



**GUSTAVO MOREIRA TORRES**

**ESTUDO DE CASO: SUBSTITUIÇÃO DE POLIESTIRENO  
POR POLIETILENO TEREFALATO EM BANDEJAS PARA  
ARMAZENAMENTO DE ALIMENTOS LÁCTEOS**

**LAVRAS - MG**

**2021**

**GUSTAVO MOREIRA TORRES**  
**201420780**

**ESTUDO DE CASO: SUBSTITUIÇÃO DE POLIESTIRENO POR POLIETILENO  
TEREFTALATO EM BANDEJAS PARA ARMAZENAMENTO DE ALIMENTOS  
LÁCTEOS**

MONOGRAFIA APRESENTADA À  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS,  
COMO PARTE DA DISCIPLINA PRG334 -  
TCC PARA CONCLUSÃO DO CURSO

PROF. DR. ALFREDO RODRIGUES DE SENA NETO  
ORIENTADOR

**LAVRAS - MG**

**2021**

*À minha mãe Neusa, por todo carinho e cuidado por mim.*

*À meu pai Wilson por sempre ser meu exemplo e apoio.*

*À todos aqueles que de alguma forma contribuíram no meu desenvolvimento e conquistas.*

*“Se hoje enxergo mais longe é porque me apoio sobre os ombros de gigantes.”*

*(Sir Isaac Newton)*

## RESUMO

A embalagem é um recipiente que armazena produtos temporariamente e que tem como principal função manter a integridade do alimento. As principais categorias de embalagens são polímeros, metais, cerâmicos (vidros) e celulose. O PS (Poliestireno) é um dos polímeros mais usados em embalagens descartáveis no mundo, devido seu baixo custo e massa específica. Um dos maiores problemas encontrados na utilização do poliestireno está na sua reciclagem, que apresenta diversas dificuldades. O PET (Polietileno tereftalato) é o poliéster mais importante do mundo atualmente e apresenta baixa massa específica, brilho, transparência e facilidade de moldagem, mas sua principal característica para uso como embalagem é a capacidade de ser reciclado e reinserido na indústria de embalagens alimentícias. O objetivo desse trabalho foi analisar sob diferentes aspectos as consequências da substituição do poliestireno pelo PET em embalagens na indústria alimentícia para armazenamento de alimentos lácteos. Foram realizados testes de resistência a compressão vertical, aspecto visual da embalagem, resistência ao rompimento para separação da bandeja e selagem. Para realizar essa análise foi utilizado uma máquina termoformadora e chapas de poliestireno e PET. Após os testes realizados foi possível a obtenção da bandeja de PET por termoformagem no mesmo formato original mas com alguns pontos de atenção. Será necessário modificar as ferramentas de corte e pré-corte que são usadas para o poliestireno para evitar o aparecimento de rebarbas. Outro ponto é a adição de um sistema de resfriamento para a chapa evitando cristalização durante o processamento, mas apesar dos pontos negativos apresentados, o resultado foi extremamente promissor, obtendo bandejas com resistência similar a de PS e com o mesmo formato e sem necessidade de maiores ajustes.

**Palavras-chave:** Embalagens; PS; PET; Reciclagem.

## ABSTRACT

The package is a container that stores products temporarily and whose main function is to maintain the integrity of the food. The main categories of package are polymers, metals, ceramics (glass) and cellulose. Polystyrene (PS) is one of the most used polymers in disposable package of the world, due to its low cost and specific mass. One of the biggest problems encountered in the use of polystyrene is in its recycling, which represents several difficulties. Polyethylene Terephthalate (PET) is the most important polyester in the world today and has low specific mass, brightness, transparency and easy molding, but its main feature for use as package is the ability to be recycled and reinserted in the food package industry. The objective of this work was to analyze under different aspects the consequences of the substitution of PS by PET in package in the food industry, tests of resistance to vertical compression, visual aspect of the package, resistance to breaking for separation of the tray and sealing were carried out. To perform this analysis a thermoforming machine and PS and PET sheets were used. After tests performed it was possible to obtain the PET tray by thermoforming in the same original format but with some points of attention. It will be necessary to modify the cutting and pre-cutting tools that are used for PS to avoid burrs. Another point is the addition of a colling system for the sheet to avoid crystallization during processing, but despite the negative points presented the result was extremely promising, obtaining trays with resistance similar to PS and with the same shape without the need for major adjustments.

Key-Words: Packaging; PS; PET; Recycling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de embalagens usadas no mercado.....	5
Figura 2 – Diferentes tipos de embalagens.....	6
Figura 3 - Obtenção do poliestireno a partir do estireno.....	9
Figura 4 - Produtos obtidos a partir do poliestireno.....	10
Figura 5 – Esquema de obtenção do PET.....	11
Figura 6 – Reação química para obtenção do PET.....	11
Figura 7 – Descarte de embalagens poliméricas.....	13
Figura 8 - Esquema de processamento das embalagens.....	16
Figura 9 - Bobina de PET.....	17
Figura 10 - Análise DSC PET amorfo.....	18
Figura 11 - Bandeja obtida de PET.....	20

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Embalagens.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Embalagens metálicas.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Embalagens de celulose e vidro.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Embalagens poliméricas.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2</b>	<b>Poliestireno.....</b>	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>PET.....</b>	<b>11</b>
<b>3.4</b>	<b>Reciclagem.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>DSC PET.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>Características do Processamento.....</b>	<b>18</b>
<b>5.3</b>	<b>Peculiaridades dos materiais.....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial e maior urbanização dessa população a necessidade de produtos industrializados, produzidos em larga escala, aumentou de forma abrupta. Um dos principais ramos de industrialização que pode ser percebido até em países menos desenvolvidos é o setor de alimentos e bebidas. Presentes em todos os países do mundo esses setores são parte significativa do PIB (Produto Interno Bruto) de qualquer país (LANDIM et al, 2016).

Uma parte crucial para o desenvolvimento da indústria alimentícia em qualquer parte do mundo é o desenvolvimento e aplicação de embalagens que mantém a qualidade, consistência e sabor do produto por tempo suficiente para chegar ao consumidor. No Brasil o setor de embalagens movimentou cerca 52,4 bilhões de reais em 2012, o que mostra a grande importância do setor para o desenvolvimento econômico do país (LANDIM et al, 2016).

Além de possuir uma grande importância a indústria da embalagem também tem um alto impacto em outros setores, influenciando diretamente o custo e a venda de produtos alimentícios e sendo amplamente discutida no sentido ambiental em diversas indústrias e em outros segmentos pelo mundo. Uma das discussões mais amplas é sobre o desenvolvimento sustentável, que tem o objetivo de alcançar as expectativas econômicas do setor e utilizar de forma responsável os recursos naturais disponíveis.

Podem-se dividir as embalagens pelo tipo de material em metálicos, vítreos, poliméricos, celulósicos e compósitos. Cada classe de material apresenta características específicas de aparência, preço, impermeabilidade ou degradação, que são de extrema importância para determinado setor alimentício. Além de vantagens as embalagens podem apresentar também algumas desvantagens, como é o caso da indústria de embalagens poliméricas que pode ser a causa de grandes problemas para nosso cenário ambiental caso não descartadas da forma correta.

De acordo com a Abiplast (Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2021) o setor de embalagens é o segundo maior consumidor atual de polímeros do país, com um consumo de cerca de 19% de todo polímero produzido no Brasil (perdendo apenas para o setor civil, com consumo de 25%), isso equivale a cerca 1,1 milhão de toneladas de polímeros por ano.

A quantidade de resíduos sólidos gerados por brasileiros vem apresentando alta contínua nos últimos anos, atingindo em 2012 o valor de 383 kg de resíduo por ano por habitante. Quase

metade das cidades brasileira destinam seu lixo de forma incorreta em chamados lixões ou aterros, essa quantidade equivale a 24 milhões de toneladas por ano de resíduos mal destinados (ABRELPE, 2021).

De acordo com a Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2021) destes resíduos cerca de 34% são recicláveis, sendo 30% composto de papel e polímeros. O Brasil é o quarto maior produtor de resíduo polimérico no mundo, perdendo apenas para Estados Unidos, China e Índia. De acordo com a WWF (Fundo Mundial para a Natureza) cerca de 60 toneladas de polímeros vão para mares e oceanos todos os dias.

Devido ao alto consumo e descarte inadequado de embalagens a necessidade de soluções sustentáveis para suprir essa demanda se torna essencial. Um material polimérico que apresente boa capacidade de reciclagem, viabilidade econômica para reprocessamento e capacidade de reinserção no ciclo de embalagens pode ser uma ótima solução para o desenvolvimento sustentável da indústria alimentícia no Brasil.

Atualmente um dos polímeros mais usados em embalagens é o poliestireno, devido seu baixo custo e propriedades de rigidez e barreira, mas um dos principais problemas sobre o uso desse material é a sua baixa taxa de reciclagem quando comparado com outros polímeros, o que leva a um alto volume de material descartado de forma inadequada. Um outro polímero que possui boas propriedades de rigidez e barreira também, mas que possui uma taxa de reciclagem muito alta é PET, que se aplicado e processado de maneira correta pode ser um substituto ao PS e levar o mercado de embalagens a um novo nível de sustentabilidade.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi avaliar a substituição de embalagens de bandeja de PS (Poliestireno) por embalagens de bandeja de PET (Polietileno Tereftalato), para entender qual impacto em maquinário para formar as bandejas, o impacto na resistência mecânica da nova embalagem, impacto em sustentabilidade devido a troca de um material por outro e por fim qual impacto na percepção dos clientes sobre esse novo tipo de embalagem.

Um dos intuitos do trabalho foi mostrar que precisamos fazer mudanças na forma como buscamos nossos resultados econômicos, mostrando que existe um caminho mais sustentável para diminuir a quantidade de resíduos sólidos sendo descartados de forma incorreta. É possível utilizar materiais que possuem um ciclo de vida maior e permitem reciclagem, como o PET, para transformar nosso mercado, basta entendermos como esse material se comporta e quais serão as mudanças geradas pela substituição.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Embalagens:

De acordo com a ABRE (Associação Brasileira de Embalagens, 2021) uma embalagem é um recipiente que armazena produtos temporariamente e que tem como principal função manter a integridade do produto, viabilizando sua distribuição, identificação e consumo, funcionando como barreira contra fatores que podem causar deterioração química, física ou biológica.

De acordo com Jorge (2013) existem algumas outras formas de se definir o que são embalagens como:

- Sistema coordenado de preparação de produtos para comercialização, transporte, distribuição, armazenamento e uso final.
- Meio de assegurar o envio de produtos ao consumidor final, em condições ótimas e a baixo custo.
- Função tecno-econômica de diminuir o custo de distribuição e aumentar as vendas.
- Arte, ciência e tecnologia de preparar produtos para transporte e venda.

Todos eles mostram algumas das importâncias da embalagem para a indústria de alimentos. Dentre todas as características observadas nas embalagens uma das que mais se destaca é o aumento na vida útil dos alimentos, diminuindo a perda de diversos alimentos perecíveis e permitindo que esses alimentos cheguem a diversos locais no mundo. Com isso o impacto da perda de alimentos é consideravelmente diminuído e é possível que mais pessoas consigam consumir seu alimento de forma segura e saudável (SANTOS e CABRAL, 2013).





aceitação pelos consumidores. Os principais metais utilizados nesse tipo de embalagem são o aço e o alumínio (LANDIM et al, 2016).

A maioria das embalagens de aço precisam passar por um tratamento de superfície para formação de um revestimento de cromo ou estanho para evitar oxidação por contato direto com o produto. Para formar as embalagens são usadas chapas metálicas chamadas de folhas de flandres, que dão as embalagens uma boa resistência mecânica e permite esterilização da embalagem o que dá uma maior segurança ao produto (GAVA, 2009).

Já as embalagens de alumínio são mais leves que as de aço, normalmente usadas para fabricação de latas, papel alumínio, filmes, entre outros. Normalmente também é realizado um tratamento de superfície do alumínio para evitar contato direto com o produto final. O alumínio também é um material reciclável, muito utilizado por ser maleável, leve e ter uma boa resistência a corrosão. Essas características fazem com que os metais sejam o segundo material mais utilizado para fabricação de embalagens.

### **3.1.2 Embalagens de celulose e vidro:**

Logo atrás das embalagens metálicas, em utilização, temos as embalagens de papelão, papel, vidro e madeira. Essas embalagens podem ser usadas de diversas maneiras, sendo algumas delas combinadas com outras embalagens, formando as chamadas embalagens secundárias ou terciárias. Embalagens primárias são as embalagens que entram em contato direto com o produto, embalagens secundárias entram em contato com a embalagem primária e não com o produto, já a embalagem terciária é uma proteção ou envoltório para a embalagem secundária.

O papelão normalmente é usado para proteção contra choques mecânicos como embalagem secundária ou terciária, dificilmente estando em contato direto com o alimento devido sua natureza hidrofílica. Esse material pode ser produzido com diferentes formatos, camadas e distribuição de material, é reciclável, biodegradável e possui um baixo custo o que justifica sua utilização em larga escala (LANDIM et al, 2016).

Já o vidro é um material inerte, impermeável e pode apresentar diferentes cores e transparência, o que é muito desejável em embalagens, mas são pesados e frágeis, o que aumenta custos com transporte e cuidados com a embalagem. O vidro também é o material de

embalagem mais antigo do mundo, podendo ser reciclado ou reutilizado indefinidamente (LANDIM et al, 2016).

### **3.1.3 Embalagens poliméricas:**

Os polímeros vêm cada vez mais substituindo os outros materiais no uso como embalagem, de acordo com a ABIPLAST os polímeros mais consumidos atualmente são PET (Poli Tereftalato de Etileno), PEAD (Poli Etileno da Alta Densidade), PVC (Poli Cloreto de Vinila), PP (Polipropileno) e PS (Poliestireno). Suas principais vantagens são baixo custo, baixo peso, alta resistência química, flexibilidade, possibilidade de aditivação e reciclabilidade.

Devido a baixa densidade (menor que a de vidro e de metais) e sua possibilidade de entrar em contato direto com alimentos os polímeros vem ganhando o mercado de embalagens por sua vantagem econômica. Nem sempre sua propriedade de barreira é melhor que a dos outros materiais, mas o aspecto econômico faz com que seu uso seja vantajoso mesmo com um menor período de comercialização do produto.

Podemos dividir os polímeros em dois grupos, os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos são polímeros que apresentam capacidades de fundir quando aquecidos a temperatura acima de  $T_m$  (temperatura de fusão). Já os termofixos sofrem reações químicas que unem suas cadeias poliméricas permanentemente durante sua síntese, impossibilitando sua fusão, sendo assim considerados materiais não recicláveis (MARSH, 1972).

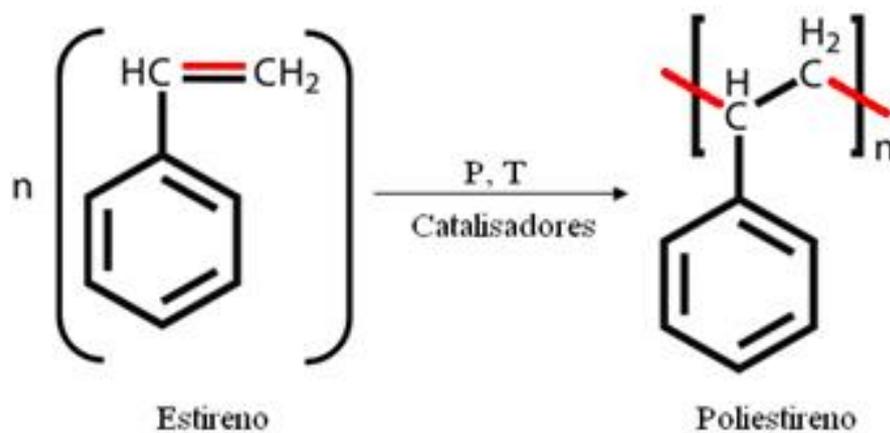
Um problema encontrado no uso de polímeros como embalagem está no descarte incorreto desse material. Os problemas ambientais gerados são muitos, gerando aumento na poluição, entupimento de bueiros, acúmulo em matas, rios ou mares onde afetam a fauna local, causando mortes por sufocamento, envenenamento além de outras causas. O tempo de degradação de polímeros em ambientes naturais pode ultrapassar 450 anos, o que tem se tornado uma preocupação global (ZANELLA et al, 2018).

### 3.2 Poliestireno:

Devido as características químicas e mecânicas apresentadas como alta rigidez, boa barreira química e gasosa o poliestireno se tornou um dos polímeros mais usados em embalagens descartáveis no mundo. Sua gama de aplicação é vasta e pode variar desde bandejas, copos descartáveis, suportes, entre outros (Royer, Assunção e Rodrigues, 2013).

O poliestireno é obtido a partir do estireno e muito das suas propriedades se deve a presença do grupo benzeno em seu monômero, como indicado na figura. A presença de um grupo volumoso na cadeia polimérica leva a uma diminuição na cristalinidade do polímero e um aumento na sua rigidez, uma vez que as cadeias perdem mobilidade com o emaranhamento dos grupos benzeno presentes e não conseguem se organizar de forma compacta (Borsoi, 2012).

Figura 3. Obtenção do poliestireno a partir do estireno.



Fonte: MUNDO EDUCAÇÃO, 2021.

O PS apresenta uma boa processabilidade, podendo ser processado por extrusão, moldagem, injeção ou termo-moldagem, isso aumenta ainda mais sua utilização. Além disso, ele apresenta uma boa estabilidade dimensional, baixo teor de encolhimento e baixo custo de processamento, com poucas perdas (LI & SUN, 2009),

A produção do poliestireno em larga escala se iniciou na década de 1930 na Alemanha, onde primeiro se observou suas principais vantagens, que são, facilidade de processamento, transparência, baixa densidade, estabilidade térmica, alto módulo de elasticidade e baixo custo. Com todas essas características seu uso foi cada vez mais expandido para novas aplicações no mercado (LUNA et al, 2015).

O poliestireno também pode ser encontrado na sua forma expandida conhecida como EPS, onde ele apresenta baixa densidade aparente, melhoria nas suas propriedades dielétricas e maior isolamento térmico e acústico (RABELLO, 2000).

Para se obter o EPS, primeiro é sintetizado o poliestireno no formato de pequenas esferas, é utilizado um agente expensor, os mais comuns são butano e pentano, em uma proporção de 4 a 7% do peso de polímero. Após impregnação o material é aquecido até cerca de 100°C, onde o poliestireno é expandido e reservado por 24 horas para difusão de ar para dentro dos espaços vazios do material. Após isso o material é processado em uma moldagem por vapor para unir os pedaços de poliestireno expandido no formado desejado (GROTE e SILVEIRA, 2002).

São produzidos mundialmente cerca de 13 milhões de toneladas de poliestireno e poliestireno expandido por ano. Esse material é muito usado para produção de artigos de baixo valor agregado como proteções para produtos eletrônicos ou eletrodomésticos, peças internas de geladeiras, ventiladores, lacres, produtos descartáveis como copos, pratos, talheres, entre outras aplicações (LITHNER *et al.*, 2011), (FILHO *et al.*, 2008).

Figura 4: Produto obtido a partir do poliestireno.



Fonte: PLASTBRINQ, 2021.

Outra aplicação para o poliestireno, em menor escala, é em ambientes onde são necessários materiais com características de boa estabilidade térmica, resistência a abrasão e resistência química. Alguns exemplos são sensores piezoelétricos, canos e tubulações

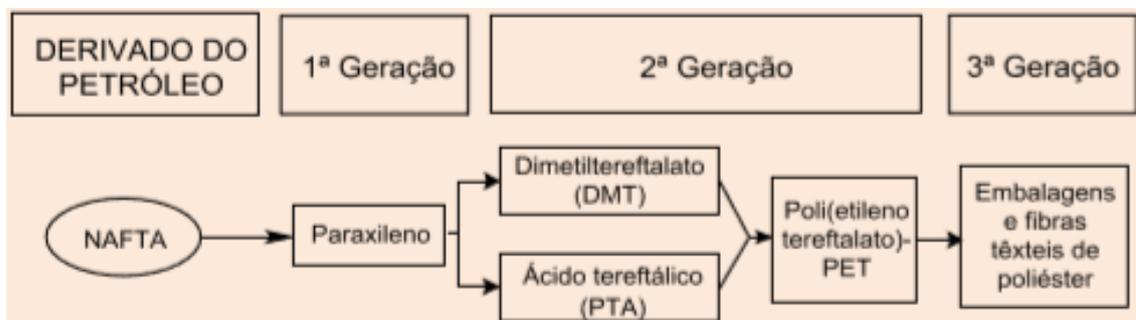
quimicamente inertes, fios de componentes elétricos, entre outras aplicações semelhantes (LI & SUN, 2009).

Um dos maiores problemas encontrados na utilização do poliestireno está na sua reciclagem, que apresenta algumas dificuldades. Devido sua baixa densidade a reciclagem do poliestireno expandido se torna muito difícil, pois seriam necessários grandes volumes para alcançar uma massa significativa (BORSOI, 2012). Outro fator está na aplicação do material reciclado que normalmente apresenta baixo valor agregado.

### 3.3 PET:

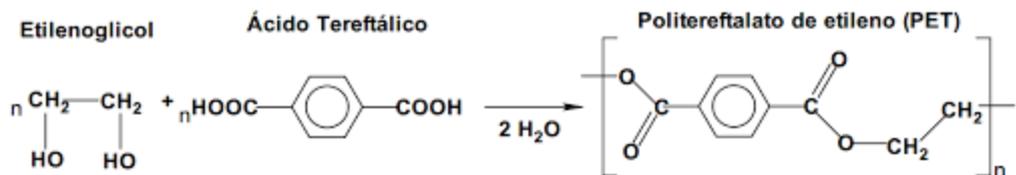
O PET (Poli Etileno Tereftalato) é um poliéster obtido a partir do nafta (assim como muitos outros), que é um dos subprodutos do petróleo. Sua síntese ocorre através de uma reação de policondensação de um ácido e um álcool, ácido tereftálico e etileno-glicol, gerando como subproduto da reação a água. Um esquema da obtenção (Figura 5) e a reação de obtenção (Figura 6) do PET pode ser visto abaixo:

Figura 5. Esquema de obtenção do PET.



Fonte: FIGUEIREDO et al, 2015

Figura 6. Reação química para obtenção do PET.



Fonte: KOSCHEVIK e BITTENCOURT, 2016

A descoberta dos poliésteres ocorreu na década de 1930 por W.H. Carothers, da empresa Du Pont. Quando descobertos não tinham muitas aplicações devido sua baixa temperatura de fusão e baixa estabilidade hidrolítica. Apenas em 1946 Whinfield e Dickson descobriram o PET com uma temperatura de fusão de 265°C e boa estabilidade hidrolítica, o que aumentou muito as aplicações do PET (GOODMAN, 1985)

Sua estrutura é linear, o que contribui para sua cristalização, que pode variar dependendo de como o material foi processado. Suas principais características são leveza, brilho, transparência e facilidade de moldagem. Apresenta boa resistência mecânica e elasticidade, que podem ser essenciais em suas aplicações (FIGUEIREDO et al, 2015).

As principais aplicações para o PET são fibras têxteis para confecção de tecidos sintéticos, embalagens processadas por injeção/sopro, filmes biorientados e aplicações de engenharia. Seu custo de produção, juntamente com a qualidade maior no produto acabado (quando comparado com outros polímeros) fez com que seu uso aumentasse em grande escala através dos anos (MACDONALD, 2002).

O principal consumidor de PET no Brasil é a indústria de embalagens, sendo responsável pelo consumo de cerca de 71% de toda produção nacional do polímero. A principal responsável por essa alta porcentagem são as embalagens de bebidas carbonatadas, como os refrigerantes. Pode-se perceber também um aumento em outros tipos de embalagens de alimentos a medida que as tecnologias e conhecimentos do material vem aumentando (ABIPLAST, 2021).

Mais de 80% de toda resina virgem de PET produzida no Brasil é utilizada como embalagem, sendo usada em frascos de refrigerante, água, óleo, iogurte, produtos de limpeza, produtos automotivos, carnes, entre outros. O restante é utilizado como fibra têxtil sintética. Assim percebe-se que o maior consumidor de PET no Brasil é o setor de embalagens, devido suas grandes vantagens em peso, propriedades de barreira e principalmente capacidade de reciclagem e reinserção no setor de embalagens alimentícias. Dessa forma sua aplicação nesse setor se torna cada vez mais vantajosa, tanto em aspectos econômicos quanto ambientais (ABIPLAST, 2021).

### 3.3 Reciclagem:

De acordo com a lei nº 12.305, sobre a política nacional de resíduos sólidos, a reciclagem é definida como o processo de transformação de resíduos sólidos, envolvendo alterações nas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com o objetivo à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.

Figura 7. Descarte de embalagens poliméricas.



Fonte: ABIPLAST, 2021.

A reciclagem de materiais poliméricos apresenta alguns desafios, devido a grande quantidade de polímeros existentes. Para se reciclar de forma correta e conseguir obter um novo produto ou insumo é importante que o polímero seja separado de acordo com o tipo de polímero e qual cor ele possui, caso essa separação não seja realizada ou seja feita de maneira incorreta a aplicação do produto sempre irá apresentar baixo valor agregado, o que pode dificultar ou inviabilizar economicamente a reciclagem (IPEA, 2012).

O processo de reciclagem de polímeros pode ser realizado de diferentes formas, sendo divididos em reciclagem primária, secundária, terciária e quaternária. Na reciclagem primária fragmentos de polímeros, rebarbas ou sucatas são reinsertos no processo de fabricação, também é chamado de re-extrusão e usa o material que não foi usado como produtos final, mas sim que foi “perdido” na primeira etapa do processamento do polímero, seja na forma de rebarba, falha de processamento ou outro motivo (LANDIM et al, 2016)

A reciclagem secundária, também conhecida como reciclagem mecânica, é a transformação de descartes poliméricos novamente em grânulos, para se obter um novo produto. O material obtido nesse tipo de reciclagem não pode ser usado como embalagem alimentícias, por já ter sido usado em uma aplicação anterior e por, na maioria dos casos, não passar por um processo de descontaminação correto para esse tipo de aplicação (AL-SALEM, et al, 2010).

A reciclagem terciária, chamada de reciclagem química, faz o processo inverso da síntese de polímeros, que o transforma novamente em um produto químico derivado do petróleo. Um exemplo é o PET, que é obtido a partir da nafta, um dos derivados do petróleo, que pode ser usado em refinarias para se obter outros produtos diferentes de polímeros (LANDIM et al, 2016).

O último tipo de reciclagem é a reciclagem quaternária, ou energética, que consiste na queima do polímero para obtenção de calor, gerando energia ou vapor as indústrias (LANDIM et al, 2016).

Devido ao aumento no custo da obtenção de novos materiais, o consumo de materiais reciclados se disseminou e vem aumentando a cada ano. Cerca de duas décadas atrás não era permitida a utilização de polímeros reciclados em contato direto com alimentos, mas a partir de uma nova resolução, RDC N.20/2008 de 2008 do regulamento técnico do Mercosul, é possível a utilização de PET pós-consumo, reciclado.

Para se usar PET reciclado em contato com alimento é necessária a realização de procedimentos de separação e esterilização específicos e patenteados, para garantir que o material tenha grau de segurança alimentar. Essa possibilidade do PET é de extrema importância para conseguirmos evoluir para uma sociedade com economia circular, com maior aproveitamento dos resíduos gerados.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho serão analisados alguns aspectos da substituição de poliestireno por PET em bandejas para alimentos lácteos, os principais serão propriedades físico-químicas de ambos materiais e como essas propriedades afetam o processamento do material. Inicialmente para se analisar essas propriedades serão revisados dados da literatura de análises de calorimetria diferencial exploratória do PET, esses dados obtidos serão comparados com valores práticos encontrados durante testes de processamento realizados na empresa Danone LTDA.

A técnica de calorimetria diferencial de varredura (DSC) pode ser utilizada para determinar algumas propriedades, analisar comportamentos e processamentos em materiais poliméricos, analisar comportamentos do material e seus processos e procedimentos.. A partir DSC pode-se obter variações de entalpia endotérmicas e exotérmicas, que são indicadas por picos no gráfico resultante. As variações endotérmicas em polímeros podem ser fusão, perda de massa (vaporização ou volatilização), dessorção ou reações de redução. Já as exotérmicas podem ser cristalização, polimerização, oxidação, adsorção, entre outros. Outra transição que não envolve variação de entalpia é a transição vítrea, aparecendo no gráfico não como um pico mas como um desvio da linha de base. (Canevarolo Jr., 2007)

Para o processamento de materiais poliméricos é importante saber qual a temperatura de fusão do material, transição vítrea e grau de cristalinidade, uma vez que sua temperatura de amolecimento para processamento depende dessas características. Para entendermos quais são esses valores foram analisados gráficos de DSC obtidos da literatura para posterior comparação com os dados obtidos durante teste de processamento do PET.

Outros aspectos também precisam ser analisados, como o aspecto visual da embalagem (transparência), diferenças nas propriedades mecânicas (resistência a compressão vertical) e rigidez (capacidade de se romper de forma fácil no caso de bandejas). Para analisar a transparência serão consideradas inspeções visuais realizadas durante o teste e fotos retiradas das embalagens obtidas. Para análise de resistência a compressão vertical será utilizado o equipamento de RCV marca Origetec e será avaliada a resistência máxima a compressão de cada pote individualmente. Já análise de corte e pré-corte não terá uma avaliação quantitativa em um primeiro momento, sendo apenas feitos testes manuais de rompimento das bandejas, pela avaliação da facilidade para se separar as unidades da bandeja.

Com esses parâmetros pode-se avaliar se o material atende a necessidade de resistência a compressão para formação do pallet e empilhamento das bandejas de produto, qual mudança

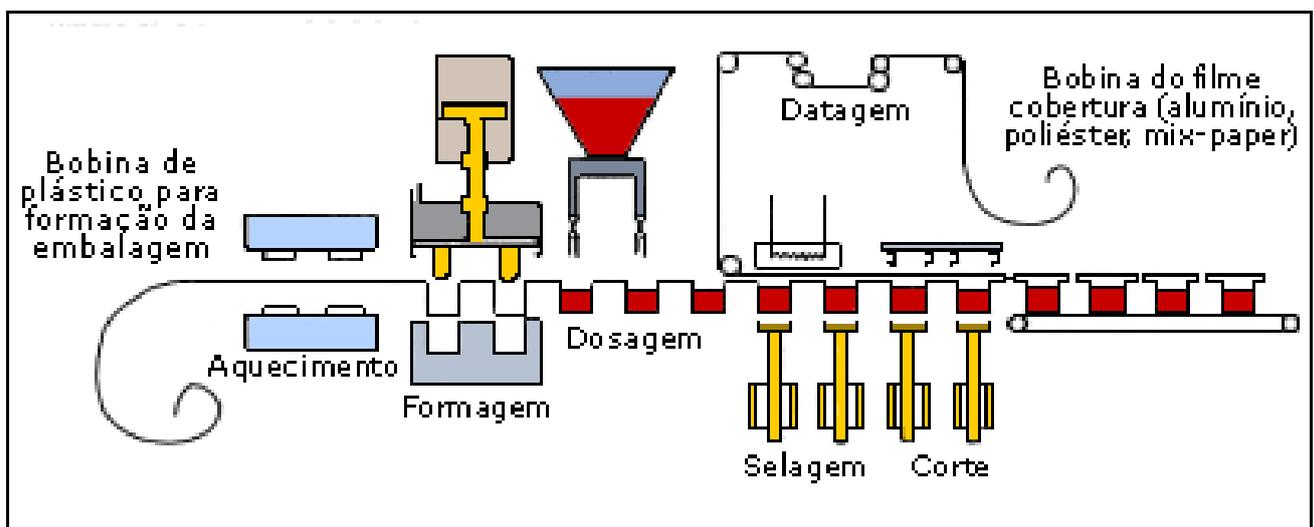
na aparência do produto final e qual experiência do consumidor ao romper a bandeja para retirar as unidades de produto.

Outra variável que necessita validação é a termo-selagem da embalagem. Como o principal sistema de selagem para embalagens poliméricas é a termo-selagem é necessário analisar como a troca do material da embalagem afeta nessa selagem, a selagem será realizada a 220°C com o tempo de contato de cerca de 1,5 segundo, para fazer a análise serão realizados testes visuais após o teste das embalagens produzidas.

Para formar as embalagens, uma bobina como a da figura 9 é adicionada a máquina termoformadora, algumas pinças prendem a parte lateral da bobina para controlar a movimentação do material dentro da máquina. Existem quatro estações de pré aquecimento dentro da máquina, essas etapas vão retirar umidade presente na chapa, além de deixar a temperatura mais próxima da temperatura de processamento, aquecendo a chapa entre 100°C até cerca de 130°C.

O teste de processamento será realizado em uma máquina tipo Erca de termoformagem com quatro etapas de pré-aquecimento em 130°C e formagem com sistema de punção e contra molde, de acordo com a figura 8:

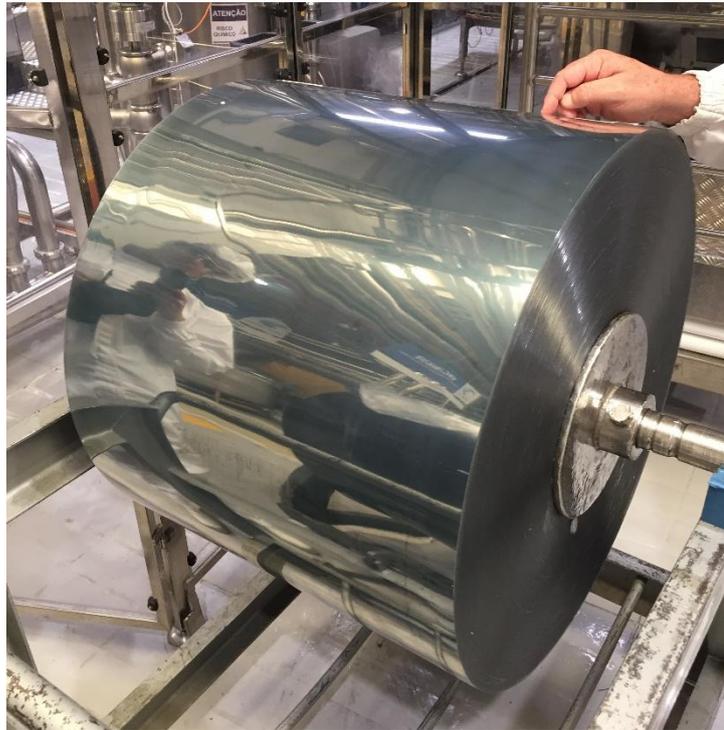
Figura 8: Esquema de processamento das embalagens.



Fonte: ABIPLAST, 2021.

Após esse pré-aquecimento a chapa chega à temperatura de processamento onde um punção (superior) é usado para forçar a chapa em um contra molde (inferior), fazendo o formato da bandeja, logo após essa etapa tem-se a dosagem do produto na embalagem.

Figura 9: Bobina de PET.



Fonte: Do Autor, 2019

Para selar essa embalagem é usado um filme normalmente de alumínio que passa por um processo de desinfecção, impressão da data de validade do produto e selagem com o auxílio de uma prensa aquecida. A última etapa do processo é o corte e pré-corte. No corte os excessos laterais são removidos e dependendo do formato desejado algumas bordas internas também podem ser removidas, enquanto no pré-corte é realizada a marcação de onde a embalagem deve ser quebrada para consumo unitário.

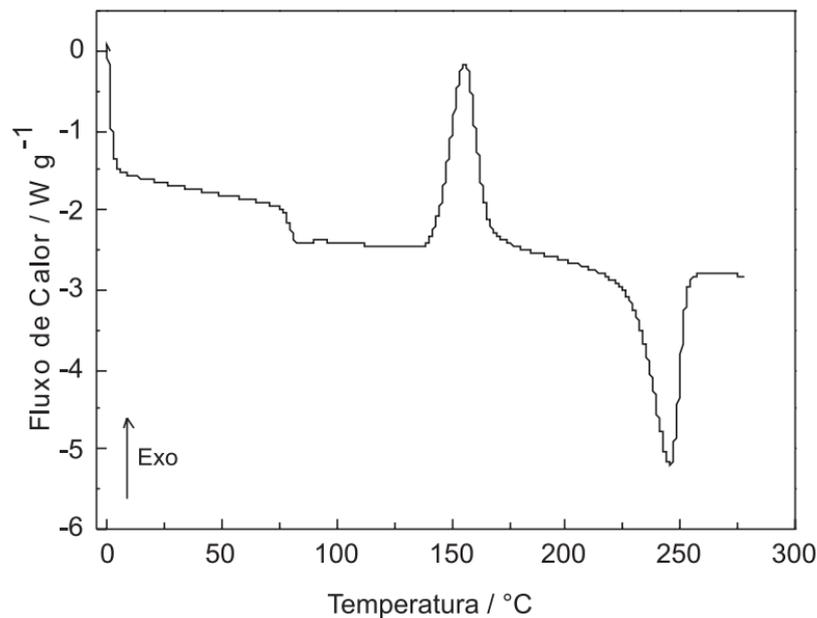
Durante realização do teste de RCV (Resistência a Compressão Vertical) espera-se um mínimo de resistência de 15 quilos/embalagem, o teste será realizado em 30 amostras de PET e PS.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DSC PET

Para o PET podemos analisar a partir do gráfico da figura 10 que sua temperatura de fusão ( $T_m$ ) é de  $256^\circ\text{C}$ , e sua temperatura de transição vítrea é de  $85^\circ\text{C}$ , sendo assim é esperado que sua temperatura de processamento se encontre entre esses valores com maior proximidade a temperatura de fusão, mais próxima do amolecimento. Outro fator que pode ser analisado no gráfico é o pico de cristalização, esse pico indica o quanto o material analisado é cristalino, como no caso desse gráfico o pico é acentuado o material apresenta uma cristalização considerável com temperatura de cristalização de  $160^\circ\text{C}$ , pois boa parte das suas cadeias se cristalizaram durante o aquecimento da análise.

Figura 10: Análise DSC PET amorfo.



Fonte: BANNACH et al, 2011.

### 5.2 Características do processamento

Durante a realização do teste o processamento foi realizado em diferentes temperaturas a partir da temperatura já usada para o PS de  $130^\circ\text{C}$ , os testes foram feitos aumentando a temperatura por  $5^\circ\text{C}$ . No início não houve boa formação dos potes pois a temperatura não foi

suficiente para permitir a conformação completa dos potes. Foi só a partir de 160°C que o pote completou sua formagem, acima dessa temperatura observou-se uma deformação excessiva que deixou as paredes do pote com menos material pois o material começou a escoar demais para o fundo do pote, quando isso acontece sua resistência cai drasticamente.

Foi observado que a temperatura ideal de processamento foi um pouco acima à usada para o poliestireno, para o PET foi usado cerca de 160°C em todas as etapas, valor próximo a temperatura de cristalização encontrado na DSC. É durante a cristalização que a fase amorfa começa a se cristalizar, e como o PET usado apresenta maior parcela amorfa era de se esperar que a maior parte das cadeias possuíssem mobilidade (amolecimento) próximo ao valor da temperatura de cristalização. Também pode-se perceber que esse valor é acima da temperatura de transição vítrea, onde a fase amorfa ganha mobilidade para se rearranjar buscando cristalização

Durante o teste, com mesma velocidade de produção do PS, percebeu-se uma retração do PET após a formagem, provavelmente devido a recristalização do material durante o processamento uma vez que à 160°C sua temperatura de cristalização já foi atingida, assim foi necessária uma redução de 20% na velocidade da máquina para que a embalagem fosse formada de forma satisfatória.

Devido a temperatura de 160°C, quando ocorriam paradas de máquina o PET ficava exposto a essa temperatura por um período maior o que ocasiona sua cristalização e consequente surgimento da cor branca, o que descaracteriza as propriedades da embalagem.

Para solucionar esse problema será necessário o uso de um sistema de resfriamento da chapa sempre que ocorrer paradas durante a operação, para evitar o aquecimento por longos períodos e consequente cristalização. Não foi avaliada a viabilidade econômica de um sistema como esse, portanto é possível que no início das utilizações de material quando houver paradas de máquinas maiores seja necessário o descarte de parte do material que cristalizou dentro da máquina.

Durante realização do teste de RCV foi observado para o PET um valor de 22 quilos/embalagem  $\pm 0,5$ , enquanto para o PS o resultado foi de 19 quilos/embalagem  $\pm 0,5$ . Isso mostra a maior resistência do PET em relação ao poliestireno e também mostra que as embalagens de PET podem suportar o peso do pallet de produto acabado sem problemas.

### 5.3 Peculiaridades dos materiais

Alguns pontos de atenção foram observados, a maioria relacionada a diferença entre o corte do PET e do PS, devido ao fato do poliestireno ser mais rígido no seu corte e pré-corte, após a formagem das bandejas, é utilizada apenas uma faca unilateral aquecida para realizar ambas as tarefas (corte e pré-corte).

Sobre a selagem foi possível perceber algumas embalagens com pontos que não foram bem selados, provavelmente devido interação insuficiente entre o alumínio do selo com o PET, assim se torna necessária a utilização de um verniz nas laterais das embalagens que aumente essa interação para garantir a selagem eficiente.

Para o PET, que apresenta maior flexibilidade, esse sistema de corte não se mostrou eficiente. O corte foi realizado, mas observou-se rebarbas e pontos afiados nas laterais das bandejas, o que pode ser um risco para os clientes principalmente no caso de crianças. Já o pré-corte não foi testado, pois a ferramenta atual não apresenta resistência muito alta podendo ser danificada em caso de excesso de esforço para trabalhar com PET.

Dessa forma se torna necessário a modificação das ferramentas de corte usadas em poliestireno para adaptação para PET, uma ideia seria usar uma ferramenta bilateral e com característica de ângulo que permitam um corte mais fácil que o atualmente usado, para evitar rebarbas e realizar o pré-corte no material.

Figura 11: Bandeja obtida de PET.



Fonte: Do Autor, 2019.

Percebe-se que a formagem foi satisfatória, conseguindo se atingir o formato ideal para embalagem, mas com alguns pontos de atenção que precisam ser analisados e modificados para que a substituição seja possível, mas mesmos com esses pontos espera-se bons resultados da substituição no futuro.

## **6 CONCLUSÃO**

Pôde-se perceber uma boa conformação da embalagem com uso do PET, todos formatos foram obtidas e o desenho ficou igual ao do poliestireno sem maiores ajustes na máquina, esse resultado é melhor que o esperado, uma vez que foi possível obter uma embalagem transparente de PET com as mesmas características da embalagem já utilizada, atingindo uma resistência a compressão melhor que a atual.

Alguns pontos de atenção foram observados e precisam analisados como ajuste das ferramentas de corte, adição de um sistema de resfriamento da chapa para paradas de máquina e verniz para realizar a selagem, mas mesmo assim é possível que a troca para uma embalagem mais sustentável, com maiores possibilidades de reciclagem, seja realizada em um futuro próximo.

## 7 REFERÊNCIAS

- SANTOS P.; CABRAL A. **Inclusão do indicador “impactos ambientais” na ferramenta “Diagnóstico do Sistema Embalagem”**: um estudo de caso em vinícola. Eng Sanit Ambient , vol. 18, p. 75-82, 2013
- ROYER B.; ASSUNÇÃO R. M. N.; RODRIGUES G. **Efeito da Aplicação do Poliestireno Sulfonado (PSSNa) como Aditivo em Argamassas e Concretos de Cimento Portland CPV32**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 15, nº 1, p. 63-67, 2005.
- LUNA C. B. B.; SILVA D. F.; ARAUJO D. M.; MELO T. J. F.; OLIVEIRA A. D. **Estudo do Comportamento Mecânico, Termomecânico e Morfológico de Misturas de Poliestireno/Composto de Borracha Reciclada (SBR)**. Matéria, vol. 20, p. 322-324, 2015.
- FIGUEIREDO, A. L.\*; ALVES, A. P. M.; FERNANDES JUNIOR, V. J.; ARAUJO, A. S. **Reciclagem Terciária do Poli(etileno tereftalato) Visando a Obtenção de Produtos Químicos e Combustível: Uma Revisão**. Rev. Virtual Quim., 2015
- ZANELLA F.; MORAES R. A.; LIMA N. B.; LIMA A. L. S. **Sacolas oxibiodegradáveis: degradação em decorrência da condição de descarte**. Revista brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 2018.
- CORRÊA J. O. S.; DIAS I. C.; RAHHAL N. D. F.; ALMEIDA A. M. **Estudo Sobre Benefícios E Desvantagens Do Uso Do Plástico E Do Papel Em Embalagens Para Sustentabilidade**. Brazilian Journal of Production Engineering, 2019.
- BORSOI C. **Compósitos De Poliestireno E Poliestireno Expandido Reciclado Reforçado Com Fibras De Curauá: Propriedades E Degradação**. UCS, 2012
- DIAS S. L. F. G.; TEODÓSIO A. S. S. **Estrutura da cadeia reversa: “caminhos” e “descaminhos” da embalagem PET**. Produção, v. 16, p. 429-441, 2006.
- SOARES N. F. F.; SILVA W. A.; PIRES A. C. S.; CAMILLOTO G. P., SILVA P. S. **Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos**. Ceres, 2019.
- FORLIN F. J.; FARIA J. A.; **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 12, nº 1, p. 1-10, 2002

FERNANDES, L. L., FREITAS, C. A., DEMARQUETTE, N. R., et al., **Estudo do efeito do tipo de polipropileno na fotodegradação da blenda polipropileno/poliestireno de alto impacto**, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.22, n.1, pp.61-68, 2012.

ZHANG, J., CHEN, H., ZHOU, Y., et al., **Compatibility of waste rubber powder/polystyrene blends by the addition of styrene grafted styrene butadiene rubber copolymer: effect on morphology and properties**, *Polymer Bulletin*, v. 10, n.10, pp. 2829-2841, 2013

LIU, Y.; WANG, M.; PAN, Z. **Catalytic depolymerization of polyethylene terephthalate in hot compressed water**. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2012.

DIMITROV, N.; KREHULA L. K.; SIROCIC A. P.; HRNJAK-MURGIC Z. **Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography**. *Polymer Degradation and Stability*, 2013.

LANDIM A. P. M.; BERNARDO C. O.; MARTINS I. B. A.; FRANCISCO M. R., SANTOS M. B.; MELO N. r. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**. *Polímeros*, 26(número especial), 82-92, 2016

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Perfil 2018: Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/08/perfil-2018-web.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2019.

OLIVEIRA, M. C. B. R.; SOUZA, P. N.; MELO JR., P. A.; ADERNE, R.; VASCONCELOS, S. M. R. **Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos**. 1. ed., E-papers, 2012

Manno, E. B.; Pacheco, E. B. A. V.; Bonelli, C. M. C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2010.

RIBEIRO, V. F., **Estudo da recuperação das propriedades mecânicas de poliestireno alto impacto reciclado através da incorporação de borrachas termoplástica tipo estireno-butadieno-estireno**, CCT/Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil, 2008.

COUTINHO, F. M. B.; COSTA, M. P. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C. **“Estudo comparativo de diferentes tipos de polibutadieno na tenacificação de poliestireno”**, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.17, n.4, pp.318-324, 2007.

CANEVAROLO JR., S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo, p. 213, 2007.

BANNACH, G.; PERPÉTUO G. L.; CAVALHEIRO E. T. G.; ROCHA R. R.; **Efeitos da história térmica nas propriedades do polímero pet: um experimento para ensino de análise térmica**. Química Nova, Vol.34, 2011.

GAVA, A. J. (2009). **Tecnologia de alimentos: princípio e aplicações**. Rio de Janeiro: Nobel, 2017.

MARSH, K., BUGUSU, B. (2007). **Food packaging: roles, materials, and environmental issues**. Journal of Food Science, 2007.

SCHWARK, F. **Influence factors for scenario analysis for new environmental technologies: the case for biopolymer**. Technology Journal of Cleaner Production, p.644-652, 2009.

LI, J.; SUN, F. F. **The effect of maleic anhydride graft on the interfacial adhesion of carbon fiber. reinforced thermoplastic polystyrene composite**. Journal of Composite Materials, v. 43, n. 23, p. 2717-2725, 2009.

RABELLO, M. **Aditivação de polímeros**. São Paulo: Artliber, p.242, 2000.

GROTE, Z. V.; SILVEIRA, J. L. **Análise energética e exergetica de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor)**. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, n. 3, p. 9-27, 2002.

LITHNER, D.; LARSSON, A.; DAVE, G. **Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition**. Science of the Total Environment, n. 409, p. 3309–3324, 2011.

FILHO, G. R.; DE ASSUNÇÃO, R. M. N.; MARQUES, F. C. A.; CORRENTE, N. G.; MEIRELES, C. S.; CERQUEIRA, D. A.; LANDIM, A. S. **Síntese de poliestireno sulfonado para aplicações no tratamento de água produzido a partir de copos e bandejas descartadas de poliestireno**. Química Nova, v. 31, n. 8, p. 2004-2008, 2008.

LI, J.; SUN, F. F. **The effect of maleic anhydride graft on the interfacial adhesion of carbon fiber. reinforced thermoplastic polystyrene composite**. Journal of Composite Materials, v. 43, n. 23, p. 2717-2725, 2009.

PAUL, D.; GOODMAN, I.; KROSCWITZ, J. I. **Polyesters to Polypeptide Synthesis**. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2nd Ed., vol. 12, 1985.

MACDONALD, W. A. **New advances in poly(ethylene terephthalate) polymerization and degradation.** Int. 51, p.923, 2002.

KOSCHEVIK, M. T.; BITTENCOURT, P. R. S. **Meio ambiente e materiais poliméricos: Breves considerações com ênfase ao Politereftalato de Etileno (PET) e processos de degradação.** Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, v. 2, n14, 2016.

**Perfil de consumo de plásticos no Brasil.** Abiplast, 2019. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/>. Acesso em 07/01/2021.

**Poliestireno: o que é, tipos e propriedade.** Plastbrinq, 2021. Disponível em: <https://plastbrinq.com.br/poliestireno/>. Acesso em: 24/02/2021

**Como escolher o tipo de embalagem de alimentos.** Foodconnection, 2021. Disponível em: <https://www.foodconnection.com.br/tecnologia/como-escolher-o-tipo-de-embalagem-de-alimentos>. Acesso em 08/01/2021.

**Química: Poliestireno.** Mundo educação, 2021. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/poliestireno.htm>. Acesso em 08/01/2021.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos.** 2012.

AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P., & BAEYENS, J. **The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: from re-use to energy and chemicals.** Progress in Energy and Combustion Science, p103-129, 2010.

MERCOSUL/GMC/RES. **Regulamento técnico Mercosul: Embalagens de poli(tereftalato de etileno), (PET), pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício) destinadas a entrar em contato com alimentos.** No 30/07, 2007.