pós-consumo, representando aproximadamente 75% do total da produção nacional em 2022 (Fig. 22). Destacando que maior parte do material é proveniente de fontes pós-consumo. Demonstrando assim, que a indústria dos recicláveis está preparada para absorver o material plástico após a utilização pelo consumidor final.

Figura 22: Produção no Brasil de resinas reciclada



Fonte: MaxiQuim com dados da Pesquisa PICPlast 2022.

Esses polímeros são amplamente utilizados no setor de cosméticos de acordo com suas especificidades, gerando uma gama de aplicações que vão desde frascos, potes, tampas, refis, cartuchos entre outros, que podem ser utilizados em todos os segmentos da indústria como maquiagens, produtos de cabelo, produtos para a pele. Conforme demonstrado no Quadro 2 as possíveis aplicações específicas dentro do setor de embalagens cosméticas.

Quadro 2: Polímeros aplicados ao setor de cosméticos

Polímero	Característica destaque	Aplicação
PEBD	Material semitransparente e lustroso, que por ser flexível	Garrafas e tubos apertáveis
PEAD	Material branco com aspecto leitoso, não brilhante e quase opaco.	Frascos e tubos para produtos como loções e shampoos
PET	Material resistente e lustroso, com a transparência semelhante à do vidro, possui resistência	Embalagem de diversos produtos, como loções e shampoos

Fonte: Adaptado de Mitsui, 1997

4.3 EMBALAGENS NO SETOR DE COSMÉTICOS

Os cosméticos são definidos pela legislação vigente como: “Preparações constituídas por substâncias naturais ou sintéticas, de uso externo nas diversas partes do corpo humano, pele, sistema capilar, unhas, lábios, órgãos genitais externos, dentes e membranas mucosas da cavidade oral, com o objetivo exclusivo ou principal de limpá-los, perfumá-los, alterar sua aparência e ou corrigir odores corporais e ou protegê-los ou mantê-los em bom estado” (ANVISA, 2004).

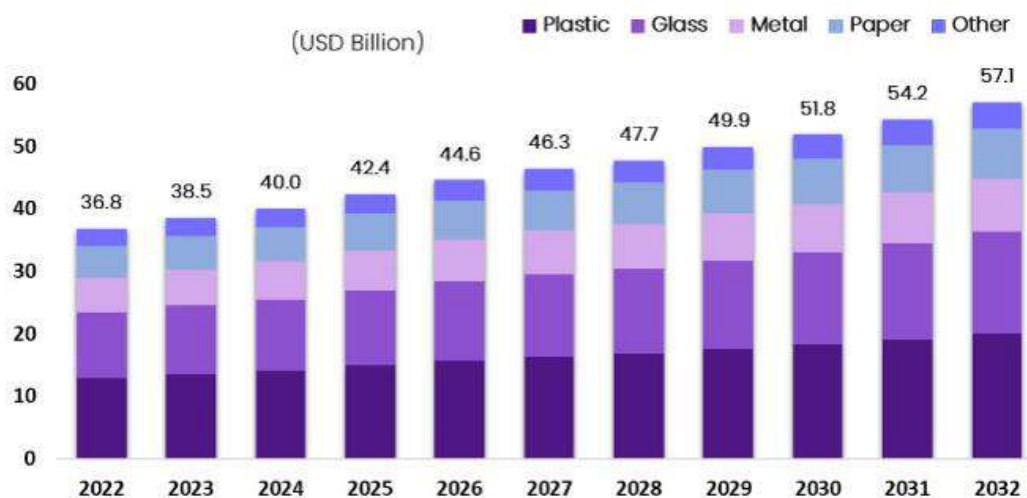
As embalagens possuem grande importância no setor de cosméticos, pois são responsáveis pela apresentação e design, identificação do produto e proteção contra condições de armazenamento, podendo ser climáticas, biológicas e químicas. Devem ter compatibilidade química com o cosmético armazenado, garantindo assim a segurança e funcionalidade para o consumidor final.

Os recipientes para cosméticos estão disponíveis em uma enorme variedade a depender da sua forma de utilização (MITSUI, 1998), podendo ser provenientes de materiais de diferentes origens: principalmente metálica, plástico e vidro, para embalagens primárias e celulósicas em embalagens secundárias cada um possuindo suas vantagens e desvantagens (Quadro 3). Devido às vantagens frente aos concorrentes, os materiais poliméricos são consolidados como principal matéria prima das embalagens para o setor (RIBALDI, 2018).

Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos materiais para embalagens cosméticas

Material	Aplicações	Vantagens	Desvantagens
Plástico	Maquiagens, garrafa de creme, garrafa de sopro (de essência, aquática), bombas, tampa externa, películas de proteção, entre outros.	Alta tecnologia; Diversidade de cores, formas e designs; Barreira a luz e compatibilidade com aditivos anti UV; Leveza, resistência e durabilidade; Reciclabilidade;	Permeáveis à algumas moléculas, como gás e vapor de água Possibilidade de oxidação dos lipídios e degradação de ingredientes ativos
Metal	Latas; Tampas; O revestimento de alumínio e aço inoxidável	Esterilização Resistência a diferenças de temperatura, corrosão e oxidação Reciclabilidade	Dificuldade de armazenamento; Riscos físicos ao consumidor
Vidro	Garrafa de creme, essência, tônico, óleo essencial e outros campos	Aparência e design sofisticado; Limpeza e durabilidade; Proteção contra umidade, ultravioleta, estabilidade química; Reciclabilidade;	Fragilidade em termos de impacto Riscos físicos ao consumidor Transitividade da luz, podendo afetar o conteúdo;

Segundo relatório da Market Us, o tamanho do mercado global de embalagens cosméticas deve valer cerca de US\$ 57,1 bilhões até 2032, de US\$ 36,8 bilhões em 2022, crescendo a um CAGR de 4,60% durante o período de previsão de 2023 a 2032, liderados pelo plástico responsável por mais de 50% da estimativa (Fig. 23). Essa tendência tem sido impulsionada pelo desenvolvimento de inovações nos processos que possibilitam uma ampla gama de cores e formatos que valorizam o produto. Entre os principais players produtores de embalagens do setor, destacam-se Albéa S.A, Amcor, AptarGroup Inc., DS Smith PLC, Graham Packaging Company, HCP Packaging Co. Ltd e Silgan Holdings Inc.

Figura 23: Mercado global de embalagens cosméticas por tipo de material

Fonte: Market.us

Por se tratar de produtos de uso contínuo e inseridos em todas as classes da população, é esperado que haja um volume significativo de embalagens cosméticas sendo descartadas diariamente. O principal desafio na reciclagem desse tipo de material está na quantidade de materiais aplicados em apenas uma embalagem (ex: embalagens para pó compacto utiliza plástico, alumínio, vidro e esponja), gerando assim uma complexidade técnica nos processos de separação (SALLVE, 2019).

5 RESULTADOS

5.1 VIABILIDADE TECNOLÓGICA

5.1.1 PET PCR

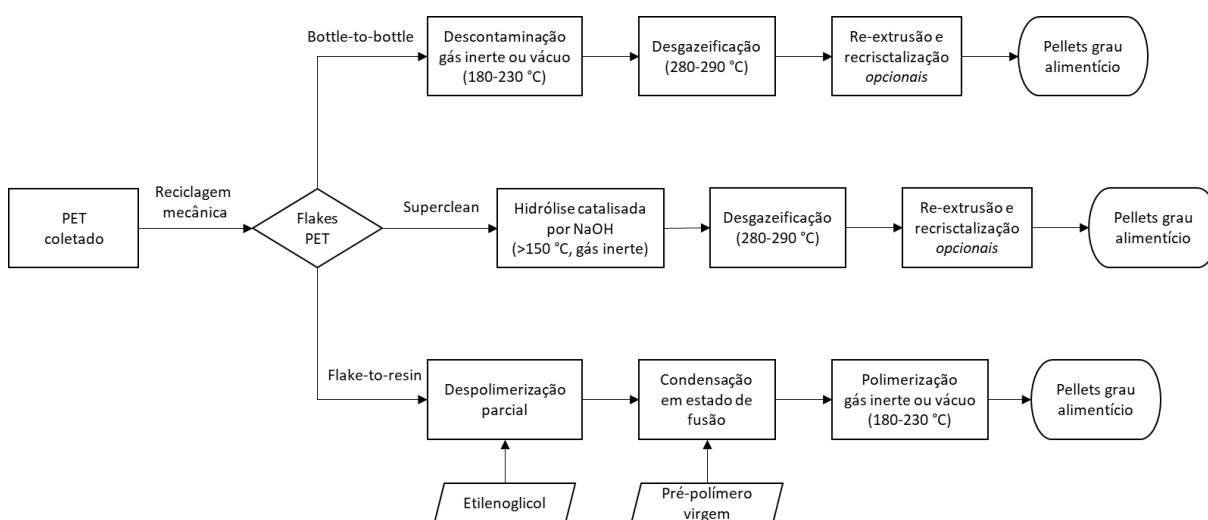
A reciclagem do PET contribui para a sustentabilidade ambiental ao reaproveitar materiais que seriam descartados no meio ambiente. Além disso, a reciclagem de PET pode reduzir a necessidade de matérias-primas virgens, reduzindo assim o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção dessas matérias-primas.

De modo geral, a reciclagem mecânica é atualmente a melhor tecnologia disponível para a reciclagem de PET a nível industrial. Por outro lado, a reciclagem química é uma tecnologia promissora em termos de economia circular. Como o objetivo é decompor resíduos complexos em blocos de monômeros, para processamento e posterior polimerização em estado sólido, o material tem seu peso molecular aumentado o que gera assim uma melhora na qualidade do PET reciclado. Outras tecnologias avançadas, como a reciclagem enzimática e a reciclagem

assistida por micro-ondas, também estão sendo exploradas para a reciclagem de PET, mas ainda estão nos estágios iniciais de desenvolvimento (SOREN, 2021).

As tecnologias de reciclagem de PET mais eficazes e que geram produtos de mais alta confiabilidade, nos últimos anos, são as chamadas Superclean®, Bottle-to-bottle® e Flake-to-resin®. Todas essas técnicas possuem em comum a reciclagem mecânica convencional, como fator inicial de seus processos, e se diferem nos métodos de descontaminação dos *flakes* (Fig. 24). Essas técnicas são aprovadas pela Food and Drug Administration (FDA) dos EUA e pelo Fraunhofer Institute na Alemanha, o que garante o fator de qualidade para embalagens como grau alimentício (WELLE, 2011), sendo assim também podem ser aplicadas a embalagens de outros setores, como cosméticos.

Figura 24: Processos de obtenção de PET grau alimentício.



Fonte: Adaptado de Welle 2011

Os métodos utilizados, consideram a premissa de migração dos contaminantes para a superfície do material para descontaminação, nessa etapa cada um possui sua particularidade, vantagens e desvantagens (BRIVIO, et al. 2022.)

Bottle-to-bottle: separação de contaminantes pequenos através de peneira, separador e detector de metais; passando para a moagem, separação por densidade e posteriormente uma lavagem a quente; descontaminação via altas temperaturas (180-220 °C) e sistema a vácuo. Após esse processo o material está apto a ser derretido e passar pela recristalização para formação dos pellets de PET PCR.

Vantagens: Processo relativamente simples, pellet homogêneo após a extrusão, fácil mobilidade dos pellets

Desvantagens: limitação de alta difusão, alto tempo de reação.

Superclean: após os processos de moagem e separação, os *flakes* passam por uma lavagem com a utilização de hidróxido de sódio (NaOH) como catalisador da reação de hidrólise do PET, que ocorre em alta pressão e temperatura de 150 °C, para despolimerização e degradação dos contaminantes. Posteriormente, são lavados e secos, em condições de altas temperaturas de 280 °C e vácuo, para serem extrudados em pellets.

Vantagens: Melhoria na unidade de descontaminação

Desvantagens: Baixa homogeneidade dos *flakes* e alto custo do solvente.

Flake-to-resin: nesse processo os *flakes* pós consumo sofrem a despolimerização quando aquecidos juntamente ao etilenoglicol, gerando uma mistura e liberando os contaminantes, estes são eliminados devido a baixa pressão e alta temperatura (270 °C). A repolimerização ocorre posteriormente, na união das linhas do pré-polímero virgem com os oligômeros reciclados, e após seguem para etapa de extrusão, no qual são gerados os pellets grau alimentício.

Vantagens: Redução do tempo de reação e do consumo de energia

Desvantagens: Baixa homogeneidade dos *flakes* e é necessário mais de uma unidade industrial.

5.1.2 PE PCR

A reciclagem de PEAD possui importantes motivos favoráveis, além de reduzir a quantidade de resíduos plásticos em aterros e taxas de incineração, também ajuda a reduzir a emissão de gases do efeito estufa provenientes do processo de produção da matéria-prima virgem. Além de alavancar benefícios econômicos ao criar um sistema circular, promovendo a reutilização de materiais e reduzindo a dependência de recursos finitos.

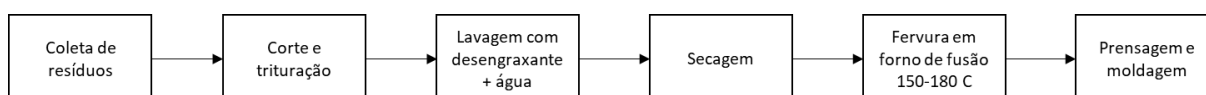
Do ponto de vista técnico, não há restrição para a reciclagem do PEAD (MAMAPLAST, 2017). Atualmente, o processo mais utilizado para reciclagem de embalagens de polietileno é a reciclagem mecânica, que envolve diversas etapas como coleta, triagem, moagem, lavagem, secagem, granulação, embalagem, armazenamento e comercialização (CONSTANTINESCU et al., 2022).

É possível a reciclagem do PEAD adicionando % de PEAD virgem (10-90%) a partir do método que consiste primeiramente na limpeza dos resíduos, separação dos polímeros diferindo também a pigmentação, moagem até a formação de flakes e mistura a seco dos componentes reciclado e virgem e subsequente extrusão por fusão, gerando um material

homogêneo e com propriedades mecânicas semelhantes ao material de origem (DURANEL; MLINARIC, 2012).

Uma outra opção desenvolvida é um método de reciclagem por termofusão (Fig. 25), no qual podem ser obtidos produtos, em formatos de filme ou blocos moldados, com qualidades similares a produtos provenientes de matéria-prima virgem (OSORIO; PAEZ, 2021).

Figura 25: Processo de termofusão.



Fonte: Adaptado de Osório, G. et al, 2021

Uma grande questão em torno da utilização do PEAD PCR é o potencial de migração de químicos para o produto cosmético armazenado. Estudos desenvolvidos para avaliar os impactos de embalagens de PE foram desenvolvidos por Mesquita, Abrantes 2022, que evidenciam a migração de compostos antioxidantes de embalagens alimentícias. A liberação desses compostos quando expostos a materiais cosméticos podem causar danos à proteção da pele, alergias e toxicidade sistêmica. Um estudo de caso realizado por Briasco, et al., demonstra que o PEBD e o PEAD não podem ser considerados completamente inertes e estáveis. O fator mais influente é a densidade do polietileno, mas a interação entre o tipo de polietileno e o tipo de tratamento também tem influência significativa. Algumas condições particulares (por exemplo calor, radiação UV e umidade) podem alterar as propriedades químicas, físicas e mecânicas.

Em contrapartida, foi realizada uma avaliação de segurança do polietileno reciclado de alta densidade, levando em consideração o limiar de preocupação toxicológica para substâncias genotóxicas para alimentos, estipulados pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA), e confirmou que não há risco apreciável de sensibilização para produtos químicos reativos que possam ter migrado de embalagens que passaram pelo processo de reciclagem, tanto para cosméticos enxaguáveis quanto para os que possuem aplicação sem enxágue (LABIB 2023).

Além disso, ao avaliar as propriedades mecânicas do PEAD quando reciclado repetidamente, foi verificado que geralmente são melhoradas ao longo das repetições para um certo número de etapas de reciclagem, tornando assim uma opção viável para uso circular (NECTARIOS, 2021).

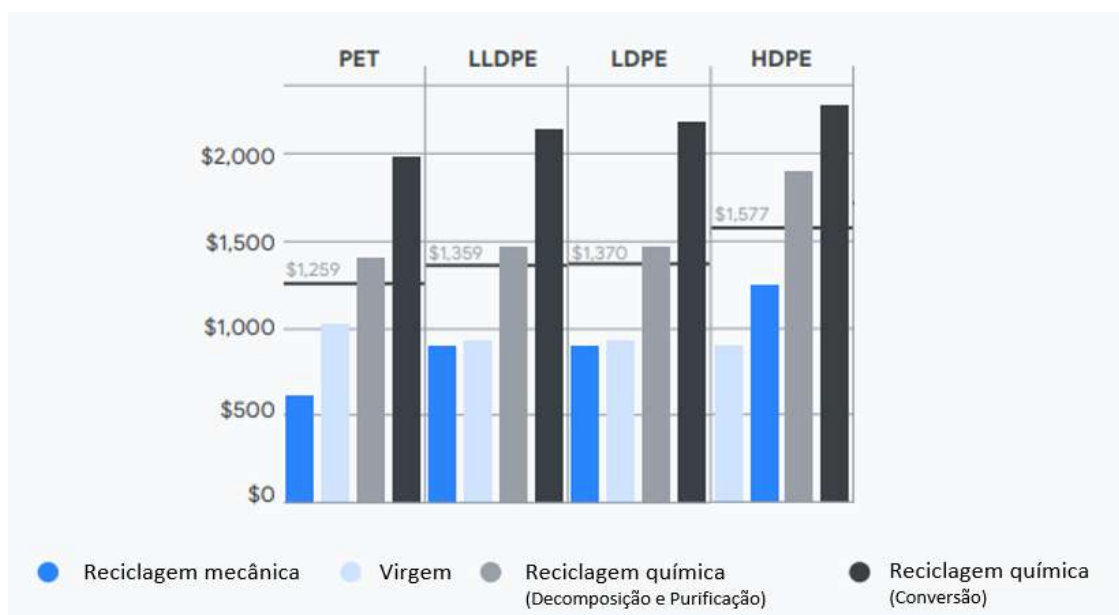
5.2 COMPARATIVO DOS MATERIAIS VIRGEM E PÓS-CONSUMO

A produção de plástico e seus custos atrelados variam de acordo com o polímero e região. Por exemplo, a América do Norte tende a ter uma vantagem de custo devido ao baixo custo do gás natural, matéria prima na fabricação de resinas virgens. A produção a partir de petróleo e gás é economicamente atraente porque os custos das matérias-primas são baixos, já que são coprodutos de produções de xisto e petroquímica; a integração é alta entre refinadores/atualizadores (ou seja, produtores de etano) e empresas químicas (ou seja, produtores de etileno), permitindo benefícios de localização, custos de transporte e sinergias em serviços; as receitas são diversificadas, as empresas petrolíferas expandem os seus portfólios de negócios para a petroquímica em busca de fontes de rendimento mais resilientes.

Frente a esse cenário, as resinas pós-consumo têm o desafio de serem atrativas para além de questões ambientais, precisam ser economicamente viáveis e atrativas para aplicações de investimentos em escala industrial.

O custo médio de produção dos polímeros estudados nas regiões da Ásia, América do Norte e Europa, encontram-se próximos (entre \$1.259 - 1.577 por tonelada), sendo assim é possível entender o efeito da reciclagem em seus mercados. Do ponto de vista comercial, a reciclagem mecânica se mostra competitiva em relação a produção do polímero virgem, chegando a ser mais vantajosa para o PET e estabelecendo valores equiparáveis para o PE. Enquanto a reciclagem química, possui um custo monetário de 1,4 a 1,9x superior aos plásticos virgens (Fig. 26).

Figura 26: Comparativo de preços entre os polímeros virgens e reciclados.



Fonte: Adaptado de IHS Markit, AFARA analysis, 2021.

5.3 REGULAMENTAÇÃO

As regulamentações para o uso de materiais pós-consumo em embalagens de cosméticos não estão bem definidas. Embora a avaliação da embalagem seja obrigatória para a segurança de produtos cosméticos, há informações limitadas sobre as características físico-químicas da embalagem acabada e as possíveis interações entre a formulação e a embalagem. A rotulagem de produtos cosméticos fornece informações sobre funcionalidade, uso adequado e segurança, mas há confusão entre cosméticos, produtos farmacêuticos, dispositivos médicos e biocidas. A conformidade com os regulamentos é altamente recomendada para garantir a segurança do produto e minimizar os efeitos adversos. No entanto, regulamentações específicas para o uso de materiais pós-consumo em embalagens de cosméticos não são mencionadas nos regulamentos fornecidos.

Existem até processos que geram embalagens com propriedades físicas adequadas, porém, segundo Labib, 2023, não são apropriadas para uso em contato com alguns alimentos. Por essa razão torna-se importante a diferenciação dos regulamentos que delimitam limites de tolerância para embalagens recicladas que serão destinadas a alimentos e a cosméticos. Considerando que na prática, esta falta de legislação específica leva a grandes empresas a prezar pelo conservadorismo, como exemplo, a L'Oréal que tenta conciliar a obrigatoriedade de manter o alto padrão de qualidade e de exigência e aumentar o uso de plástico reciclado, aceitando apenas materiais qualificado com grau alimentício.

5.3.1 Internacionais

Algumas normas são descritas e difundidas através da ISO, Organização Internacional de Normalização, que é uma organização não governamental e sem fins lucrativos, que tem como principal objetivo a criação de padrões que facilitem o comércio internacional e promovam boas práticas de gestão e avanços tecnológicos, garantindo confiabilidade, qualidade e simplificação.

Dentre as normas publicadas podemos destacar as seguintes que possuem aplicabilidade quanto a embalagens recicladas e materiais produzidos a partir de resinas pós-consumo, como a ISO 15270:2008, que descreve as diretrizes para a recuperação e reciclagem de resíduos plásticos, incluindo orientações para materiais provenientes de resíduos pré e pós consumo, requisitos de qualidade, padrões de testes e materiais e especificações de produtos. Atualmente a norma encontra-se em processo de revisão para subdividir os padrões e englobar as diferentes tecnologias de reciclagem.

Mais especificamente para os polímeros estudados aplicam-se as ISOs:

- ISO 12418–1:2012, estabelece um sistema de designação para reciclados de garrafas de poli(tereftalato de etileno) (PET) pós-consumo, que pode ser usado como base para especificações.
- ISO 12418–2:2012, descreve a preparação de corpos de prova e determinação de propriedades para materiais reciclados de garrafas de poli(tereftalato de etileno) (PET) pós-consumo.
- ISO 5677:2023, descreve procedimentos de teste e caracterização de polipropileno (PP) e polietileno (PE) reciclados mecanicamente para uso pretendido em diferentes técnicas de processamento de plásticos.

Essas normas podem ser usadas como base para o desenvolvimento de testes de qualidade que garantam a compatibilidade das embalagens recicladas de PET e PE com produtos cosméticos, garantindo a segurança para os usuários.

5.3.2 Brasil

As regulamentações no Brasil incluem requisitos para dados de comprovação de reivindicações, testes de estabilidade do produto, testes microbiológicos, embalagens apropriadas e compatíveis com o conteúdo.

Como incentivo a inovação para reciclagem dos materiais plásticos, podemos citar a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, tem como objetivo principal o gerenciamento dos resíduos sólidos e estipula a necessidade de planos para metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada.

O órgão responsável pela regulamentação e fiscalização dos materiais e embalagens utilizados para produtos cosméticos é a ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Apesar de atualmente não possuírem uma legislação específica em torno da aplicação de resinas pós consumo em embalagens cosméticas, os recicladores e fabricantes devem levar em consideração as normas existentes. Sendo a principal o Guia de estabilidade de cosméticos, as principais avaliações feitas nas embalagens para armazenamento de cosméticos, sendo as aplicáveis a plásticos:

- alterações na formulação – aspecto, cor, odor, entre outros;
- aspecto e funcionalidade da embalagem;
- integração e migração de componentes entre embalagem e produto;

- porosidade ao vapor d'água;
- transmissão da luz;
- termo-selagem (quando aplicável);
- deformações (colapsar ou abaular).

Existem ainda normas que tangenciam a utilização do plástico em um nível de pureza para aplicação em grau alimentício, que conforme a Norma RDC 56/2012, que atualizou a RDC nº 105, de 19 de maio de 1999, dispõe sobre a lista positiva de monômeros e polímeros autorizados para elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em alimentos. E mais especificamente para o PET ainda existe a Resolução RDC Nº 20, de 26 DE março de 2008, está dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre embalagens de polietileno tereftalato (PET) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício) destinados a entrar em contato com alimentos. Porém essas normas não determinam a padronização para outros setores como o de cosméticos, são levadas apenas em consideração por algumas empresas que estimam o preciosismo da qualidade indiscutível desse tipo de embalagens

Para a utilização de embalagens obtidas por novas tecnologias, como PET e PE pós consumo, a ANVISA determina que devem ser obrigatoriamente registradas antes de serem comercializadas. A empresa deverá emitir junto ao órgão o Certificado de Boas Práticas de Distribuição e/ou Armazenagem (CBPDA) é o documento emitido pela Anvisa atestando que determinado estabelecimento cumpre com as Boas Práticas de Distribuição e Armazenagem ou Boas Práticas de Armazenagem de Cosméticos dispostas na legislação em vigor. Permitindo assim que mesmo que não sejam aprovadas como grau alimentício, ainda possam ser usadas para armazenamento de maquiagens, produtos líquidos e dermocosméticos caso sejam apresentados e aprovados os testes de confiabilidade e compatibilidade.

5.3.3 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, o órgão responsável pela legislação aplicável aos cosméticos é o FDA - Food and Drug Administration, este não definiu regulamentos específicos para a utilização de embalagens plásticas pós consumo em contato com cosméticos. Sendo assim os fabricantes e fornecedores devem estar em conformidade com os requisitos das leis aplicáveis, como:

- Lei Federal de Alimentos, Medicamentos e Cosméticos é um conjunto de lei aprovadas pelo Congresso em 1938, que deu autoridade à FDA para supervisionar a segurança dos alimentos, medicamentos e cosméticos.

- Lei de Embalagem e Rotulagem Justa, na qual as implicações em relação a indústria de embalagens são analisadas do ponto de vista do consumidor. O foco do FPLA em rótulos contendo informações pertinentes ao material utilizado e suas classificações, destacando a necessidade de melhoria na proteção dos consumidores.

Sendo estas pouco específicas quanto ao uso de embalagens proveniente de materiais reciclados. Conseqüentemente, aplicam-se as ISOs para a garantia da qualidade das embalagens.

5.3.4 Europa

Na Europa os órgãos reguladores demonstram avanços quanto a inclusão de regulamentos específicos, além de alguns já existentes que apresentam evidentes correlações e importância, são eles:

- Regulamento 1223/2009, entre as vozes do Relatório de Segurança de Produtos Cosméticos do Arquivo de Informações do Produto (PIF), uma seção contendo “Impurezas, vestígios, informações sobre o material de embalagem” tornou-se obrigatória.
- EN 15344:2021 – Caracterização de polietileno (PE) reciclado, discute as condições de reciclagem dos plásticos e define um método de especificação das condições de entrega para os reciclados de polietileno (PE). Fornece as características mais importantes e os métodos de teste associados para avaliar os reciclados de PE destinados ao uso na produção de produtos semi acabados/acabados.

Assim como no Brasil, existem diversos regulamentos mais rigorosos quanto a materiais para embalagens em grau de qualidade alimentício, que apesar de não possuírem obrigatoriedade de consideração para produtos cosméticos, ainda assim podem estar sendo exigidos atendimentos para serem usados materiais reciclados pelas empresas consumidoras de embalagens, como:

- Regulamento Quadro Europeu 1831/2003 que aborda aspectos de segurança dos materiais utilizados em embalagens de alimentos, seus requisitos incluem a necessidade de fabricação de acordo com as boas práticas de fabricação, para evitar a transferência de constituintes das embalagens para o produto, garantindo assim a segurança da embalagem em relação a saúde do consumidor.,

- O Regulamento (UE) n.º 2020/1245 de 2 de setembro de 2020, altera e retifica o Regulamento (UE) n.º 10/2011 que estabelece uma lista da União de substâncias que podem ser utilizadas na fabricação de materiais e objetos de matéria plástica aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contato com os alimentos
- Regulamento Europeu de Reciclagem 282/2008, que estabeleceu as diretrizes para a reciclagem de plásticos para aplicações em contato com alimentos
- Regulamento CE n.º 2023/2006 como documento mais geral, estabelece as regras sobre boas práticas de fabrico (BPF) para materiais e artigos, incluindo os reciclados destinados ao contato com alimentos.

Na ausência de protocolos específicos para interação entre embalagens e formulações cosméticas, em 2020 na França, reuniu-se um grupo de 17 parceiros, incluindo fabricantes de plásticos e cosméticos, toxicologistas, escolas e setores profissionais, e formaram o grupo CosmetoPack (CHARPENTIER, 2023). Este grupo pretende através de pesquisas e testes, desenvolver um protocolo para gerenciar os riscos toxicológicos relativos às interações embalagem/fórmula, estabelecer limites de tolerância para estabelecer limites de tolerância para garantir a segurança de um produto, gerenciar riscos toxicológicos para interações embalagem/fórmula, desenvolver métodos de avaliação para se beneficiar de novos conhecimentos sobre produtos e antecipar possíveis novas regulamentações (LUXE, 2020).

5.4 AVANÇO DA IMPLEMENTAÇÃO DE EMBALAGENS RECICLADAS NO SETOR DE COSMÉTICOS

A utilização de polímeros reciclados em embalagens já é uma realidade no setor de cosméticos. Uma adaptação que vem sendo feita pela indústria, é optar por embalagens mono-materiais, isto é, produzidas a partir de uma única matéria-prima, ou de materiais do mesmo segmento, pois favorecem a cadeia de reciclagem plástica, facilitando o processo de separação (BRASKEM, 2019). Ainda assim, é possível que através de processos de produção e tecnologias inovadoras, sejam desenvolvidas embalagens cosméticas funcionais a partir de materiais já coletados, como exemplos:

- O frasco do gel de banho da marca Frosch Senses (Fig. 27), lançado em maio de 2019, teve que atender a requisitos particularmente rigorosos. Este frasco é a primeira embalagem usada em cosméticos feita com PEAD 100% reciclado, coletado de sacos de reciclagem doméstica. Uma inovação mundial em reciclagem

mecânica, baseada na cooperação entre Werner & Mertz, o fabricante dos produtos da marca Frosch, o Grupo com o Green Dot e EREMA.

Figura 27: Embalagens de gel de banho produzidas por PEAD reciclado



Fonte: Frosch, 2019.

- A empresa de cosméticos Cosnova que utilizou materiais reciclados pós-consumo feitos de embalagens usadas de lixeiras de plástico para reciclagem para criar suas tampas de suas embalagens para esmaltes (Fig. 28). Para isso, a Cosnova utiliza Procyclen do prestador de serviços ambientais Interseroh, marca do Grupo ALBA para estudo e elaboração das diretrizes de qualidade de acordo com especificações internas e sob sua própria responsabilidade. Como processo de produção utilizam a reciclagem mecânica um sistema de extrusão em cascata. A iniciativa atualmente está limitada às tampas de esmaltes e glosses que não entram em contato com o conteúdo do produto. Neste caso, 94% do material utilizado é reciclado.

Figura 28: Esmaltes que possuem tampas produzidas a partir de lixeiras plásticas



Fonte: Grupo Cosnova / ALBA, 2021.

- Albéa oferece um pack completo de máscaras feitas com 100% PCR PEAD (Fig.29). No caminho para criar mais embalagens “100% recicladas”, a empresa oferece frascos recarregáveis, tampas e pinceis para rímel, todos em materiais reciclados pós-consumo, fabricados no Albéa Tips Studio na Itália, que utiliza tecnologia de impressão 3D para criar novos designs de acordo com as necessidades do produto.

Figura 29: Produtos Albéa produzidos a partir de resinas PCR.



Fonte: Albéa Group, 2022.

- As embalagens e frascos da Natura Ekos são feitos de PET 100% reciclado (Fig. 30), foi a primeira marca a lançar refis perfumados em contato com materiais reciclados produzidos através da reciclagem mecânica.

Figura 30: Embalagem refil feita de PET reciclado



Fonte: Natura, 2023.

- L’Oréal anunciou em 2021 a realização do primeiro frasco de cosmético feito de PET totalmente reciclado usando a tecnologia enzimática da Carbios e pretende colocar em produção os frascos do produto Biotherm, baseados nesta inovação disruptiva em 2025.

Tem a vantagem de ser adequado para todos os tipos de PET – transparentes, coloridos, opacos e multicamadas e gerar pellets de qualidade semelhantes ao plástico virgem.

Além das iniciativas corporativas individuais, foi desenvolvido liderado pela Fundação Ellen MacArthur, em colaboração com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o Compromisso Global, que reuniu mais de 500 organizações em torno de uma visão comum de uma economia circular para os plásticos. No segmento de cosméticos, os signatários estão relatando metas para implementar modelos mais sustentáveis em um número mínimo de lojas de varejo ou em um número mínimo de linhas de produtos. Apesar dos relatos do setor, que apontam dificuldades da reciclagem devido as embalagens deste segmento serem de menor volumes e possuírem grande variedade de formatos e composições. Este setor foi um dos únicos que mais se destacou no ano de 2020 (+7%. Ellen MacArthur, 2021) por aumentar significativamente sua parcela de embalagens reutilizáveis, impulsionado pela implementação de reabastecimento dos produtos nas lojas e incentivo aos modelos de retorno.

Além disso, todos os produtores de cosméticos embalados se comprometeram a reduzir o uso de plástico virgem em embalagens em 33%, em média, até 2025. Assim como grandes produtores de produtos de cuidados pessoais embalados, também apresentaram mais signatários no ano de 2021 e metas de redução de 25 a 100% de resinas virgens aplicadas em suas embalagens em comparação aos anos anteriores, abaixo o Quadro 4 representa a evolução e o avanço em pontos percentuais.e

Quadro 4: Resultados dos players de produtos cosméticos embalados engajados no Compromisso Global

Organização	Setor	País sede	%PET	%PE	Embalagens plásticas reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis	Conteúdo pós-consumo reciclado
L'occitane en Provence	Cosméticos	Suíça	51,87	3,47	48,6% ▲ 8,2 pp Meta: 100%	21,4% ▲ 6,7 pp Meta: 40%
Natura Cosmetics	Cosméticos	Brasil	-	-	34,5% ▼ -21,5 pp Meta: 100%	15% ▲ 6,0 pp Meta: 25%

L'Oréal	Cosméticos	França	33,6	26	41,7% ▲ 9,0 pp Meta: 100%	15,8% ▲ 8,7 pp Meta: 50%
Beiersdorf	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Alemanha	-	-	45,4% --- Meta: 100%	1% --- Meta: 30%
Colgate- Palmolive Company	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Estados Unidos	30,46	38,09	60,8% ▲ 0,8 pp Meta: 100%	10% ▲ 3,0 pp Meta: 25%
Henkel AG & Co. KGaA	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Alemanha	12,6	33,50	79% ▲ 3,8 pp Meta: 100%	12% ▲ 3,5 pp Meta: 30%
Johnson & Johnson Consumer Health	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Estados Unidos	-	-	70% ▼ -2,0 pp Meta: 100%	1% = 0 pp Meta: 15%
Reckitt	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Reino Unido	9,2	39,70	61,8% ▲ 2,8 pp Meta: 100%	3,5% ▲ 0,5 pp Meta: 25%
SC Johnson	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Estados Unidos	14,4	44,31	65,3% ▲ 3,5 pp Meta: 100%	18,8% ▲ 3,1 pp Meta: 25%
The Clorox Company	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Estados Unidos	15	63,00	77% = 0 pp Meta: 100%	11% = 0 pp Meta: 17%
Unilever	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Reino Unido	-	-	52% ▲ 2,0 pp Meta: 100%	11% ▲ 6,0 pp Meta: 25%

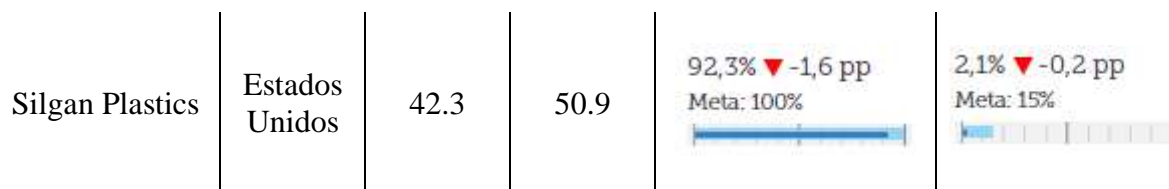
Werner & Mertz GmbH	Cosméticos, cuidados pessoais e outros	Alemanha	47,9	28,80	74,3% ▲ 2,3 pp Meta: 100%	53,9% ▲ 1,9 pp Meta: 100%
---------------------	--	----------	------	-------	------------------------------	------------------------------

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur, 2021

Algumas empresas produtoras de embalagens também estão comprometidas com a meta de alcançar os 100% de embalagens plásticas reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis e estipularam metas para incorporar materiais reciclados pós consumo em seu portfólio, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Resultados dos players produtores de embalagens engajados no Compromisso Global

Organização	País sede	%PET	%PE	Embalagens plásticas reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis	Conteúdo pós-consumo reciclado
Albéa	França	-	84,8	17,8% ▲ 3,4 pp Meta: 100%	0,8% ▲ 0,6 pp Meta: 10%
Amtor	Suíça	47	2	46% ▼ -1,0 pp Meta: 100%	5% ▲ 1,0 pp Meta: 10%
AptarGroup Inc.	Estados Unidos	32	47	57,2% ▼ -6,5 pp Meta: 100%	0,5% ▲ 0,3 pp Meta: 10%
Berry Global	Estados Unidos	-	-	53% ▲ 2,0 pp Meta: 100%	2,3% ▲ 0,1 pp Meta: 10%
Graham Packaging Company	Estados Unidos	47	47	99,1% ▲ 1,1 pp Meta: 100%	7% ▼ -0,7 pp Meta: 20%



Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur, 2021

Outro fator que pode impulsionar as próximas etapas da implementação de embalagens recicladas no setor é o surgimento do conceito de “*beauty grade*” introduzido pelo relatório Garnier 2022, que se diferencia em alguns aspectos do já consolidado e regulamentado grau alimentício, neste caso adota-se um padrão, em que o material plástico reciclado deve atender aos aspectos técnicos de qualidade, ser compatível com as fórmulas e possuir estabilidade ao longo do tempo (L’OREAL, 2022). O desenvolvimento desse conceito a longo prazo pela comunidade acadêmica pode estimular novos processos de produção de embalagens recicladas, provenientes de materiais plásticos de pós consumo, para cosméticos.

6 CONCLUSÕES

Os plásticos representam uma parcela substancial nas embalagens utilizadas pela indústria dos cosméticos, entre os polímeros o polietileno tereftalato (PET) e o polietileno (PE) são os mais relevantes devido a sua versatilidade, leveza, baixo custo de produção, higiene, segurança e potencial de reciclabilidade. Ambos podem ser aplicados na produção de potes, tampas, frascos, aplicadores, entre outros.

A reciclagem desses materiais representa um grande desafio devido a quantidade de materiais utilizados para a produção de uma única embalagem. Porém, atualmente existem tecnologias capazes de realizar a separação, limpeza e homogeneização dos pellets gerando produtos com qualidades apropriadas e compatibilidade com as fórmulas cosméticas. Sendo assim, devido a simplicidade e custos mais baixos, a reciclagem mecânica tem sido a mais difundida para obtenção de polímeros reciclados em comparação com a química e biológica. Em contrapartida, levando em consideração a alta qualidade dos materiais produzidos por esses processos, têm sido realizados investimentos e estudos em escala piloto de formas para produção que sejam economicamente viáveis por esses métodos.

Após extensa pesquisa, verificou-se que na maioria dos países atualmente ainda existem poucas regulamentações específicas para o uso de resinas recicladas em embalagens cosméticas e sobre a compatibilidade com os produtos armazenados, por essa razão têm sido considerados pelas empresas, mesmo que não obrigatórias, normas já estabelecidas para uso alimentício. Por

essa razão, é necessário que haja uma avaliação crítica das empresas que desejam utilizar das embalagens PCR para seus produtos, sobre as especificações cruciais para garantir segurança nos produtos, se há necessidade do grau de pureza alimentício, ou se é possível que as embalagens sejam expostas a avaliação e aprovação pelos órgãos competentes para verificar seu potencial de aplicação no setor, como a iniciativa CosmetoPack.

As embalagens recicladas já são realidade no setor de cosméticos, como exemplo Frosch, Cosnova, Albéa, L'Oréal e Natura desenvolveram em parceria com fornecedores de embalagens soluções inovadoras para substituição dos polímeros virgens por reciclados (pré e pós consumo). Além disso, metas e compromissos globais tem sido pactuado para avaliar o avanço dos players em adotar soluções mais sustentáveis em seus segmentos, demonstrando assim o comprometimento e evolução da adoção de embalagens recicladas na prática. Para que essa demanda cresça e seja difundida para outras empresas, são essenciais esforços coletivos no desenvolvimento de tecnologias, conscientização da população e promover escolhas que minimizem os impactos ambientais.

7 REFERÊNCIAS

1. ABIPLAST. **As indústrias de transformação e reciclagem de plástico no Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2022/10/Perfil-2021-PT-vs2.pdf>.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Guia de estabilidade de produtos cosméticos**. Brasília: Editora Anvisa, 2005.
3. ALBEA GROUP. **100% PCR mascara packaging**. 2022. Disponível em: <https://www.albea-group.com/article/100-pcr-mascara-packaging>. Acesso em: 9 nov. 2023.
4. ALTUS. **Sistemas de Automação | Altus**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/517/o-que-e-parison-2c-novo-recurso-da-ihm-p5>. Acesso em: 19 dez. 2023.
5. BARBOSA, Luiz Antonio; DREGER, Ademir. **Low density polyethylene-LDPE: market, production, properties and applications**. 2016.
6. BEAUTYPACKAGING. **Mono-Materials Answer the Call for “Recycle-Ready” Packages**. Disponível em: https://www.beautypackaging.com/issues/2022-10-01/view_features/mono-materials-answer-the-call-for-recycle-ready-packages/. Acesso em: 9 nov. 2023.
7. BENYATHIAR, P.; KUMAR, P.; CARPENTER, G.; BRACE, J.; MISHRA, D.K. **Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review**. *Polymers*, v. 14, n. 12, p. 2366, 11 jun. 2022.

<https://doi.org/10.3390/polym14122366>

8. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Resolução RDC nº 20, de 26 de março de 2008**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre embalagens de polietilenotereftalato (PET) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício). 2008
9. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 105, de 19 de maio de 1999**. Aprova os regulamentos técnicos: disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos.
10. BRIASCO, Benedetta et al. **Packaging evaluation approach to improve cosmetic product safety**. *Cosmetics*, v. 3, n. 3, p. 32, 2016.
11. CHARPENTIER, A. **Evaluating container/content interactions: a challenge in the cosmetics sector**. 14 fev. 2023. Disponível em: <<https://www.premiumbeautynews.com/en/evaluating-container-content,21540>>. Acesso em: 09 nov. 2023.
12. COLTRO, L., GASPARINO, B. F., & QUEIROZ, G. de C. - **Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta**. *Polímeros*, 18(2), 119–125, 2018. doi:10.1590/s0104-14282008000200008
13. CONSTANTINESCU, D. et al. **Technological Considerations Regarding the Mechanical Recycling of Waste from Polyethylene and Polypropylene Packaging**. 15 nov. 2022. doi: 10.24264/icams-2022.iv.3
14. **Cosmetic Europe Advisory Document (2019)**. Information Exchange on Cosmetic Packaging Materials Along the Value Chain in the Context of the EU Cosmetics Regulation EC 1223/2009. “<https://cosmeticseurope.eu/download/UG14b1RFS01qdlllbfBwdTZlRXRwdz09>”
15. COUNCIL OF EUROPE. **Committee of Ministers. Resolution AP (89)1 on the use of colourants in plastic materials coming into contact with food**. 13 Sept. 1989. 6 p.
16. COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. DE. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações**. *Polímeros*, v. 13, n. 1, p. 01-13, jan. 2003. doi:10.1590/s0104-14282003000100005
17. CUNHA, Fernanda; FORTE, Madalena. **Avaliação do Desempenho de Catalisadores Híbridos Ziegler-Natta/Metaloceno na Homo- e Copolimerização de Etileno**. Laboratório de Materiais Poliméricos, Departamento de Materiais, Escola de Engenharia, UFRGS, 2000.
18. DÁVILA, Marcos Akira et al. **Processo de moldagem por injeção de polímeros semicristalinos: caracterização e simulação assistida por computador**. 1997.
19. DOOLAN, T., et. al. - **Design of a Commercial Scale PET Production Facility** - NC State University, poster. 2020

20. DURANEL, L.; MLINARIC, J.-M. **Recycling of high-density polyethylene from domestic polymer waste**. 2012. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/WO2012139967A1/en>>. Acesso em: 9 ago. 2023.
21. EISELE, Fernando; PETRINI, Maira; VACCARO, Guilherme. **A inovação sustentável na cadeia suprimentos do plástico verde a partir da ótica do ciclo de vida do produto**. Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica: ALTEC, Porto Alegre 2015. Disponível em: <<http://altec2015.nitec.co/altec/papers/904.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2023.
22. ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, **“The Global Commitment 2021 Progress Report” Cosmetics Sector Insights report**, 2021.
23. EQUIPE ONZE, **7.Sustentabilidade, manutenção e conservação**. Disponível em: <<https://equipeonze.wordpress.com/topicos/7-sustentabilidade-manutencao-e-conservacao/>>. Acesso em: 15 set. 2023
24. FMI Future Market Insights.. **Plastic Market Snapshot (2023 to 2033). Plastic Market Snapshot (2023 to 2033)**. Disponível em: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/plastic-market>. Acesso em: 15 nov. 2023.
25. FORTE, M.C.; MIRANDA, M.S.L. & DUPPONT, J. – **Novas Resinas Produzidas com Catalisadores Metalocênicos**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, p. 49, Jul/Set 1996.
26. GASPAR-CUNHA, A. Modelling and optimisation of single screw extrusion. 2000. Tese de Doutorado. University of Minho.
27. GMBH, E. G. **First cosmetics packaging on the market made of 100% recycled materials** | EREMA Group. 2019. Disponível em: <<https://www.erema-group.com/en/erste-kosmetikverpackung-aus-100-prozent-rezyklat-am-markt>>. Acesso em: 9 nov. 2023.
28. GOOGLE; AFARA; IHS MARKIT. **Closing the Plastics Circularity Gap**. Mar 2022. Sustainable Innovation & Technology - Google Sustainability. Disponível em: <<https://sustainability.google/reports/google-closing-circularity-gap/>>. Acesso em: 19 out. 2023.
29. GRUPO MERCADO COMUM. MERCOSUR/GMC/Res. n° 39/19. **Regulamento Técnico MERCOSUL sobre a lista positiva de aditivos para elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos destinados a entrar em contato com alimentos** (revogação da Resolução GMC n° 32/07). Santa Fé, 15 jul. 2019.
30. GUO, B. et al. **Fast Depolymerization of PET Bottle Mediated by Microwave Pre-Treatment and An Engineered PETase***. ChemSusChem, v. 16, n. 18, 9 ago. 2023. Disponível em: 10.1002/cssc.202300742.
31. HORODYTSKA, O.; VALDÉS, F. J.; FULLANA, A. **Plastic flexible films waste management – A state of art review**. Waste Management, v. 77, p. 413–425, jul. 2018. doi:10.1016/j.wasman.2018.04.023

32. IHS Markit, “**Circular Plastics Service**” 2021.
33. INTERPACK. **Cosnova implements post-consumer recycled material in packaging for its decorative cosmetics for the first time**. Disponível em: <https://www.interpack.com/en/Media_News/Tightly_Packed_Magazine/COSMETICS_PACKAGING/News/cosnova_implements_post-consumer_recycled_material_in_packaging_for_its_decorative_cosmetics_for_the_first_time> 2021. Acesso em: 9 dez. 2023.
34. JI, L. N. **Study on Preparation Process and Properties of Polyethylene Terephthalate (PET)**. *Applied Mechanics and Materials*, v. 312, p. 406–410, fev. 2013. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.312.406.
35. JONES, H.; SAFFAR, F.; KOUTSOS, V.; RAY, D. **Polyolefins and Polyethylene Terephthalate Package Wastes: Recycling and Use in Composites**. *Energies* 2021, 14, 7306. <https://doi.org/10.3390/en14217305>.
36. L'ORÉAL. **The First Cosmetic Bottle Derived From Enzymatic Plastic Recycling**. 2021. Disponível em: <<https://www.loreal.com/en/news/commitments/loreal-launches-the-first-cosmetic-bottle-made-from-recycled-plastic-with-carbios/>>. Acesso em: 9 nov. 2023.
37. LABIB, Ramez etl al., **Safety assessment of the use of recycled high-density polyethylene in cosmetics packaging based on in silico modeling migration of representative chemical contaminants for dermal sensitization and systemic endpoints**, *Computational Toxicology*, Volume 25,2023,100260, ISSN 2468-1113,<https://doi.org/10.1016/j.comtox.2023.100260>.
38. LIU, S., KOTS, P. A., VANCE, B. C., DANIELSON, A., & VLACHOS, D. G. **Plastic waste to fuels by hydrocracking at mild conditions**. *Science Advances*, 7(17), eabf8283. Abr. 2021. doi:10.1126/sciadv.abf8283
39. LUXE, F. DE. **CosmetoPack: Beauty players team up for pack/formula interaction research**. www.formesdeluxe.com, 23 jun. 2020.
40. MAITY, W.; MAITY, S.; BERA, S; ROY, A.. **Emerging Roles of PETase and MHETase in the Biodegradation of Plastic Wastes**. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 193, 1 abr. 2021. 10.1007/s12010-021-03562-4.
41. MAMAPLAST. **PEAD**. Disponível em: <<http://www.mamaplast.com.br/index.php?a=pro>> . Acesso em: 02 nov. 2023
42. MARKET.US. **Cosmetic Packaging Market Size, Share | Forecast 2032**. Disponível em: <<https://market.us/report/cosmetic-packaging-market/#overview>>. Acesso em: 8 nov. 2023.
43. MARKETS AND MARKETS. **Recycled Plastics Market Global Forecast to 2026** . Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/recycled-plastic-market-115486722.html>>.

44. MAXIQUIM. **Cálculo dos índices de reciclagem mecânica de plásticos pós-consumo no Brasil**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.picplast.com.br/portal/picplast/arquivos/Indices-Reciclagem-2020-PICPlast-divulgacao-final.pdf>>.
45. MESQUITA, M. S., & ABRANTES, S. M. P. - **Potential antioxidant migration from polyethylene packaging to food: a systematic review**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 32(4), e2022042. 2022. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.20220081>
46. MITSUI, Takeo (Ed.). **Cosmetics and containers**. New cosmetic science. Elsevier, 1997. p. 235-247.
47. MORSCHBACKER, Antonio. **Bio-Ethanol Based Ethylene**. Centro de Tecnologia e Inovação. Braskem S.A. Porto Alegre, 2008.
48. NATURA BRASIL - **As embalagens da natura Brasil**. Disponível em: <<https://www.naturabrasil.fr/pt-pt/os-nossos-valores/as-embalagens-natura-brasil>>. Acesso em: 9 nov. 2023.
49. NECTARIOS, Vidakis., MARKOS, Petousis., ATHENA, Maniadi. **Sustainable Additive Manufacturing: Mechanical Response of High-Density Polyethylene over Multiple Recycling Processes**. (2021).;6(1):4-. doi: 10.3390/RECYCLING6010004
50. NISTICÒ, R. **Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry**. *Polymer Testing*, v. 90, p. 106707, out. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2020.106707>
51. OSORIO, G. I. B.; PAEZ, S. M. B. **Method for recycling high-density polyethylene (HDPE) material by thermofusion and recycled hdpe products**. 2019. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/EP3527345A1/en>>. Acesso em: 6 ago. 2023.
52. RESEARCH DIVE. **Plastic Recycling Market Growth Regional Analysis & Key Players By 2026**. Disponível em: <<https://www.researchdive.com/173/plastic-recycling-market>>.
53. Revista FAPESP. **Planeta plástico**, 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>>. Acesso em: 15 nov. 2023
54. RIBALDI, A. R. **Polímeros na indústria cosmética**. 24 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/pol%C3%ADmeros-na-ind%C3%BAstria-cosm%C3%A9tica-alessandra-rigo-rinaldi/?originalSubdomain=pt>>. Acesso em: 5 set. 2023
55. ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, MARCO-A. D. **Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem**. *Polímeros*, v. 19, n. 2, p. 121–132, jun. 2009. doi:10.1590/s0104-14282009000200009
56. SALLVE, ROCHA Gabriella. **Reciclagem de cosméticos é necessária: saiba como fazer**. Disponível em: <<https://www.sallve.com.br/blogs/sallve/reciclagem-de->

cosmeticos>. Acesso em: 02 nov. 2023

57. SCHYNS, Z. O. G.; SHAVER, M. P. **Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review**. *Macromolecular Rapid Communications*, v. 42, n. 3, p. 2000415, 30 set. 2020. <https://doi.org/10.1002/marc.202000415>
58. **Scientific Committee on the Consumer Safety (SCCS)**. Opinion on Preservative EcoG+; European Commission: Brussels, Belgium, 2016.
59. SOREN, Flachowsky. **PET recycling: Review of the current available technologies and industrial perspectives**. 2021. 215-267. doi: 10.1016/bs.ache.2022.09.003
60. SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurelio. **A tecnologia da reciclagem de polímeros**. *Química nova*, v. 28, p. 65-72, 2005.
61. THANKUR, A., GUPTA, S., CHAUDHARU, P. **Slurry-phase ethylene polymerization processes: a review on multiscale modeling and simulations**. *Reviews in Chemical Engineering*, Vol. 38 (Issue 5), pp. 539-568. 2022. <https://doi.org/10.1515/revce-2020-0048>
62. TOURNIER, V. et al. **An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles**. *Nature*, v. 580, n. 7802, p. 216–219, abr. 2020.
63. **Towards Circular Economy: Closing the Loop with Chemical Recycling of Solid Plastic Waste**. Academic Press, 2022.
64. VIGNOL, L.d.A. **Desenvolvimento de Modelos Simplificados para o Estudo da Extrusão de Polímeros**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
65. WALLE, Frank, **Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview**, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 55, Issue 11, 2011, Pages 865-875, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.009>.
66. ZANDER, N. E.; GILLAN, M.; LAMBETH, R. H. **Recycled polyethylene terephthalate as a new FFF feedstock material**. *Additive Manufacturing*, v. 21, p. 174–182, 1 maio 2018. doi:10.1016/j.addma.2018.03.007