

**INSTITUTO FEDERAL**

Goiano

Campus Rio Verde

**BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**PROPRIEDADES E APLICAÇÃO INDUSTRIAL DE  
BLENDAS POLIMÉRICAS DE POLIETILENO EM  
EMBALAGENS FLEXÍVEIS**

**GABRIELLA ROCHA QUEIROZ DE OLIVEIRA**

**RIO VERDE, GO**

**2025**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**PROPRIEDADES E APLICAÇÃO INDUSTRIAL DE BLENDA  
POLIMÉRICAS DE POLIETILENO EM EMBALAGENS  
FLEXÍVEIS**

**GABRIELLA ROCHA QUEIROZ DE OLIVEIRA**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Eloiza da Silva Nunes Viali.

**Rio Verde - GO**

**Fevereiro, 2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

Oliveira, Gabriella Rocha Queiroz de

O48p Propriedades e Aplicação Industrial de Blendas Poliméricas de Polietileno em Embalagens Flexíveis / Gabriella Rocha Queiroz de Oliveira. – Rio Verde 2025

39f. : il.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Eloiza da Silva Nunes Viali.  
Tcc (Bacharel) – Instituto Federal Goiano, curso de 0220354  
- Bacharelado em Engenharia Química - Integral – Rio Verde  
(Campus Rio Verde).

1.Extrusão. 2. Plásticos. 3. Polímeros. 4. Resinas. I. Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

## PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

### NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

#### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

#### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:    Não    Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:    /    /

O documento está sujeito a registro de patente?    Sim    Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?    Sim    Não

#### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 **GABRIELLA ROCHA QUEIROZ DE OLIVEIRA**  
Data: 17/02/2025 22:51:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local    /    /  
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 **ELOIZA DA SILVA NUNES VIALI**  
Data: 18/02/2025 08:50:27-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 6/2025 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos doze dias do mês de fevereiro de 2025, às 15 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Profa. Dra. Eloiza da Silva Nunes Viali, Prof. Dr. Rogério Favareto e Prof. Dr. Wesley Renato Viali, para examinar o Trabalho de Curso intitulado "**PROPRIEDADES E APLICAÇÃO INDUSTRIAL DE BLENDS POLIMÉRICAS DE POLIETILENO EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS**" do estudante **GABRIELLA ROCHA QUEIROZ DE OLIVEIRA**, Matrícula nº 2020102203540031 do Curso de Bacharelado em Engenharia Química do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Dra. Eloiza da Silva Nunes Viali  
Orientador

*(Assinado Eletronicamente)*

Dr. Rogério Favareto  
Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

Dr. Wesley Renato Viali  
Membro

#### **Observação:**

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Eloiza da Silva Nunes Viali**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/02/2025 16:05:10.
- **Wesley Renato Viali**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/02/2025 16:09:26.
- **Rogério Favareto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/02/2025 16:13:12.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 673524

Código de Autenticação: 9205eef54a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 18/2025 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

**GABRIELLA ROCHA QUEIROZ DE OLIVEIRA**

**PROPRIEDADES E APLICAÇÃO INDUSTRIAL DE BLENDS POLIMÉRICAS DE POLIETILENO  
EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 12 de fevereiro de 2025, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Eloiza da Silva Nunes Viali  
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde  
Orientadora  
*(assinado eletronicamente)*

Prof. Dr. Rogério Favareto  
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde  
Membro Interno  
*(assinado eletronicamente)*

Prof. Dr. Wesley Renato Viali  
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde  
Membro Interno  
*(assinado eletronicamente)*

Documento assinado eletronicamente por:

- **Eloiza da Silva Nunes Viali, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 12/02/2025 16:06:53.
- **Wesley Renato Viali, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 12/02/2025 16:10:52.
- **Rogério Favareto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 12/02/2025 16:11:38.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 673523

Código de Autenticação: 53e5443f3f



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Márcia e Elisson, que sempre me ofereceram  
asas para que eu pudesse voar.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos da minha família que acreditaram e acreditam em mim, sempre me forneceram o suporte necessário para continuar e para alcançar meus objetivos, que por tantas vezes acabaram se tornando deles também. Aos amigos que fiz durante o processo e que foram responsáveis por tornaram todo o caminho mais leve.

Agradeço também a todos os professores que me transmitiram seus conhecimentos, aos IF Goiano e aos projetos que pude participar dentro da instituição, os quais me ajudaram a crescer durante essa jornada.

Por fim, agradeço os colegas de trabalho e à minha orientadora por cooperar com este trabalho acadêmico.

## RESUMO

OLIVEIRA, Gabriella Rocha **Queiroz de. Propriedades e aplicação industrial de blendas poliméricas de polietileno em embalagens flexíveis.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2025.

O presente trabalho discorre sobre a experiência profissional adquirida em uma indústria de embalagens flexíveis na área de pesquisa e desenvolvimento. Esse tipo de indústria compõe a terceira geração da cadeia petroquímica e tem papel relevante no cenário industrial brasileiro, sendo responsável por movimentar bilhões de reais todos os anos, impulsionado principalmente pelo setor produtivo de bens de consumo. Nesse sentido, atualmente, o polietileno é um dos principais polímeros empregados na produção de filmes e sacos, comumente por meio de misturas, chamadas blendas poliméricas. As blendas são composições que combinam diferentes tipos de resinas com certo grau de compatibilidade, tais como PEAD, PEBD e PELBD. Essas misturas são utilizadas de acordo com a finalidade do produto acabado, para melhorar a processabilidade, ou para que as propriedades do material produzido sejam aperfeiçoadas. As misturas podem ser empregadas em processos de mono ou coextrusão, por isso, é importante observar parâmetros como aditivação, temperatura de fusão, índice de fluidez, densidade, tensão de ruptura, alongamento de ruptura, resistência ao impacto, resistência ao rasgo, opacidade e brilho das resinas utilizadas, considerando-se a contribuição de cada uma delas para a formulação. Afinal, todas as etapas posteriores são afetadas pela qualidade e desempenho do filme formado. Para concluir, é possível perceber que a pesquisa e desenvolvimento é um fator crucial para avaliar três pontos-chaves que contribuem para a tomada de decisões estratégicas: as características e parâmetros dos polímeros utilizados nas blendas, a processabilidade do material, desde a extrusão até o acabamento, e sua utilização final.

**Palavras-chave:** Extrusão, plástico, polímeros, resinas.

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

|                |   |
|----------------|---|
| ABRE           | Associação Brasileira da Embalagem                  |
| ASTM           | <i>American Society for Testing &amp; Materials</i> |
| BOPP           | Polipropileno biorientado                           |
| CNAE           | Classificação Nacional por Atividade Econmica      |
| COF            | Coefficiente de atrito                              |
| IBGE           | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística     |
| LRT            | Limite de Resistência  tração                      |
| ONU            | Organização das Nações Unidas                       |
| P&D            | Pesquisa e Desenvolvimento                          |
| PA             | Poliamida   |
| PE             | Polietileno   |
| PEAD           | Polietileno de Alta Densidade                       |
| PEBD           | Polietileno de Baixa Densidade                      |
| PELBD          | Polietileno Linear de Baixa Densidade               |
| PET            | Poli(etileno tereftalato)                           |
| PEUAPM         | Polietileno de Ultra Peso Molecular                 |
| PEUBD          | Polietileno de Ultra Baixa Densidade                |
| PIA            | Pesquisa Industrial Anual                           |
| PIB            | Produto Interno Bruto                               |
| PIM-PF         | Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física       |
| PP             | Polipropileno                                       |
| PVC            | Policloreto de vinila                               |
| T <sub>f</sub> | Temperatura de fluxo                                |
| T <sub>g</sub> | Temperatura de transição vítrea                     |
| T <sub>m</sub> | Temperatura de fusão                                |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Valor da produção e receita líquida de vendas de filmes e sacos plásticos de 2018 a 2022. ....               | 14 |
| <b>Figura 2:</b> Percentual do total geral do valor da produção e receita líquida de vendas de filmes e sacos plásticos. .... | 14 |
| <b>Figura 3:</b> Produção Física Industrial de filmes e embalagens de plástico de 2023 a outubro de 2024. ....                | 15 |
| <b>Figura 4:</b> Estrutura do Polietileno. ....   | 17 |
| <b>Figura 5:</b> Mecanismo de polimerização do eteno por adição. ....   | 18 |
| <b>Figura 6:</b> Estrutura molecular do polietileno. ....   | 20 |
| <b>Figura 7:</b> Pellets de polietileno. ....   | 24 |
| <b>Figura 8:</b> Esquema de cilindro com rosca do processo de extrusão. ....  | 27 |
| <b>Figura 9:</b> Esquema do processo de extrusão por sopro. ....  | 28 |
| <b>Figura 10:</b> Representação da coextrusão. ....   | 28 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1:</b> Valor da produção e receita líquida de vendas de filmes (películas) de material plástico e sacos, sacolas e bolsas de plástico de 2018 a 2022. .... | 13 |
| <b>Tabela 2:</b> Faixa de densidade de resinas de polietileno. ....  | 19 |
| <b>Tabela 3:</b> Propriedades mecânicas, térmicas, químicas e ópticas de resinas de polietileno. ....  | 23 |
| <b>Tabela 4:</b> Resinas do portfólio Braskem.....   | 25 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2.1 Produção, Consumo e Meio Ambiente.....</b>                           | <b>12</b> |
| <b>2.2 Polietileno .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.3 Tipos de Polietileno .....</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>2.4 Propriedades do Polietileno .....</b>                                | <b>20</b> |
| <b>2.5 Principais Fornecedores no Brasil.....</b>                           | <b>24</b> |
| <b>2.6 Fabricação de Filmes Poliméricos para Embalagens Flexíveis .....</b> | <b>26</b> |
| <b>2.7 Blendas Poliméricas .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E DISCUSSÃO .....</b>                         | <b>30</b> |
| <b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                   | <b>33</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer do curso de engenharia química, houve a oportunidade de vivenciar uma experiência de estágio em uma indústria de transformados de plásticos, que conta com cinco unidades fabris, incluindo uma em Rio Verde, Goiás. Nesse estágio, foi possível compreender na prática a dinâmica e os desafios do ambiente profissional.

O presente trabalho visa compartilhar a bagagem adquirida por meio das atividades desenvolvidas nesse período, as quais permitiram aplicar os conhecimentos adquiridos durante a graduação, aliando-se teoria à prática, e contribuir para formação profissional.

As embalagens flexíveis podem ser feitas de diversos materiais como papel (celulose), papel-alumínio e plástico, ou por combinados desses. Diante disso, inegavelmente, o emprego de embalagens flexíveis plásticas, as quais incluem, filmes, folhas, sacos e sacolas, cresce cada vez mais, uma vez que elas possuem menor preço, facilitam o transporte de produtos e se adaptam bem às tendências de embalagens inteligentes e ativas (Morris, 2022).

Em consideração a isso, esse tipo de embalagem possui uma vasta gama de aplicações, tais como para embalar alimentos frescos, como carnes e aves, vegetais, alimentos congelados, lácteos e seus derivados, lanches e guloseimas (*snacks*), ração animal, fármacos, produtos de higiene entre outros, além de servir como rotulagem e etiquetagem, por exemplo (Anyadike, 2009).

Nessa conjuntura, de acordo com a Classificação Nacional por Atividade Econômica (CNAE) as embalagens flexíveis incluem tanto os produtos laminados, isto é, materiais compostos por várias camadas de plástico unidas, que formam estruturas mais resistentes e versáteis, seja em formatos planos (como folhas) ou tubulares (em forma de tubos), como também filmes (películas), sacos, sacolas ou bolsas de plástico, de qualquer dimensão, impressas ou não.

A área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), na qual as atividades relatadas neste trabalho foram desenvolvidas, tem como intuito impulsionar a criação de novas soluções e produtos. Ela é um dos pilares para que uma empresa trabalhe com inovação, competitividade no mercado e atenda as expectativas de desempenho desejadas pelos clientes. Não obstante, define-se os seguintes segmentos de inovação: contínuas ou de ordem incremental, isto é, melhorias a partir de processos e produtos já existentes, e

inovações radicais, as quais transformam a forma como um processo ou produto é desenvolvido (Higgins, *apud* Xavier *et. al.*, 2014).

Nesse âmbito, para uma indústria de embalagens, os plásticos flexíveis podem ser manufaturados de três principais formas: monomaterial, isto é, usado sozinho; em multicamadas, ou seja, combinados com outros polímeros; e por fim, combinados com outros materiais, como alumínio e papelão. Sendo assim, os principais polímeros utilizados para a fabricação das embalagens flexíveis são o polietileno (PE), com lugar de destaque, o polipropileno biorientado (BOOP), o polipropileno (PP), a poliamida (PA), o policloreto de vinila (PVC) e o poli(etileno tereftalato) (PET) (Anyadike, 2009).

De acordo com Xavier *et. al.*, um projeto “é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”. Em virtude disso, é comum que a área de P&D seja responsável por trabalhar em projetos que visem a criação de fórmulas exclusivas para os produtos, as quais combinam diferentes tipos de resinas, com finalidades diversas para obtenção de produtos únicos que garantam a inovação, competitividade e bom custo-benefício para a empresa (Guia PMBOOK, *apud* Xavier, *et.al.*, 2014).

As fórmulas citadas, muitas vezes, podem fazer o uso de blendas poliméricas, que podem ser entendidas como uma mistura de diferentes polímeros aplicada ao processo de produção em estruturas mono ou multicamadas, capazes de melhorar a processabilidade e performance final do material. Diante desse cenário, a Engenharia Química desempenha um papel fundamental na busca por soluções que conciliem a performance dos produtos com qualidade e eficiência produtiva.

Diante disso, este trabalho buscou explorar sobre embalagens flexíveis de plástico e a importância crucial de blendas poliméricas para obtenção de produtos adequados e inovadores para o mercado de bens de consumo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Produção, Consumo e Meio Ambiente**

De acordo com Cirino, Lino e Teixeira (2017) as indústrias de transformados de plásticos se enquadram como plantas fabris de média-baixa intensidade tecnológica. Visto isso, um dos maiores consumidores dos produtos gerados por esse tipo de indústria é o setor de alimentos e bebidas, segundo dados da Associação Brasileira da Embalagem

(ABRE), em 2023, esse segmento foi responsável pelo consumo de 901 mil toneladas de embalagens.

De forma geral, a indústria de materiais de polímeros, borrachas e plásticos tem importante relevância para a indústria de transformação brasileira, movimentando bilhões de reais todos os anos. Sendo assim, de 2010 a 2021, a parcela de contribuição das indústrias de borrachas e plásticos ficou na faixa de 2,0% a 2,5%, dos 55,4% da participação da indústria de transformação no cálculo do Produto Interno Bruto (PIB) do setor industrial (Portal da Indústria, 2024).

A pesquisa realizada pela Pesquisa Industrial Anual (PIA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), demonstra que o valor da produção e a receita líquida de vendas de 2018 a 2022 vem crescendo a cada ano, embora, seja fato que no ano de 2022, a participação em percentual do total geral do setor industrial brasileiro tenha reduzido 5% e 6% em valor de produção e receita líquida de vendas, respectivamente, conforme ilustrado na **Tabela 1**.

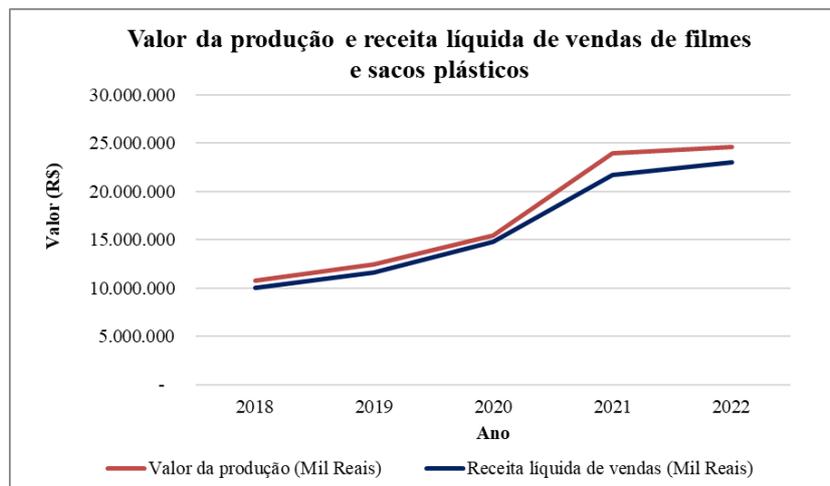
**Tabela 1:** Valor da produção e receita líquida de vendas de filmes (películas) de material plástico e sacos, sacolas e bolsas de plástico de 2018 a 2022.

| Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de produtos filmes (películas) de material plástico e sacos, sacolas ou bolsas de plástico |                               |   |                                       |   |
|---|-------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Ano   | Valor da produção (Mil Reais) | Valor da produção (percentual do total geral) | Receita líquida de vendas (Mil Reais) | Receita líquida de vendas (percentual do total geral) |
| 2018  | 10.786.699                    | 34%   | 9.982.902                             | 38%   |
| 2019  | 12.490.115                    | 38%   | 11.626.436                            | 41%   |
| 2020  | 15.479.866                    | 42%   | 14.798.123                            | 48%   |
| 2021  | 23.971.494                    | 45%   | 21.743.518                            | 51%   |
| 2022  | 24.657.248                    | 40%   | 22.987.082                            | 45%   |

**Fonte:** Adaptado de IBGE – Pesquisa Industrial Anual – Produto, 2022.

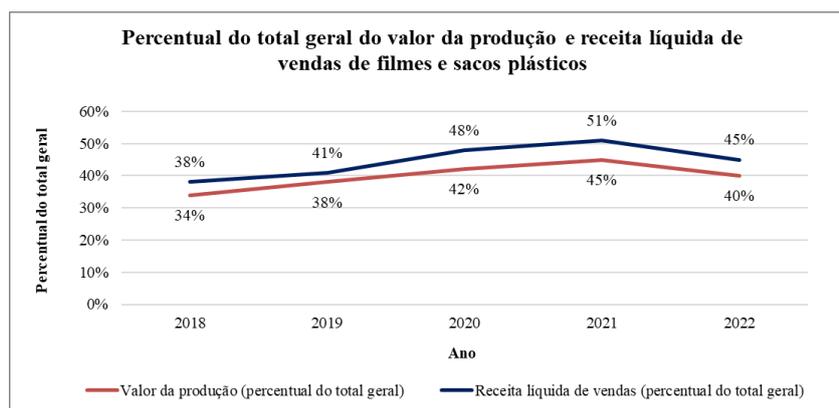
A seguir, por meio da **Figura 1** e da **Figura 2**, ilustra-se graficamente o comportamento do mercado no último relatório divulgado e explicitado acima.

**Figura 1:** Valor da produção e receita líquida de vendas de filmes e sacos plásticos de 2018 a 2022.



**Fonte:** Adaptado de IBGE – Pesquisa Industrial Anual – Produto, 2022.

**Figura 2:** Percentual do total geral do valor da produção e receita líquida de vendas de filmes e sacos plásticos.



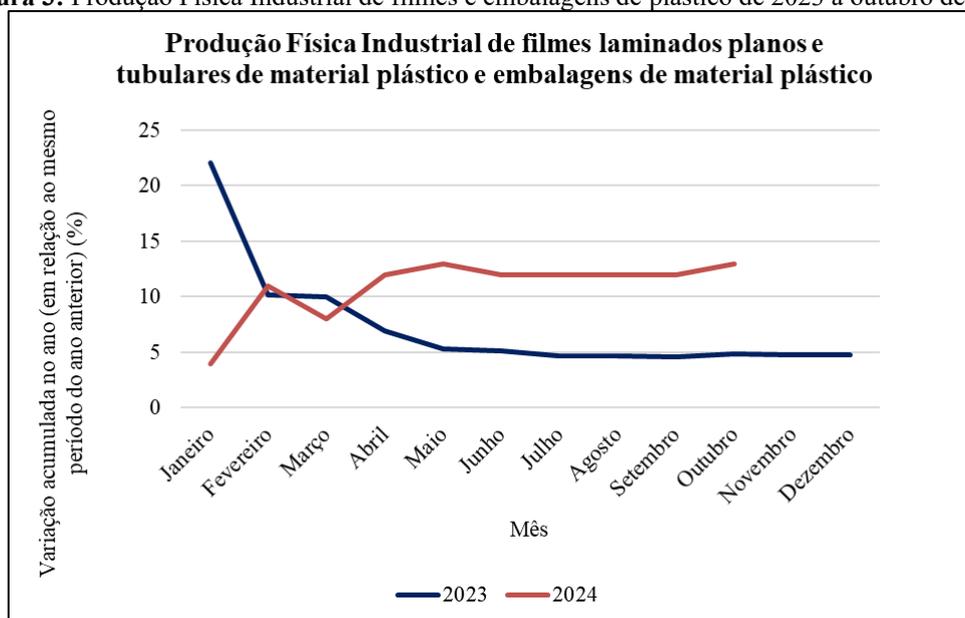
**Fonte:** Adaptado de IBGE – Pesquisa Industrial Anual – Produto, 2022.

Diante desse cenário, apesar da produção anual de filmes, sacos, sacolas e bolsas plásticas ter atingido mais de cinco milhões de toneladas em 2022 (IBGE, 2022), esse ano foi caracterizado por índices ruins de produção física industrial, quando se avalia a variação acumulada no ano em relação ao mesmo período do ano anterior. Esse índice compara a produção acumulada nos últimos 12 meses de referência em relação a igual período anterior. Tal índice pode ser atribuído ao fato de que os bens de consumo não duráveis, como alimentos e bebidas, apresentaram uma variação acumulada negativa (-0,2) para esse ano (IBGE, 2023).

Nessa conjectura, de acordo com os dados divulgados pela Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física (PIM-PF) do IBGE, a produção em 2023 começou muito bem,

seguida de uma queda considerável ainda no primeiro trimestre do ano e adquirindo estabilidade a partir do segundo trimestre. Já, em 2024, até o último levantamento divulgado pela pesquisa (outubro/2024), a variação acumulada indicou uma ascendência de janeiro a maio, apenas com uma queda pontual em março, e desde então adquiriu uma estabilidade nos meses seguintes. Ainda assim a produção física industrial desse segmento de indústria tem se apresentado consideravelmente melhor que o ano anterior, conforme indicado na **Figura 3**.

**Figura 3:** Produção Física Industrial de filmes e embalagens de plástico de 2023 a outubro de 2024.



**Fonte:** Adaptado de IBGE - Pesquisa Industrial Mensal - Produção Física, 2024.

O plástico é um material de engenharia relativamente novo, que data pouco mais de 100 anos e, que por suas características de desempenho, revolucionou o mercado de embalagens de tal forma que fica difícil imaginar o cotidiano no mundo contemporâneo sem a sua utilização (Twede; Goddard, 2009). Por isso, é fato que o consumo de plástico não tende a diminuir, no entanto cada vez mais as entidades públicas e privadas tendem a implementar iniciativas sustentáveis para mitigar os efeitos poluentes de resíduos de plástico.

A reciclagem mecânica é uma das mais empregadas para reprocessamento de materiais termoplásticos e reintrodução de polímeros pós consumo na cadeia de produção. Ela consiste em realizar a separação do resíduo polimérico, sua moagem, lavagem, secagem e reprocessamento, para que possa ser utilizado na fabricação de produtos

acabados. Nesse caso, o método acaba sendo empregado em processos e produtos que não exigem a utilização de matéria-prima virgem (Spinacé; De Paoli, 2004).

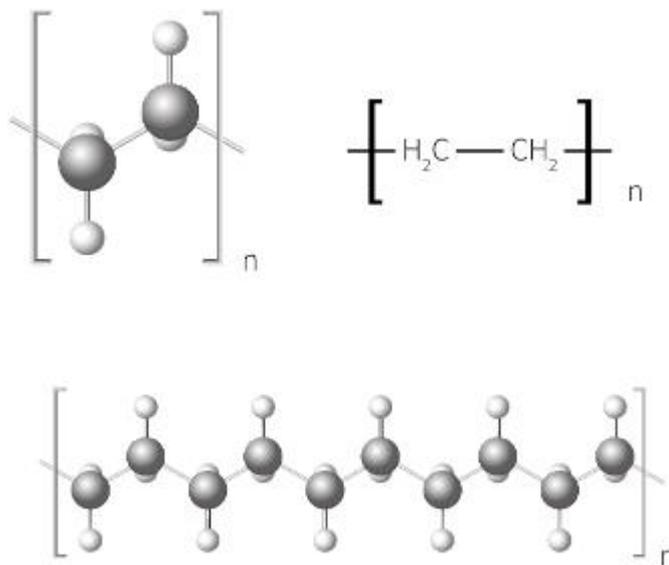
Além disso, a reciclagem química, ou terciária, é uma das propostas interessantes que consistem na despolimerização do polímero por solvólise, métodos térmicos e térmicos/catalíticos. A solvólise pode ocorrer por hidrólise, alcólise ou glicólise, já os métodos térmicos envolvem a pirólise, a baixa e a altas temperaturas, e os térmicos/catalíticos consistem na pirólise com a utilização de catalisadores. A reciclagem química permite a recuperação de hidrocarbonetos que podem ser utilizados como combustíveis ou polimerizados novamente (Spinacé; De Paoli, 2004).

Sobretudo, as ações para lidar com os impactos ambientais causados pelos plásticos estão alinhadas à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). A Agenda 2030 faz parte de um apelo global que dentre os seus objetivos tem o propósito de proteger o meio ambiente por meio da produção e consumo responsáveis que afinal exige compromisso e colaboração de todas as esferas como governos, empresas e sociedade civil (Nações Unidas no Brasil, 2024).

## 2.2 Polietileno

O PE conforme representado pela **Figura 4** é um dos polímeros mais simples e mais utilizados em embalagens flexíveis por apresentar vantagens como preço, resistência mecânica, boas performance e propriedades de selagem, boa propriedade de barreira à umidade e consideráveis propriedades barreira a gases. (Anyadike, 2009). Além disso, é um polímero termoplástico, isto é, que em altas temperaturas se funde e pode ser moldado inúmeras vezes, inclusive tal característica é um dos fatores que permitem sua reciclabilidade (Leonel, 2020).

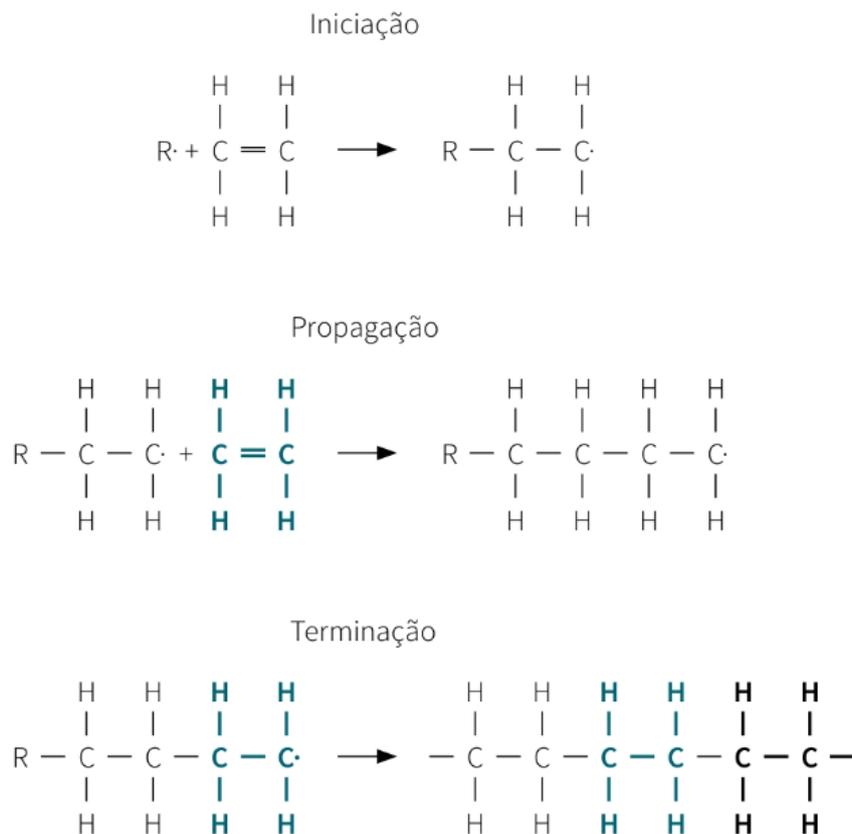
O PE provém da polimerização do eteno, também chamado de etileno ou eteno, de fórmula química  $C_2H_4$ , um gás inflamável e incolor. O etileno é encontrado no gás natural ou sintetizado industrialmente pelo craqueamento de nafta, uma fração de petróleo constituída de nove a dez átomos de carbono. A nafta é composta principalmente de hidrocarbonetos parafínicos, naftalénicos e aromáticos, os quais permitem a obtenção de olefinas como o propeno e o eteno (Anyadike, 2009).

**Figura 4:** Estrutura do Polietileno.

**Fonte:** Leonel, 2020.

O processo de polimerização de poliolefinas, como o PE, demanda altas temperaturas e pressões, além de requerer o uso de catalisadores (Anyadike, 2009). Nesse caso, a polimerização do eteno se dá por mecanismo de adição, no qual a presença de um sítio ativo provoca a iniciação da reação em cadeia, e esse sítio ativo é gerado na presença de radicais livres que rompem a ligação dupla entre os átomos de carbono da molécula. Na propagação, os radicais livres vão sendo transferidos de molécula para molécula sucessivamente, permitindo o crescimento da cadeia, o que só termina quando a cadeia se estabiliza, tal como é ilustrado pela **Figura 5** (Leonel, 2020).

Cabe ressaltar que a terminação pode ocorrer por (1) combinação, quando é causada pela interação de dois centros ativos, seja um centro ativo de outra cadeia em crescimento ou pela presença de radicais livres, por (2) desproporcionamento, quando um átomo de hidrogênio é transferido para outra cadeia em crescimento, causando uma insaturação na extremidade da cadeia que realizou a transferência do hidrogênio, ou por (3) transferência de cadeia, quando o centro ativo é transferido para uma molécula inativa ou quando há presença de impurezas no meio reacional (Mano; Mendes, 1999).

**Figura 5:** Mecanismo de polimerização do eteno por adição.

**Fonte:** Leonel, 2020.

O processo de preparo do polietileno é capaz de estabelecer propriedades e características químicas diferentes para o material formado. Quando o eteno é polimerizado via mecanismo de radical livre ou com íons como centros ativos, a formação de cadeias ramificadas é favorecida; enquanto que, na presença de catalisadores, os centros ativos permitem sítios de formação de complexos de coordenação, que favorecem a formação de carbonos metilênicos e induzem a formação de cadeias lineares com grande regularidade (Mano; Mendes, 1999).

### 2.3 Tipos de Polietileno

De acordo com a conformação molecular do PE, a densidade dessa resina pode variar de baixa à alta, na faixa de 0,880 g/cm<sup>3</sup> a 0,970 g/cm<sup>3</sup>, conforme **Tabela 2**. Por isso, a densidade é um dos parâmetros de classificação para os diferentes tipos de polietileno. Diante disso, encontra-se na literatura quatro principais tipos: a) PEUAPM (Polietileno de Ultra Peso Molecular); b) PEAD (Polietileno de Alta Densidade); c)

PEBD (Polietileno de Baixa Densidade); d) PELBD (Polietileno Linear de Baixa Densidade); e e) PEUBD (Polietileno de Ultra Baixa Densidade) (Coutinho; Mello e Santa Maria, 2003) (Twede; Goddard, 2009).

**Tabela 2:** Faixa de densidade de resinas de polietileno.

| Faixa de densidade do polietileno |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Tipo de Polietileno               | g/cm <sup>3</sup> |
| PEUAPM                            | 0,930-0,940       |
| PEAD                              | 0,940-0,970       |
| PEBD                              | 0,915-0,939       |
| PELBD                             | 0,916-0,940       |
| PEUBD                             | 0,880-0,915       |

**Fonte:** Adaptado de Coutinho; Mello; Santa Maria, 2003; e McGraw-Hill, 1994. *apud.* Twede; Goddard, 2009.

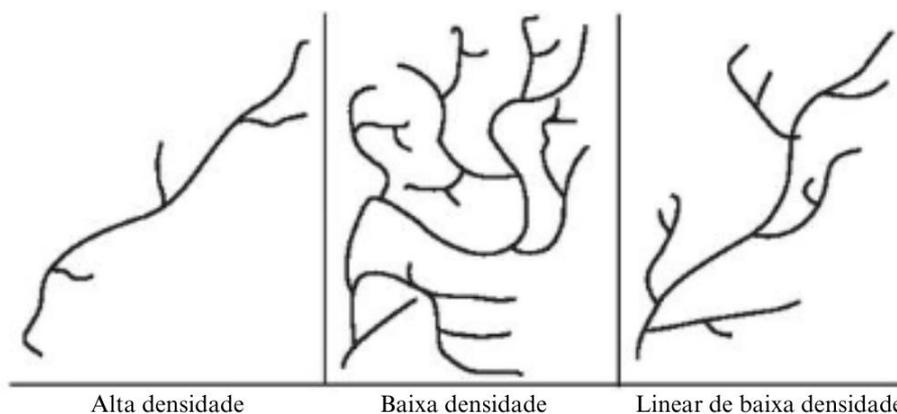
Dentre os que são utilizados na indústria de embalagens flexíveis estão o PEAD, PEBD e PELBD. Segundo dados do Guia Química e Derivados: Perspectivas 2024, referentes ao terceiro trimestre de 2023, das 576 mil toneladas de resinas utilizadas nesse setor, mais de 70% correspondiam a PEBD e PELBD, enquanto 7% eram constituídas por PEAD (Almeida, *et. al.*, 2024).

Fato é, que a densidade do polietileno é totalmente influenciada pela cristalinidade da conformação molecular, ou seja, pela presença ou ausência das ramificações, que por sua vez, são decorrentes ao processo de polimerização ao qual esse polímero é submetido. Quando o monômero é submetido a altas temperaturas e pressões, na faixa de 100 °C a 300 °C e 1000 a 3000 atmosferas, a seletividade da reação é reduzida, formando-se ramificações longas que caracterizam os polietilenos de baixa densidade. Enquanto, quando o eteno é polimerizado à baixa pressão, entre 10 e 15 atmosferas, e baixas temperaturas, entre 20 °C e 80°C, são formados os polietilenos de alta densidade, com estrutura mais linear (Coutinho *et.al.*, 2003).

A fim de obter um material intermediário que atendesse as características de resistência à tração do PEAD e a capacidade de deformação do PEBD, a indústria desenvolveu o PELBD, utilizando comonômeros de 1-hexeno, 1-buteno e 1-octeno, que controlam a cristalização do polímero, formando ramificações curtas (Rabello, 2023). Na

**Figura 6**, exemplifica-se a conformação molecular dos três tipos de polietileno citados, usualmente empregados em embalagens flexíveis.

**Figura 6:** Estrutura molecular do polietileno.



**Fonte:** Twede e Goddard, 2009.

As moléculas de PEAD, por serem mais lineares, se empacotam mais facilmente deixando o material mais rígido, enquanto que o PEBD com ramificações longas permite maior flexibilidade, transparência e processabilidade. Ademais, o PELBD apresenta diversas vantagens quando comparado ao PEBD, tais como resistência física à impactos e sob tensão maiores, melhor durabilidade e responde melhor a altas temperaturas e agentes químicos (Twede e Goddard, 2009).

## 2.4 Propriedades do Polietileno

Em síntese, as propriedades dos polímeros se dividem em propriedades físicas, mecânicas, térmicas, químicas e ópticas, e essas propriedades estão diretamente ligadas à organização molecular dos polímeros. As cadeias poliméricas lineares, isto é, de estrutura longa em uma única linha, interagem intramolecularmente por ligações covalentes, que são as principais responsáveis pela estabilidade térmica do material, isto é, a sua temperatura de decomposição, pois são as interações mais fortes que podem haver nos polímeros termoplásticos (Leonel, 2020) (Rabello, 2023).

As estruturas ramificadas, com cadeias laterais ao longo da cadeia principal, tornam-se mais complexas, o que resulta na diferenciação de suas propriedades. Pois, de forma intermolecular, geram coesão entre as moléculas de PE, fornecida por ligações de

Van der Waals, que são mais fracas por serem interações de dipolo momentâneo, um resultado das diferentes configurações momentâneas da eletrosfera e do núcleo dos átomos. Essas ligações momentâneas permitem o deslizamento entre as cadeias, e em conjunto com a alta massa molar do polímero, acabam fornecendo melhores propriedades mecânicas ao material, como maior flexibilidade, transparência e brilho (Rabello, 2023).

Em geral, a polimerização de PE para aplicação em filmes de embalagens gera um polímero com altas massas molares (300 a 400.000 g/mol), justamente por demandar alta resistência no estado fundido no processo de extrusão e ótima resistência à tração da embalagem final. Para efeitos de comparação na produção de recipientes domésticos, a faixa de massa molar do PE é de até 100.000 g/mol, enquanto que, quando o PE é utilizado para fabricação de um tanque combustível, por exemplo, a massa molar pode ser de até 700.000 g/mol (Rabello, 2023).

Por isso, a conformação molecular do polímero por meio das interações intermoleculares e intramoleculares, vão definir, por exemplo, a rigidez da molécula, sua estabilidade, sua resistência química e à abrasão, suas temperaturas de trabalho, valores de densidade, elasticidade, resistência à tração e ao calor (Leonel, 2020).

Uma característica que contribui para definir os parâmetros citados no parágrafo anterior é a cristalinidade, isto é uma conformação tridimensional, que se dá pelo empacotamento molecular de um polímero. Nesse sentido, as moléculas lineares cristalizam mais facilmente que moléculas complexas com muitas ramificações, de modo que, as ramificações atuam como atrapalhadores da cristalização. (Leonel, 2020). É fato que nenhum polímero é 100% cristalino, comumente encontram-se regiões cristalinas que se dispersam em regiões amorfas, as regiões sem ordenação (Mano; Mendes, 1999).

Tratando-se das propriedades físicas, além da densidade, nesse âmbito podem ser consideradas também as propriedades elétricas do material, em resumo, os polímeros são maus condutores de eletricidade, mas podem ser observados parâmetros como rigidez dielétrica, resistividade volumétrica e constante dielétrica, por exemplo (Mano, 1991). No entanto, as propriedades elétricas do PE não serão abordadas neste trabalho, pois não são pertinentes ao estudo de embalagens flexíveis.

Quanto às propriedades mecânicas, elas estão diretamente ligadas à sua resistência a ruptura, e às deformações temporárias ou permanentes que um material pode obter. Para isso, podem ser considerados parâmetros como: a) resistência à tração (tenacidade), avaliada pela carga aplicada no material; b) alongamento na ruptura, caracterizado pelo

aumento em percentual do comprimento do material sob tração na ruptura; c) módulo de flexão, tensão máxima desenvolvida quando o material é sujeito a dobramento; d) resistência ao impacto, ou seja, deformação submetida em alta velocidade; e e) dureza, resistência à penetração, ou riscos; por exemplo (Mano, 1991).

O alongamento na ruptura está diretamente relacionado à tensão de ruptura, que também é chamada de limite de resistência à tração (LRT), e corresponde a tensão aplicada no momento em que ocorre a fratura. Ambos são indicadores analisados pela curva de tensão-deformação (Callister, 2016).

Em relação às propriedades térmicas geralmente são avaliadas: a) condutividade térmica, isto é a quantidade de calor transferido por tempo e área; b) expansão térmica linear, ou seja, o volume adicional quando os átomos e moléculas adquirem maior amplitude de movimento; e c) temperatura de deflexão, que avalia a temperatura de degradação e distorção do material (Mano, 1991).

Além disso, tratando-se sobre as características térmicas de polímeros, a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), a temperatura de fluxo ( $T_f$ ) e a temperatura de fusão ( $T_m$ ) são importantes para se definir propriedades de polímeros semicristalinos como o PE. Pois no caso de plásticos dúcteis, a  $T_g$  é a temperatura mínima de uso, já que delimita uma faixa de temperatura na qual as moléculas das regiões amorfas passam a adquirir a mobilidade vibracional que permitem rotação da cadeia como um todo, saindo do estado vítreo, no qual o material encontra-se com aspecto rígido e frágil como um vidro, enquanto que acima da  $T_g$ , passa a adquirir flexibilidade e aspecto borrachoso. Já a  $T_f$  é a temperatura que o polímero deixa de exibir o aspecto borrachoso e passa a exibir o comportamento de um líquido altamente viscoso (fluidoviscoso), a temperatura de fluxo é fortemente influenciada pela massa molar do polímero e tem grande importância industrial, por ser a temperatura mínima de processamento do material. Enquanto isso, a  $T_m$  é relevante pois indica a temperatura responsável pela fusão dos cristais da região cristalina do polímero, considerando que na fase cristalina as moléculas estão mais próximas, essa faixa de temperatura é influenciada pelas mesmas interações das regiões amorfas, mas tende a ter uma intensidade maior, de tal forma, a  $T_m$  é sempre maior que a  $T_g$  (Rabello, 2023).

A  $T_g$  do PE é uma das mais baixas para os polímeros, encontra-se numa faixa de  $-150\text{ }^\circ\text{C}$  (Rabello, 2023). O torna o produto mais ideal para aplicação em filmes e sacos das embalagens flexíveis para bens de consumo, que em sua maioria, são empregados em

produtos que vão passar por refrigeração (10 °C a 0 °C) ou congelamento (-1 °C a -17 °C, que podem ainda, chegar a -40 °C em câmaras frigoríficas) (Freire Jr., 2021).

Considerando-se as propriedades químicas, são observados fatores como: a) resistência à oxidação; b) resistência à radiações ultravioletas, capazes de gerar radicais livres; c) resistência à água, isto é, à absorção de umidade; d) resistência à ácidos, bases e solventes em geral, capazes de gerar degradação a depender das interações intramoleculares com o polímero; f) inflamabilidade, nesse contexto, alguns polímeros, sem presença de aditivos minerais, sofrem decomposição total, isto é, sem gerar cinzas; e g) permeabilidade à gases e vapores, ou seja quantidade de gases ou vapores que podem ser transferidos através do material em determinada unidade de tempo e área, cabe destacar que a permeabilidade a gases e vapores de polímeros é baixa, e tende a ocorrer nas regiões amorfas das moléculas (Mano, 1991).

Por último, o índice de refração à luz, isto é a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade em um dado meio, e a transparência à luz, avaliada pela transmitância, são os principais indicadores das propriedades ópticas dos polímeros (Mano, 1991).

A seguir, são apresentados alguns dos parâmetros mencionados para os diferentes tipos de polietileno, conforme ilustrado na **Tabela 3**.

**Tabela 3:** Propriedades mecânicas, térmicas, químicas e ópticas de resinas de polietileno.

| Propriedades do polietileno  | PEBD       | PELBD        | PEAD         |
|--|------------|--------------|--------------|
| <b>Mecânicas</b>   |            |              |              |
| Resistência à tração (kgf/cm <sup>2</sup> )                          | 40-140     | 80-240       | 210-420      |
| Alongamento na ruptura (%)   | 90/800     | 50/600       | 20/1.000     |
| Módulo de flexão (kgf/cm <sup>2</sup> )                              | 600-5.000  | 5.000-10.000 | 7.000-15.000 |
| Resistência ao impacto (kg)  | Não quebra | -            | -            |
| Dureza Rockwell R  | 10         | 15           | 65           |
| <b>Térmicas</b>  |            |              |              |
| Condutividade térmica (10 <sup>-4</sup> cal/s.cm <sup>2</sup> °C/cm) | 8,0        | 8,0-10,0     | 11,0-12,4    |
| Expansão térmica linear (10 <sup>-5</sup> cm/°C)                     | 20         | 15           | 14           |
| Temperatura de deflexão (°C)   | 32-42      | 42-50        | 45-55        |
| <b>Químicas</b>  |            |              |              |
| Absorção à água 24h, 3mm de espessura (%)                            | < 0,01     | < 0,01       | < 0,01       |
| <b>Ópticas</b>   |            |              |              |
| Índice de refração   | 1,51       | 1,52         | 1,52         |
| Transmitância (%)  | 4-50       | 40-50        | 10-50        |

**Fonte:** Adaptado de Coutinho; Mello; Santa Maria, 2003.

## 2.5 Principais Fornecedores no Brasil

As indústrias de embalagens flexíveis, são consideradas a terceira geração da rede petroquímica. Nesse caso, a matéria-prima, são os chamados “*pellets*” (**Figura 7**), uma composição moldável de plástico na forma de grânulos cilíndricos, regulares ou poliédricos, que é obtida pela compactação da mistura do polímero com ingredientes desejáveis como estabilizadores, plastificantes, carga, corantes e pigmentos, lubrificantes e catalisadores (Mano e Mendes, 1999).

**Figura 7:** *Pellets* de polietileno.



**Fonte:** De autoria própria.

No polo petroquímico de segunda geração que compõe as empresas fornecedoras de polietileno no Brasil destaca-se, principalmente, a Braskem S.A., como uma empresa global, criada em 2002 pela integração da Organização Odebrecht e Grupo Mariani. Hoje, com unidades industriais no Brasil, Estados Unidos, Alemanha e México, classifica como a 6ª maior petroquímica do mundo, sendo assim, a maior produtora de resinas termoplásticas da América (Bastos, 2009) (Braskem, 2025).

Desde então a Braskem, consolidou-se cada vez mais na indústria petroquímica brasileira, por meio de investimento em tecnologias e sustentabilidade, além de incorporação de diversas outras empresas. Em 2008, incorporou empresas como a Ipiranga Petroquímica (Copesul) e a Petroquímica Paulínia, bem como promessas para o mercado até meados de 2005, como a Rio Polímeros e Quattor Petroquímica S.A. em 2010 (Braskem, 2025) (Ata [...], 2012).

Além disso, sobressaem-se mundialmente organizações como a Dow Chemical Company e a Exxon Mobil. A Dow é uma multinacional norte-americana, que cresceu juntamente com a evolução da ciência dos materiais. Ela atua na área de plásticos desde 1935 e, hoje, no Brasil, possui unidades de produção nos estados de São Paulo, Pará, Bahia e Minas Gerais (Dow, 2025).

A também norte-americana Exxon Mobil tem forte presença na área de polímeros, apesar de atuar há mais de 160 anos no mercado de petróleo e gás, é difícil dizer quando começou a explorar suas atividades com a cadeia petroquímica intermediária. Fato é que com o advento da Segunda Guerra Mundial houve um estímulo para o uso e aplicação de materiais derivados de petróleo. Diante disso, visando inovação contínua e diversificação de produtos, pode-se inferir que a Exxon Mobil teve uma transição gradual para esse mercado, impulsionada pela necessidade de coordenação de investimentos, integração da cadeia petroquímica e acesso a matérias-primas (Bastos, 2009) (Exxon Mobil, 2023).

A principal petroquímica do Brasil, a Braskem, disponibiliza em seu site as fichas técnicas e recomendações de aplicação dos polímeros de PEAD, PEBD e PELBD disponíveis em seu portfólio. Na **Tabela 4** apresenta-se algumas das resinas utilizadas em processos de extrusão por sopro mono e multicamadas, que podem ser empregadas em blendas poliméricas, e suas respectivas formas de aplicação.

**Tabela 4:** Resinas do portfólio Braskem

(Continua)

| Tipo de Polietileno | Produto  | Aplicação  |
|---------------------|----------|--|
| PEAD                | BF4810   | Filmes, bobinas picotadas, sacos em geral  |
|                     | HD7600U  | Misturas com PEBDL e/ou PEBD para filme termoencolhível                                |
| PEBD                | BF323HC  | Filme termoencolhível, filme técnico para envase de líquidos                           |
|                     | EB853/72 | Empacotamento automático, filmes de alta transparência                                 |
|                     | LD4003   | Filmes técnicos para empacotamento automático, filmes de uso geral, misturas com PEBDL |
|                     | LD7001A  | Filme termoencolhível, misturas com PEAD   |
|                     | PB681/59 | Laminados, empacotamento automático para produtos sólidos                              |

**Tabela 4:** Resinas do portfólio Braskem

(Conclusão)

| Tipo de Polietileno | Produto     | Aplicação  |
|---------------------|-------------|--|
| PEBD                | TN7006      | Embalagem de alimentos líquidos, embalagens de produtos sólidos, embalagens coextrusadas de produtos alimentícios como queijos, carnes, embutidos e fatiados. Embalagem para higiene e limpeza |
|                     | TS7003      | Bobina técnica para empacotamento automático, embalagens flexíveis, e produtos refrigerados e congelados   |
|                     | TS7006      | Embalagens coextrusadas de produtos alimentícios como queijos, carnes, embutidos e fatiados  |
|                     | TS9022      | Bobina técnica para empacotamento automático, embalagens flexíveis, embalagem para higiene e limpeza, filmes de uso geral e laminados  |
|                     | TX7001      | Filme agrícola, lonas plásticas, sacaria industrial  |
|                     | TX7003      | Bobinas técnicas para embalagens industriais de alta resistência, embalagens industriais, filme termoencolhível, lonas plásticas, misturas com PEBDL, misturas com PEAD, sacaria industrial    |
| PEBDL               | FG31        | Embalagens uso geral, filme <i>stretch</i> , mistura com PEBD, misturas com PEAD, sacaria industrial   |
|                     | FM31D       | Embalagens uso geral, filmes de uso geral, filmes técnicos para empacotamento automático, mistura com PEBD, misturas com PEAD  |
|                     | HF2208S3    | Coextrusão, embalagem para produtos líquidos, embalagem para produtos sólidos, filmes de alta performance, filmes de uso geral, filmes técnicos para empacotamento automático                  |
|                     | LF0720/20AF | Embalagens uso geral, mistura com PEBD, misturas com PEAD, sacaria industrial  |
|                     | LL118/21    | Bobina técnica para empacotamento automático, filmes de uso geral, misturas com PEAD   |
|                     | LL5405S     | Filmes, misturas com PEAD, sacos em geral  |

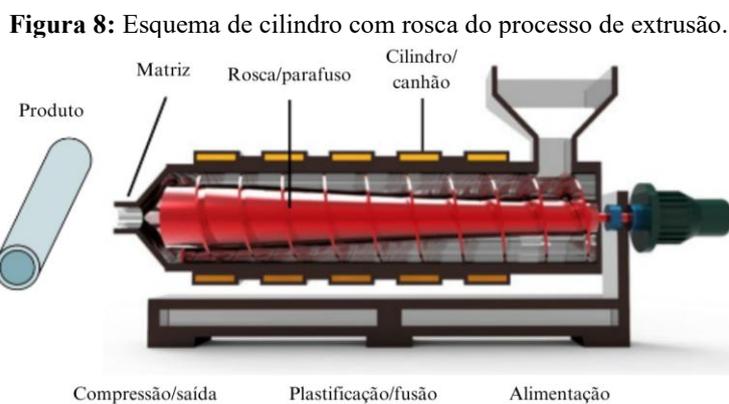
Fonte: Braskem, 2025.

## 2.6 Fabricação de Filmes Poliméricos para Embalagens Flexíveis

A transformação do PE para obtenção de embalagens flexíveis se caracteriza como um processo que ocorre em função do aquecimento dos *pellets* na presença de

pressão, chamado extrusão (Mano; Mendes, 1999). Pelo processo de extrusão são produzidos filmes semiacabados que serão processados em fases posteriores para obtenção de filmes e sacos, impressos ou lisos (sem impressão) para diferentes finalidades. Existem duas principais formas de extrusão de filmes flexíveis, as quais são extrusão plana e balão. No presente trabalho abordaremos sobre a extrusão balão, tanto em monocamada, como em duas ou mais camadas (coextrusão).

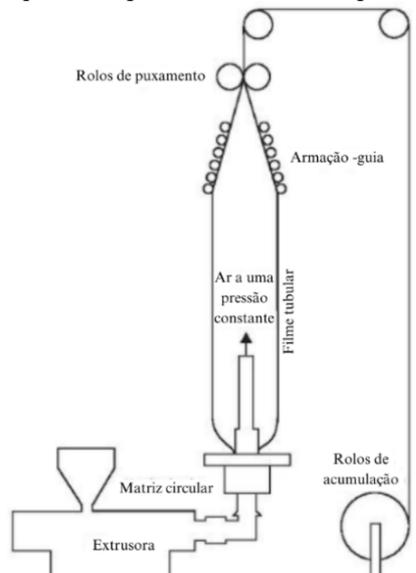
Nesse caso, os pellets são alimentados na extrusora por um funil, a qual possui um cilindro com uma rosca, ou parafuso, em seu interior com três diferentes zonas de calor, as quais podem ser aquecidas por resistências elétricas, ou serpentinas com óleo ou vapor aquecido (**Figura 8**). Na primeira zona, a rosca do cilindro possui sulcos maiores, para receber o polímero que é alimentado e misturado. Depois disso, o polímero passa por uma zona de fusão, a profundidade dos sulcos é reduzida e a temperatura é aumentada até a temperatura de fusão do polímero que está sendo processado. Depois de fundido, o material polimérico, viscoso e contínuo é forçado a sair por uma matriz, com ajuda da rosca do cilindro que tem rasos sulcos nessa região, chamada de zona de saída ou compressão (Leonel, 2020).



**Fonte:** Leonel, 2020.

Ao sair da matriz, o material é soprado por um fluxo de ar e puxado para cima na forma de balão, o que o resfria lentamente, contribuindo para sua solidificação. O resfriamento também favorece a reorientação das moléculas em todas as direções, o que permite a formação de um filme com maior resistência e possibilita controlar a espessura desejada. Após resfriado, o filme é então enrolado e cortado de acordo com a forma e largura estimada, conforme esquema da **Figura 9** (Twede; Goddard, 2009).

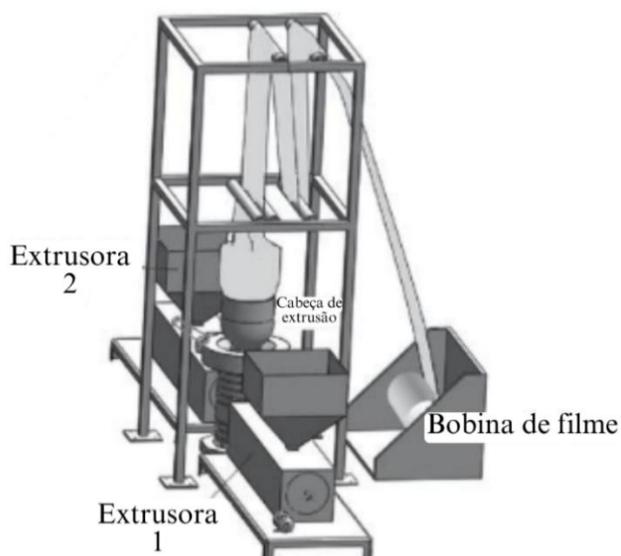
**Figura 9:** Esquema do processo de extrusão por sopra.



**Fonte:** Twede e Goddard, 2009.

A coextrusão é um método de extrusão no qual são utilizados dois ou mais cilindros para extrusar simultaneamente camadas com polímeros diferentes, com certo grau de compatibilidade, que se sobrepõem uma sobre as outras ao sair da matriz (**Figura 10**). Dessa forma, podem ser extrudadas resinas com propriedades diversas para obtenção de filmes de acordo com as características requeridas para cada finalidade de uso (Twede; Goddard, 2009).

**Figura 10:** Representação da coextrusão.



**Fonte:** Lira, 2017.

Nos filmes coextrudados, cada camada é composta considerando-se a sua aplicabilidade. As camadas externas devem possuir boa soldabilidade, capacidade de impressão, brilho e transparência. Já as camadas de estrutura definem a resistência do material, por isso devem apresentar boas propriedades mecânicas. Os filmes com propriedades que minimizam a permeabilidade a gases e vapores, possuem as chamadas camadas de barreira. E ainda, como nem todas as resinas empregadas nas camadas podem ter boa compatibilidade, as camadas de adesão têm por finalidade promover a aderência para a composição (Otterbach, 2011).

A partir da boa compatibilidade entre a combinação de diferentes resinas de PEBD, PELBD e PEAD, os sistemas poliméricos coextrudados podem conferir propriedades capazes de ampliar a barreira a permeabilidade à gases e vapores, à água, solventes, óleos e raios UV (ultravioleta), o que em síntese, depende da espessura de cada camada, das resinas utilizadas e das condições ambientais do meio (Lira, 2017).

## **2.7 Blendas Poliméricas**

A escolha de uma resina para fabricação de um filme para embalagens flexíveis deve ser baseada em critérios como custo, adesão, flexibilidade, maciez e rigidez, observando parâmetros de ponto de fusão, densidade, ramificação molecular e conteúdo dos comonômeros. Sendo assim, o maior desafio é combinar as propriedades desejadas com a melhor relação custo-benefício (Wagner Jr., 2010).

Para obtenção de materiais com melhor desempenho é comum a criação de blendas poliméricas, que são misturas de diversas resinas de um polímero com certo grau de miscibilidade ou com o uso de agentes que promovam a compatibilidade entre as resinas (Twede; Goddard, 2009). As blendas poliméricas formam apenas interações secundárias, ou seja, é uma mistura física sem ligações primárias entre os componentes (Leonel, 2020).

A miscibilidade, isto é, a dispersão estável em grau máximo, entre as resinas olefínicas depende da natureza química de cada uma, ou seja, a compatibilidade entre elas, à proporção de cada resina, e às condições de temperatura e pressão que ocorre o processamento delas. A compatibilidade entre resinas pode ser avaliada pelo índice de refração, transparência e translucidez da mistura, ou mesmo pelo surgimento de uma temperatura de transição vítrea intermediária entre a  $T_g$  das resinas utilizadas.

Caracteriza-se como misturas imiscíveis, quando uma mistura polimérica interage somente na interface, resultando em materiais com mais de uma fase (Mano, 1991).

Sendo assim, cabe destacar que as blendas podem ser empregadas tanto para processamentos em monocamadas, como em multicamadas.

### **3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E DISCUSSÃO**

As atividades desenvolvidas na experiência profissional exposta neste trabalho foram executadas na área de pesquisa e desenvolvimento, bem como cadastro técnico. Este setor é responsável pelo ajuste de formulações de todos filmes e sacos produzidos na empresa, avaliação de viabilidade de produção de cada material junto aos setores produtivos e de custos, homologação e qualificação de novas embalagens, desenvolvimento de soluções internas, melhorias contínuas e cadastro de materiais.

O cadastro técnico é a base desse processo, onde são registradas todas as características de um material, como formulação padrão, dimensões e demais detalhes relevantes para as etapas de produção que estejam de acordo com as especificações do produto exigidas pelos clientes. Enquanto a homologação de novos itens é feita pelo desenvolvimento de amostras para os clientes, para que sejam avaliadas antes da solicitação de uma produção em larga escala, isto é, em escala piloto e posteriormente venda.

A homologação de amostras e o cadastro de materiais permitiram conhecer e compreender cada parcela das etapas de produção de uma embalagem. Ao longo do processo de fabricação de amostras, são analisados diversos parâmetros de processo que são avaliados nas fases de extrusão, impressão, laminação e acabamento (refile e corte e solda). O objetivo principal é garantir que a embalagem final atenda aos requisitos do cliente e seja de alta qualidade.

Dessa forma, a depender do tipo de produto, dentre os parâmetros avaliados estão dimensões, como largura, comprimento, distância de passo fotocélula, e espessura, fator de encolhimento, coeficiente de atrito (COF), qualidade de impressão e/ou de laminação, gramatura, qualidade e resistência de solda, aspecto visual e demais particularidades.

Restringindo-se ao processo de extrusão, fase inicial, uma consideração importante é a formulação utilizada, isto é, as resinas utilizadas para a fabricação da embalagem. A formulação é uma etapa crucial, pois desde a extrusão até o acabamento, impacta diretamente na processabilidade do material, e por conseguinte na utilização da embalagem pelo cliente.

Em virtude disso, frequentemente, nessas receitas são empregadas blendas poliméricas, com a finalidade de utilizar misturas com diferentes resinas para que se combine propriedades de interesse numa composição que atenda os desempenhos de manufatura e comercialização.

Visando explorar essa oportunidade os fornecedores de resina, investem em tecnologias e estratégias para ofertar características específicas e incrementais para os polímeros de seu portfólio. Desse modo auxiliam os fabricantes de embalagem a criarem suas próprias inovações por meio de propostas originais.

As petroquímicas, fornecem fichas técnicas de cada produto que auxiliam a entender e projetar as blendas por meio de parâmetros baseados em propriedades de controle e propriedades típicas para os filmes (**Anexo 1**, **Anexo 2** e **Anexo 3**). Dentre os parâmetros considerados estão por exemplo, aditivação, temperatura de fusão, índice de fluidez, densidade, tensão de ruptura, alongamento de ruptura, resistência ao impacto, resistência ao rasgo, opacidade, brilho e custo.

Geralmente essas informações são divulgadas após ensaios que utilizam metodologias da *American Society for Testing & Materials (ASTM International)* que além de estabelecer padrões de ensaio para testes de resinas, também atuam na identificação, especificação de propriedades e limites de tolerância para polietilenos (ASTM, 2022).

A aditivação e temperatura de fusão são parte de um conjunto importante para que o resultado final da blenda seja compatível. Afinal a combinação de resinas bastante aditivadas pode contribuir para migração de compostos no filme, o que ocasiona em dificuldades para processamento e afeta a utilização do material final.

A temperatura de plastificação das blendas de PE, geralmente estão na faixa de 180 °C a 220 °C. A utilização de temperaturas de fusão muito diferentes contribui para má homogeneização entre as resinas da blenda, ou para a degradação de PE's com pontos de fusão menores, impactando diretamente no aspecto visual do filme formado, havendo a formação de várias faixas com opacidade diferentes ou a formação de “escamas”, o filme pode ainda apresentar a presença de géis (pontos não homogeneizados, ou pontos pretos com resina queimada).

Posto isso, a escolha da combinação de resinas deve ser primordialmente fundamentada na aplicação final do produto. Comumente, maiores contribuições percentuais de polímeros de PEAD são empregados com materiais que necessitam de

maior resistência a cargas, não necessitam de muito brilho ou translucidez, requerem menor índice de propagação de rasgo, e com materiais que exigem melhores propriedades de barreira à umidade e gordura.

Tais como capa fardos e sacolas, embalagens para hambúrguer, para preservação de sabor e textura, miúdos de animais, para contenção de líquidos, interfolhação de cortes de frios, como muçarela, presunto, bacon, e outros, para conservação e integridade dos produtos, além de considerável apelo visual e melhora da manipulação para o consumidor final.

Já resinas de PEBD e PELBD são geralmente empregadas para embalar proteínas animais, cereais e produtos para higiene, além de serem amplamente utilizadas em filmes que precisam de maior brilho e translucidez, termoencolhíveis, filmes *stretch* e máquinas de processamento automático. O que é indicado principalmente pela excelente resistência a furos, ótima flexibilidade, propriedades barreira à umidade e boa selagem.

Sendo assim, diante da possibilidade de inúmeras estruturas por meio de blendas poliméricas, as empresas fabricantes de embalagens flexíveis podem explorar suas formulações de acordo com o objetivo principal, seja pelo intuito de combinar propriedades ou por estratégias corporativas. Como por exemplo, a criação de uma mistura de PEAD e PEBD para obtenção de um filme nem muito flexível, nem muito rígido, ou utilizar resinas que aumentam o desempenho de COF, e vice-versa, ou com aplicações que favorecem encolhimento, entre outras. Bem como, visando iniciativas de redução de custos ou no emprego de soluções sustentáveis.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante do exposto, observa-se que a área de embalagens flexíveis é uma parte importante da cadeia petroquímica que colabora significativamente para a indústria brasileira e possui um mercado consideravelmente estável. As embalagens flexíveis são uma parte importante da vida cotidiana moderna, principalmente pela sua função de proteger, garantir a qualidade e aumentar a vida útil dos produtos que envolvem.

A experiência relatada neste trabalho permitiu compreender que a química dos polímeros, juntamente com os processos de mistura, extrusão e processamento de embalagens, compõem uma ciência repleta de nuances, mas que podem gerar grandes efeitos no resultado final. O que evidencia a importância da pesquisa e desenvolvimento

para a padronização de processos, inovações e iniciativas sustentáveis, isto é, em resumo para o avanço na engenharia de polímeros e embalagens.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA H.; FURTADO M. R.; MARIANO M.; PACHIONE R.; SANTOMAURO A. C.; SILVA M. J. SANT'ANNA J. P. Especial Perspectivas 2024. **Química e Derivados, Plástico Moderno, Petróleo e Energia**, p. 38 e 39, jan./fev. 2024. Editora QD LTDA. Disponível em: <<https://www.plastico.com.br/wp-content/uploads/2024/02/pm583.pdf>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA EMBALAGEM. **Consumo per capita de embalagens plásticas flexíveis cresce no Brasil em 2023**. [S. l.], 15 abr. 2024. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/inovacao/comunicacao/consumo-per-capita-de-embalagens-plasticas-flexiveis-cresce-no-brasil-em-2023/>>. Acesso em: 28 dez. 2024.

ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DO COLEGIADO DE 27.07.2010, 2010, Rio de Janeiro. **CONSULTA DE COMPANHIA ABERTA – REESTRUTURAÇÃO SOCIETÁRIA - BRASKEM S.A. - RIO POLÍMEROS S.A. - QUATTOR PETROQUÍMICA S.A.** [...]. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <[https://conteudo.cvm.gov.br/decisoes/2010/20100727\\_R2.html](https://conteudo.cvm.gov.br/decisoes/2010/20100727_R2.html)> Acesso em: 4 jan. 2025.

ASTM INTERNATIONAL. **Especificação padrão para materiais de moldagem e extrusão de plásticos de polietileno**. [S. l.], 17 nov. 2022. Disponível em: <<https://www.astm.org/d4976-12ar20.html>>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BASTOS, V. D. Desafios da petroquímica brasileira no cenário global. **BNDES: Biblioteca Digital**, Rio de Janeiro, ed. 29, p. 321-358, mar. 2009. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1845>>. Acesso em: 4 jan. 2025.

BRASKEM. **Braskem incorpora Ipiranga Petroquímica e Petroquímica Paulínia**. [S. l.], 30 set. 2008. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/Braskem-incorpora-Ipiranga-Petroquimica-e-Petroquimica-Paulinia>>. Acesso em: 4 jan. 2025.

BRASKEM. **Braskem: Perfil e História**. [S. l.], 2025. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/perfil#2007>> Acesso em: 04 de jan. 2025. Acesso em: 4 jan. 2025.

BRASKEM. **Produtos: Encontre um produto**. [S. l.], 2025. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/busca-de-produtos>> Acesso em: 8 jan. 2025.

CALLISTER JÚNIOR W. D.; RETHWISCH D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais**. P. 498 a 580. Grupo Editorial Nacional, 9ª ed. Rio de Janeiro, RJ. 2016.

COUTINHO F. M. B., MELLO I. L., SANTA MARIA L. C. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

DOW. **História da Dow: Linha do Tempo**. [S. l.], 2025. Disponível em: <<https://corporate.dow.com/en-us/about-dow/company/history/timeline.html>>. Acesso em: 4 jan. 2025.

EXXONMOBIL. **Our History**. [S. l.], 9 fev. 2023. Disponível em: <<https://corporate.exxonmobil.com/who-we-are/our-global-organization/our-history>> Acesso em: 6 jan. 2025.

FREIRE Jr., Murillo. **Tecnologia de Alimentos: Conservação a frio**. [S. l.], 9 dez. 2021. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA); Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/conservacao-a-frio>>. Acesso em: 16 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biblioteca IBGE**. Indicadores IBGE: pesquisa industrial mensal: produção física: Brasil, 03 de fev. de 2023. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=7228>>. Acesso em: 28 de dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA: Banco de Tabelas Estatísticas**, [s.d]. Pesquisa Industrial Anual – Produto. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-produto/tabelas>>. Acesso em: 03 de ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA: Banco de Tabelas Estatísticas**, [s.d]. Pesquisa Industrial Mensal – Produção Física – PIM-PF Brasil [s.d]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pim-pf-brasil/tabelas>>. Acesso em: 28 de dez. 2024.

LEONEL R. F. **Polímeros e Cerâmicas**. 1ª ed. Curitiba, PR, Intersaberes, 2020.

LIRA V. M. **Princípios dos Processos de Fabricação Utilizando Metais e Polímeros**. 1 ed. São Paulo, SP: Blucher, 2017.

MANO E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. [Livro Eletrônico]. 1ª ed. São Paulo, SP, Blucher, 1991.

MANO E. B., MENDES L. C. **Introdução a Polímeros**. 2ª ed. São Paulo, SP, Blucher, 1999.

MICHAELI W., GREIF H., KAUFMANN H., VOSSEBURGER F. **Tecnologia dos Plásticos**. 1ª ed. São Paulo, SP, Blucher, 1995.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 29 dez. 2024.

OTTERBACH, J. C. H. **Processo de Transformação de Plásticos por Extrusão de Filmes Tubulares**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT). SENAI Nilo Bettanin. Rio Grande do Sul, 2011.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Perfil Setorial da Indústria**: Indústria de transformação: borracha e material plástico. [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/categorias/22-borracha-e-material-plastico/>>. Acesso em: 3 ago. 2024.

RABELLO M. S. **Estrutura e Propriedades de Polímeros**. [Livro Eletrônico]. 2ª ed. Ed. do autor. Campina Grande, PB. 2023. Disponível em: <<https://www.marcelorabello.com/>>. Acesso em: 25 de ago. de 2024.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurelio. A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. **Química Nova**, [S. l.], ano 2005, v. 28, n. 1, p. 65-72, 12 nov. 2004. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100014>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

WAGNER Jr. J. R. **Multilayer Flexible Packaging**. *Plastics Design Library*. 1ª ed. Oxford, UK. 2010.

XAVIER C. M. S., XAVIER F. S., REINERT J. H., STOECKICHT I. P. **Gerenciamento de Projetos de Inovação, Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): Uma Adaptação da Metodologia Basic Methodware**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

## Anexo 1



### Polietileno de Alta Densidade BF4810

#### Descrição:

O BF4810 é uma resina de Polietileno de Alta Densidade de alto peso molecular que apresenta uma excelente processabilidade e confere ao filme obtido elevadas resistências à tração, ao rasgo, à perfuração e ao impacto além de ótima soldabilidade.

#### Aplicações:

Filmes, Reembalagem, Bobinas Picotadas, Sacos em Geral

#### Processos:

Extrusão de Filmes Tubulares

#### Propriedades de Controle:

| Característica                   | Método | Unidades          | Valores |
|----------------------------------|--------|-------------------|---------|
| Índice de fluidez (190°C/5kg)    | D 1238 | g/10 min          | 0,45    |
| Índice de fluidez (190°C/21,6kg) | D 1238 | g/10 min          | 10      |
| Densidade                        | D 792  | g/cm <sup>3</sup> | 0,948   |

#### Propriedades Típicas - Filmes:

Propriedades de Referência de Filme Soprado<sup>a</sup>

| Característica                            | Método | Unidades | Valores |
|---|--------|----------|---------|
| Tensão na Ruptura (DM/DT)                 | D 882  | MPa      | 50/40   |
| Alongamento na Ruptura (DM/DT)            | D 882  | %        | 510/860 |
| Resistência ao Impacto por Queda de Dardo | D 1709 | g/F50    | 135     |
| Resistência ao Rasgo Elmendorf (DM/DT)    | D 1922 | gF       | 50/70   |
| Módulo Secante a 1% (DM/DT)               | D 1003 | MPa      | 655/790 |
| Temperatura Inicial de Selagem            | D 2457 | °C       | 123     |

(a) Filme de 12,5 µm de espessura, obtido em extrusora de 75 mm, com razão de sopro de 4,5:1, abertura de matriz 1,3 mm (DM = Direção de Extrusão e DT = Direção Transversal à Extrusão).

#### Observações Finais

- É da exclusiva responsabilidade do Cliente/Comprador verificar a adequação deste Produto e de seu uso para a aplicação pretendida e assegurar o cumprimento dos requisitos legais e regulatórios aplicáveis ao produto final.
- A orientação técnica eventualmente prestada pela Braskem sobre o Produto não caracteriza garantia de desempenho para a aplicação pretendida, tampouco exime o Cliente/Comprador das responsabilidades descritas no item 1 acima.
- Eventual informação de utilização do Produto não significa que a Braskem conheça ou tenha validado o processo produtivo do Cliente/Comprador ou a adequação do Produto à aplicação pretendida. Estão expressamente excluídas todas as garantias de adequação do Produto a um determinado fim, expresso ou implícito.
- As informações aqui contidas referem-se a data expressa neste documento e a Braskem poderá atualizar ou alterar as informações aqui contidas a qualquer momento e sem aviso prévio. O Cliente/Comprador deverá consultar [www.braskem.com](http://www.braskem.com) para verificar quaisquer atualizações destas informações.
- Para informações regulatórias associadas ao Produto e sua origem, por favor consulte o Documento Regulatório (Regulatory Information Sheet - RIS). Para outras solicitações, por favor contate a área de Serviços Técnicos da Braskem.
- As informações aqui contidas são fornecidas com base no melhor conhecimento da Braskem, indicando valores típicos de propriedade do Produto, não devendo tais valores ser considerados como absolutos ou como garantia.

## Anexo 2



### Polietileno de Baixa Densidade TS7003

#### Descrição:

TS7003 é um polietileno de baixa densidade (PEBD) com alto peso molecular que apresenta excelentes propriedades mecânicas, resistência a baixas temperaturas e boa processabilidade. Foi desenvolvida para atender os segmentos de bobinas técnicas para envase automático. O sistema de aditivos incorporado proporciona baixo coeficiente de atrito (COF); permitindo altas velocidades nas linhas de empacotamento. É classificado segundo a norma ASTM D-4976-04a como PE 115.

#### Aplicações:

Bobina Técnica para Empacotamento Automático, Embalagens Flexíveis, Embalagens para Produtos Refrigerados e Congelados

#### Processos:

Extrusão de Filmes Tubulares

#### Propriedades de Controle:

| Característica                   | Método | Unidades          | Valores |
|----------------------------------|--------|-------------------|---------|
| Índice de fluidez (190°C/2,16kg) | D 1238 | g/10 min          | 0.27    |
| Densidade                        | D 792  | g/cm <sup>3</sup> | 0.922   |

#### Propriedades Típicas - Filmes:

Propriedades de Referência do Filme Soprado (a)

| Característica                            | Método     | Unidades | Valores |
|---|------------|----------|---------|
| Tensão de Ruptura (DM/DT)                 | D 882      | MPa      | 20/20   |
| Alongamento na Ruptura (DM/DT)            | D 882      | %        | 380/910 |
| Módulo Secante a 2% (DM/DT)               | D 882      | MPa      | 140/150 |
| Resistência ao Impacto por Queda de Dardo | D 1709 (A) | g/F50    | 230     |
| Resistência ao Rasgo Elmendorf (DM/DT)    | D 1922     | gF       | 300/220 |
| Opacidade                                 | D 1003     | %        | 20      |
| Brilho - Ângulo 45º                       | D 2457     | -        | 41      |
| Brilho - Ângulo 60º                       | D 2457     | -        | 54      |

(a) Filme de 70 µm de espessura, obtido em extrusora de 50 mm, com razão de sopro de 2,3:1, abertura da matriz 1,0 mm. (DM = Direção de Extrusão e DT = Direção Transversal à Extrusão). (b) Não Determinado.

#### Observações Finais:

1. As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam no Certificado de Qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
2. Para informações regulatórias do produto, consulte o Documento Regulatório ou entre em contato com a área de Serviços Técnicos.
3. Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar FISPO - Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico.
4. Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.

### Polietileno de Baixa Densidade Linear LL5405S

#### Descrição:

O LL5405S é um PEBDL. Os filmes obtidos com este produto apresentam um bom balanço de propriedades mecânicas e processabilidade. Os filmes produzidos possuem um baixíssimo nível de gel.

#### Aditivação:

Deslizante, Antibloqueio.

#### Aplicações:

Filmes, Misturas Com PEAD, Sacos em Geral

#### Processos:

Extrusão de Filmes Tubulares

#### Propriedades de Controle:

| Característica                   | Método | Unidades          | Valores |
|----------------------------------|--------|-------------------|---------|
| Índice de fluidez (190°C/2,16kg) | D 1238 | g/10 min          | 1.0     |
| Densidade                        | D 1505 | g/cm <sup>3</sup> | 0.919   |

#### Propriedades Típicas - Filmes:

Propriedades de Referência de Filme Soprado<sup>a</sup>

| Característica                            | Método | Unidades              | Valores   |
|---|--------|-----------------------|-----------|
| Tensão de Ruptura (DM/DT)                 | D 882  | MPa                   | 35/25     |
| Alongamento na Ruptura (DM/DT)            | D 882  | %                     | 1000/1200 |
| Módulo Secante a 1% (DM/DT)               | D 790  | MPa                   | 160/180   |
| Resistência ao Impacto por Queda de Dardo | D 1709 | g/F50                 | 120       |
| Resistência ao Rasgo Elmendorf (DM/DT)    | D 1922 | gF                    | 90/900    |
| Opacidade                                 | D 1003 | %                     | 18        |
| Brilho - Ângulo 45º                       | D 2457 | -                     | 55        |
| Brilho - Ângulo 60º                       | D 2457 | -                     | 80        |
| COF interno 72h                           | D1894  | -                     | 0.1       |
| Bloqueio a Frio                           | D 3354 | gf/100cm <sup>2</sup> | 8         |

(a) Filme de 40 µm de espessura, obtido em extrusora de 40 mm, com razão de sopro de 2,2:1 (DM = Direção de Extrusão e DT = Direção Transversal à Extrusão).

#### Observações Finais:

1. As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam no Certificado de Qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
  2. Para informações regulatórias do produto, consulte o Documento Regulatório ou entre em contato com a área de Serviços Técnicos.
  3. Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar FISPQ - Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.