



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MATHEUS FERREIRA MATIAS

**ESTUDO PARA REUTILIZAÇÃO DE MOÍDO GERADO NA TERMOFORMAGEM
NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE BALDES PLÁSTICOS**

Recife

2022

MATHEUS FERREIRA MATIAS

**ESTUDO PARA REUTILIZAÇÃO DE MOÍDO GERADO NA TERMOFORMAGEM
NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE BALDES PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador (a): Prof. ^a Dra. Carolina Lipparelli Morelli

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Matias, Matheus Ferreira.

Estudo para reutilização de moído gerado na termoformagem no processo de
injeção de baldes plásticos / Matheus Ferreira Matias. - Recife, 2022.

71 : il., tab.

Orientador(a): Carolina Lipparelli Morelli

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica -
Bacharelado, 2022.

1. Polímeros. 2. Polipropileno. 3. Processamento de materiais poliméricos.
4. Extrusão de polímeros. 5. Injeção de polímeros. I. Morelli, Carolina Lipparelli.
(Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

MATHEUS FERREIRA MATIAS

**ESTUDO PARA REUTILIZAÇÃO DE MOÍDO GERADO NA TERMOFORMAGEM
NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE BALDES PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em: 03 / 11 / 22

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Carolina Lipparelli Morelli
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Justo Emilio Alvarez Jacobo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este TCC a minha mãe, Laudiceia, ao meu pai, João Antônio, a minha irmã, Priscila, a minha pertilhosa esposa, Thatiane, e a Sophia, Bob e Galega.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo seu amor, cuidado, graça e infinita misericórdia sobre minha vida. Por toda a Sua providência sobre mim e por ter me permitido cursar Engenharia Mecânica numa universidade pública.

Deixo registrada também a minha gratidão a toda a minha família, em especial aos meus pais, João e Laudiceia, bem como a minha irmã, Priscila. Obrigado por todo apoio, orações, ajuda e paciência durante esses anos de faculdade e pelo incentivo para cumprir o nosso sonho de ter o primeiro engenheiro na família. Agradeço também a minha tia do coração, Lucicleide, por sempre pedir a Deus para que Ele me ajude.

Meu muito obrigado para a minha pertilhosa esposa, Thatiane. Obrigado pelo teu cuidado, carinho, orações e ajuda não somente nesses últimos dias, mas durante toda a graduação me apoiando e incentivando. Agradeço também aos meus sogros, Aldo e Tânia, assim como as minhas cunhadas, Thais e Thaiza, por todo encorajamento na sequência do curso e orações.

Agradeço a todos os meus amigos que de alguma forma me ajudaram e incentivaram a lutar pela realização deste sonho, que muitos destes amigos acompanharam desde o início. Aqui representados por Augusto, Erick, Ítalo, Mayara e os Cut Cut's.

Agradeço também a minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Carolina Lipparelli Morelli que aceitou o desafio de me ajudar nessa reta final do curso e muito me incentivou para finalmente obter o título de engenheiro pois só o TCC me impedia de recebe-lo.

Agradeço a todas as pessoas da empresa em estudo que me ajudaram de todas as formas para que esse trabalho fosse realizado. Obrigado a todos os meus líderes e amigos de trabalho.

Agradeço também a Escola Técnica SENAI de Ipojuca na pessoa do Prof. Me. Lindembergue Pereira Costa Júnior por disponibilizar os equipamentos necessários.

Quero também deixar meus agradecimentos ao Prof. Dr. Justo Emílio Alvarez Jacobo, bem como ao Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves e a Prof.^a Dr.^a Dayanne Diniz de Souza Moraes por aceitarem fazer parte da minha banca avaliadora.

Agradeço a todos os professores, tanto do DEMEC quanto de toda a UFPE, que contribuíram para que esse momento fosse possível.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma ajudaram, torceram e contribuíram, direta ou indiretamente, para que esse dia tão aguardado chegasse.

Este é a imagem do Deus invisível, o primogênito de toda a criação; pois, nEle, foram criadas todas as coisas, nos céus e sobre a terra, as visíveis e as invisíveis, sejam tronos, sejam soberanias, quer principados, quer potestades. Tudo foi criado por meio dEle e para Ele. Ele é antes de todas as coisas. NEle, tudo subsiste.

Colossenses 1:15-17

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a reutilização de rebarbas oriundas do processo de termoformagem no processo de injeção de baldes plásticos de uma indústria do estado de Pernambuco, uma vez que o processo de termoformagem gera uma elevada quantidade de rebarbas. Para isso foi desenvolvida uma blenda de polipropileno homopolímero (PP Homo), utilizado no processo de termoformagem, e polipropileno copolímero (PP Copo), utilizado no processo de injeção, com a adição de um agente modificador de impacto para facilitar o processamento. Para avaliação dos materiais individuais e da blenda foram realizados ensaios de caracterização térmica com a calorimetria exploratória diferencial, reológica com o teste de índice de fluidez e mecânica do material verificando a resistência ao impacto dos materiais, baseados nas normas ASTM D256, D1238 e D4101. Além disso também foram executados testes internos na empresa em questão, segundo a norma ABNT NBR 14952:2020. Os resultados mostraram que a blenda feita com 49,5% de PP Homo, 49,5% de PP Copo reciclados e 1% do Agente Modificador de Impacto apresentou propriedades finais alinhadas, tendo sido aprovada em todos os testes da norma ABNT, assim como pelos clientes da empresa. Por conta disso a blenda foi validada pela empresa e agora é utilizada como formulação principal para a injeção de baldes de produtos químicos, tintas e solventes. A economia gerada com o desenvolvimento dessa nova formulação foi de 10,7% em comparação com a antiga formulação.

Palavras-chave: fabricação de baldes; injeção; material reprocessado; caracterização de polímeros; polipropileno.

ABSTRACT

The following paper was developed aiming the study of reused burrs from the process of thermoforming in the process of injection of plastic buckets from an industry in the state of Pernambuco, whereas the thermoforming process generates an elevated quantity of burrs. Therefore, it was developed a homopolymer polypropylene blend (PP Hymo) used in the thermoforming process and a copolymer polypropylene (PP Copo) used in the injection process with the addition of an impact modifier agent to ease the processing. For the individual materials and their blend evaluation were made tests of thermal with differential scanning calorimetry, rheological with melt flow rate test and mechanical characterization of the material checking the impact resistance of materials, based on ASTM D256, D1238 and D4101 standards. Furthermore, internal tests were also executed in the company in point, listed in the ABNT NBR 14952:2020 standard. The results showed that the blend made with recycled 49,5% of PP Hymo and 49,5% of PP Copo and 1% of the impact modifier agent presented satisfactory final properties, being approved by the ABNT standard in all tests and by the company clients as well. Therefore, the blend was validated by the company and now is used as the main formulation for the bucket's injection of chemical products, paints and solvents. The generated economy with the development of this new formulation was 10,7% compared to the latest formulation.

Keywords: buckets fabrication; injection, reprocessed material; polymer characterization; polypropylene.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 –	Monômero propileno polimerizado vira o Polipropileno.	20
Figura 2 –	Exemplos de aplicação do PP. (a) Embalagens alimentícias; (b) Embalagens para indústria de químicos; (c) indústria automobilística; (d) eletrodomésticos.	21
Figura 3 –	Estrutura química dos tipos de copolímeros.	22
Figura 4 –	Estrutura química dos comonômeros do copolímero de EPR.	23
Figura 5 –	Máquina extrusora e suas divisões.	26
Figura 6 –	Matriz plana (<i>flat die</i>) para extrusão de chapas ou filmes planos.	27
Figura 7 –	Tipo de matriz perfurada para fabricação de <i>pellets</i> .	28
Figura 8 –	Máquina injetora com descrição das suas principais partes.	29
Figura 9 –	Exemplo de molde utilizado em um processo de injeção.	30
Figura 10 –	Máquina injetora com descrição das suas principais partes.	31
Figura 11 –	<i>Grade A</i> em formato de grãos.	34
Figura 12 –	<i>Grade B</i> em formato de grãos.	34
Figura 13 –	<i>Blenda A</i> em formato de grãos.	35
Figura 14 –	Corpos de prova injetados para ensaio de impacto.	37
Figura 15 –	<i>HAAKE Minijet II</i> .	37
Figura 16 –	<i>STARe System</i> da Mettler Toledo.	40
Figura 17 –	<i>PT-HY4310A Lab Kits</i> da <i>U-Therm International (H.K.) Limited</i> .	41
Figura 18 –	Máquina entalhadora.	42
Figura 19 –	<i>PIT 550J-3</i> da <i>Shenzhen Wance Testing Machine Co. Ltd.</i>	43
Figura 20 –	Exemplos de dimensionais dos baldes.	45

GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Produção de transformados plásticos no Brasil para embalagens do setor de alimentos.	14
Gráfico 2 –	Produção de transformados plásticos no Brasil para embalagens do setor de químicos.	15
Gráfico 3 –	<i>DSC Grade A</i>	53
Gráfico 4 –	<i>DSC Grade B</i>	54
Gráfico 5 –	<i>DSC Blenda A</i>	55
Gráfico 6 –	Zoom no DSC para análise da Tg	56
Gráfico 7 –	Zoom no DSC para análise da Tm	57
Gráfico 8 –	Zoom no DSC para análise da Tc	58
Gráfico 9 –	Comparativo dos índices de fluidez e de resistência ao impacto das três formulações	61

QR CODE

QR Code 1 –	Vídeo da primeira fase de alimentação de material para injeção de corpo de prova.	38
QR Code 2 –	Vídeo da segunda fase de alimentação de material para injeção de corpo de prova.	38
QR Code 3 –	Vídeo da Injeção do corpo de prova.	39
QR Code 4 –	Vídeo do processo de entalhe de um corpo de prova.	43
QR Code 5 –	Vídeo de um ciclo do teste de resistência ao impacto Izod.	44
QR Code 6 –	Vídeo do teste de estanqueidade.	46
QR Code 7 –	Vídeo do teste de resistência ao impacto de fundo.	47
QR Code 8 –	Vídeo do teste de resistência ao impacto de tampa.	48
QR Code 9 –	Vídeo do teste de resistência ao impacto de lateral.	49
QR Code 10 –	Vídeo do fechamento com rolete.	64
QR Code 11 –	Vídeo do detalhe do fechamento com rolete.	64
QR Code 12 –	Vídeo do fechamento com pistão.	65
QR Code 13 –	Vídeo do fechamento com martelo.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Formulações utilizadas neste trabalho.	33
Quadro 2 –	Temperaturas das zonas de extrusão, da matriz e da massa polimérica.	36
Quadro 3 –	Velocidade de rotação da rosca e velocidade do corte do material.	36
Quadro 4 –	Altura de queda livre dos baldes.	46
Quadro 5 –	Classificação dos baldes.	47
Quadro 6 –	Quantidades de baldes para teste de empilhamento.	49
Quadro 7 –	Formulações para cálculo da economia financeira.	51
Quadro 8 –	Dados sobre o processamento dos materiais.	52
Quadro 9 –	Temperatura de transição vítrea (Tg).	56
Quadro 10 –	Temperatura de fusão cristalina (Tm).	57
Quadro 11 –	Temperatura de cristalização (Tc) e teor de cristalinidade (%C).	59
Quadro 12 –	Índices de fluidez encontrados.	60
Quadro 13 –	Resistência ao Impacto Izod a 23 °C.	60
Quadro 14 –	Consolidado dos dados sobre o processamento dos materiais.	62
Quadro 15 –	Dados sobre os testes realizados internamente na empresa.	63
Quadro 16 –	Valores da economia financeira.	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	<i>POLÍMEROS</i>	19
3.1.1	POLIPROPILENO	20
3.1.2	GRADE E BLENDAS	21
3.2	<i>COPOLÍMEROS</i>	22
3.3	<i>ADITIVOS</i>	23
3.3.1	AGENTE MODIFICADOR DE FLUXO	24
3.3.2	AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO	24
3.4	<i>EXTRUSÃO</i>	25
3.4.1	EXTRUSÃO DE CHAPA	26
3.4.2	EXTRUSÃO DE GRÃOS	27
3.5	<i>INJEÇÃO</i>	28
3.5.1	MOLDE	29
3.5.2	CICLO DE INJEÇÃO	30
3.6	<i>UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS REPROCESSADOS</i>	31
4	METODOLOGIA	33
4.1	<i>MATERIAIS</i>	33
4.2	<i>PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS</i>	35
4.2.1	EXTRUSÃO	35
4.2.2	INJEÇÃO (CORPOS DE PROVA)	36
4.2.3	CARACTERIZAÇÕES	39
4.2.3.1	DSC (Differential Scanning Calorimetry)	39
4.2.3.2	Índice de Fluidez – MFR (Melt Flow Rate)	40
4.2.3.3	Resistência ao Impacto	41
4.2.4	TESTES INTERNOS	44
4.2.4.1	Análises dimensionais	44
4.2.4.2	Estanqueidade	45
4.2.4.3	Droptest (Teste de queda livre)	46

4.2.4.3.1	<i>Resistência ao impacto de fundo</i>	47
4.2.4.3.2	<i>Resistência ao impacto de tampa</i>	48
4.2.4.3.3	<i>Resistência ao impacto lateral</i>	48
4.2.4.4	Empilhamento Estático	49
4.2.4.5	Fechamento	50
4.2.5	ECONOMIA FINANCEIRA	50
5	ANÁLISE DE RESULTADOS	52
5.1	PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS	52
5.1.1	EXTRUSÃO	52
5.1.2	INJEÇÃO DE BALDES	52
5.2	CARACTERIZAÇÕES	53
5.2.1	DSC (DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY)	53
5.2.1.1	Temperatura de Transição Vítreia (Tg)	56
5.2.1.2	Temperaturas de Fusão Cristalina (Tm)	56
5.2.1.3	Temperatura de cristalização e % de cristalinidade	58
5.2.2	ÍNDICE DE FLUIDEZ – MFR (MELT FLOW RATE)	59
5.2.3	RESISTÊNCIA AO IMPACTO	60
5.3	TESTES INTERNOS	63
5.4	ECONOMIA FINANCEIRA	66
6	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

As embalagens plásticas no Brasil são amplamente utilizadas em diversos ramos, como o de alimentos ou da indústria química de tintas e solventes. Isso se dá pela extrema versatilidade desses produtos quanto a suas formas e propriedades. As embalagens plásticas trazem ao fornecedor e ao cliente final algumas garantias extremamente importantes, sendo algumas delas: proteção do produto contra choques físicos durante a produção ou transporte, impedimento do contato do oxigênio com o produto evitando oxidação, proteção contra entrada de microrganismos, barreira à evaporação de gases e voláteis do produto envasado, entre outros. Os plásticos representam o segmento que tem a maior parcela de produção de embalagens, de cerca de 39,6% do setor no Brasil (ABRE, 2020).

A utilização de tais embalagens se dá em diversos setores da indústria. A Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2021) mostrou que dentro dos produtos que tem ciclo de vida curto, até 1 ano, o setor alimentício, em 2020, representou a maior parcela de contribuição com 21,6% do consumo de embalagens plásticas no país. Esse valor representou uma produção de 1,53 milhões de toneladas, o que significa um aumento em relação aos anos anteriores, como se pode ver no Gráfico 1.

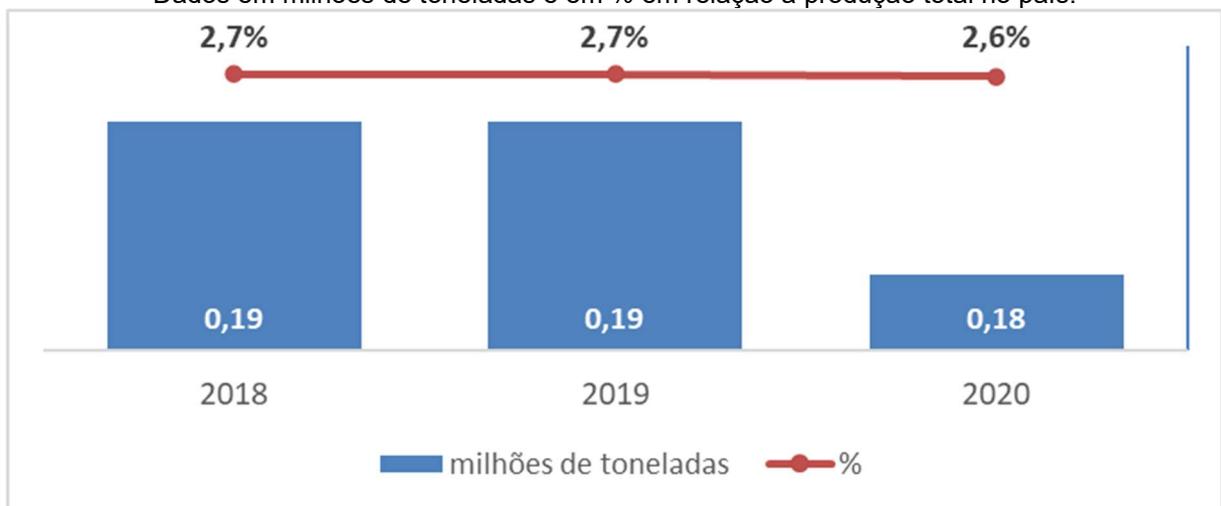
Gráfico 1 – Produção de transformados plásticos no Brasil para embalagens do setor de alimentos. Dados em milhões de toneladas e em % em relação a produção total no país.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIPLAST (2021)

Outro setor industrial que tem grande contribuição na fabricação de embalagens é o setor de químicos. Que em contrapartida ao crescimento que há na fabricação de embalagens plásticas para o setor alimentício, o de químicos, incluindo aqui as embalagens para tintas e solventes, vem tendo uma baixa no período de pandemia. Comparando os anos de 2018, 2019 e 2020, é possível observar que a produção de transformados plásticos para esse setor diminuiu, como se vê no Gráfico 2 abaixo.

Gráfico 2 – Produção de transformados plásticos no Brasil para embalagens do setor de químicos. Dados em milhões de toneladas e em % em relação a produção total no país.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIPLAST (2021)

Por conta dessa tendência de não crescimento do setor de embalagens de químicos a procura por produtos que forneçam uma produção mais barata tem aumentado consideravelmente. Uma das opções que existe é a reutilização de refugos de processos, como o de termoformagem, para baratear o custo produtivo. Entretanto, uma vez que cada material e processo necessitam de parâmetros diferentes para serem processados, existe a necessidade da inserção de alguns aditivos para facilitar o processamento, como por exemplo, agentes modificadores de fluxo e/ou agentes modificadores de impacto.

O polipropileno, PP, é o polímero mais utilizado no ramo de produtos plásticos no Brasil, representando, em 2021, 20,1% do uso total de termoplásticos no país (ABIPLAST, 2021).

O grande uso desse polímero se dá por alguns motivos, entre eles: baixo custo, boas propriedades térmicas e mecânicas, alta inércia química, facilidade na moldagem, range do índice de fluidez grande. Todas essas características permitem ao PP o seu uso em diversos processos de transformação de plásticos.

Entre alguns dos principais processos que utilizam o PP como resina principal no Brasil (ABIPLAST, 2022) estão o processo de extrusão, com 53,7%, e o de injeção, representando 44% do total. Juntos eles representam quase que a totalidade os tipos de processamentos de plásticos no país. Ainda segundo a Associação, dentro do processo de extrusão pode-se ver que praticamente 50% está relacionado à fabricação de filmes, enquanto 25,7% correspondem à extrusão de perfil e 19% representam, a extrusão de chapas para termoformagem.

O processo de termoformagem ainda é muito utilizado no país, principalmente para a fabricação de embalagens alimentícias. Este processo gera uma elevada quantidade de rebarbas, intrínsecas ao processo. É importante o reaproveitamento dessas rebarbas visando reduzir a quantidade de material virgem utilizado e, portanto, reduzindo custos e o impacto ambiental de utilização de material proveniente do petróleo. Entretanto, após um processamento fabril as propriedades reológicas e mecânicas do polímero são alteradas, necessitando de ajustes nas condições ou inclusão de aditivos para que um novo processo, agora de reaproveitamento, seja viável.

As rebarbas geradas no processo de termoformagem naturalmente são utilizadas no processo de extrusão de chapas que antecede o processo de termoformagem para que se possa aproveitar corretamente o material. Porém a quantidade de rebarbas geradas é muito alta, o que muitas vezes torna inviável utilizar todo o material apenas na extrusão. Isso ocasiona a necessidade de se encontrar outras utilizações para esse material.

Nesse contexto, o presente TCC foi desenvolvido com base em um problema real existente em uma indústria fabricante de embalagens do estado de Pernambuco. Nessa indústria, visando redução de custo, buscou-se estudar o reaproveitamento do refugo do processo de termoformagem também no processo de injeção.

Neste trabalho, no primeiro subtópico da fundamentação teórica, será feito um breve resumo sobre o que são os polímeros, quais são os seus tipos e suas

características. Também serão apresentadas informações sobre suas propriedades, os usos na indústria de uma forma geral e a utilização desse tipo de material na indústria alimentícia e de químicos, especificamente.

No segundo subtópico será lembrando o conceito de copolímero, qual o tipo do copolímero em uso neste trabalho, também as suas funções e as expectativas nas mudanças das propriedades.

No terceiro subtópico será detalhado o que é um agente modificador de impacto, quais os tipos e também as suas funções. Logo em seguida serão analisadas as principais características desse tipo de material e quais as propriedades relevantes para o estudo em questão.

No quarto subtópico será possível ver o que é o processo de extrusão e quais são os seus principais tipos. Também será apresentado o funcionamento de uma extrusora e seus principais componentes.

No quinto subtópico será exposto o processo de injeção, como acontece, quais são as ferramentas necessárias, assim como quais as principais variáveis deste processo.

Já no sexto subtópico será possível ver um pouco de como os materiais podem ser reprocessados, afinal o processo de termoformagem transforma aproximadamente 50% da sua matéria prima em produto não conforme ou rebarbas.

2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a reutilização de rebarbas oriundas do processo de termoformagem no processo de injeção de baldes para a indústria de químicos, tintas e solventes. Para isso foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma formulação contendo material oriundo de rebarbas de termoformagem para a injeção de baldes com orientação da empresa fornecedora do agente modificador de impacto;
- Atestar a viabilidade técnica da adição de um agente modificador de impacto nesse material visando facilitar a reutilização das rebarbas realizando teste de índice de fluidez;
- Caracterizar as propriedades reológicas e térmicas, que impactam diretamente em suas processabilidades realizando o ensaio de *DSC (Differential Scanning Calorimetry)*;
- Caracterizar as propriedades mecânicas dos materiais, que impactam diretamente nas aplicações previstas dos produtos acabados realizando teste de resistência ao impacto Izod.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de lembrar alguns conceitos essenciais para que este trabalho pudesse ser desenvolvido. Por isso será visto um pouco sobre o conceito de polímeros, agente modificador de impacto, do processo de extrusão e do processo de injeção.

3.1. POLÍMEROS

A palavra polímero é derivada de duas palavras gregas, são elas: “poli”, que significa muito, e “mero”, que quer dizer parte ou unidade. Com base nisso, Manrich (2005) afirma que polímero é um material que tem um alto peso molecular formado por unidades estruturais repetitivas. Essas unidades (meros) são obtidas a partir de monômeros. Esse material pode ser orgânico ou inorgânico, sintético ou natural.

Manrich (2005) divide os polímeros em plásticos, elastômeros e fibras, segundo seu comportamento mecânico e aplicação.

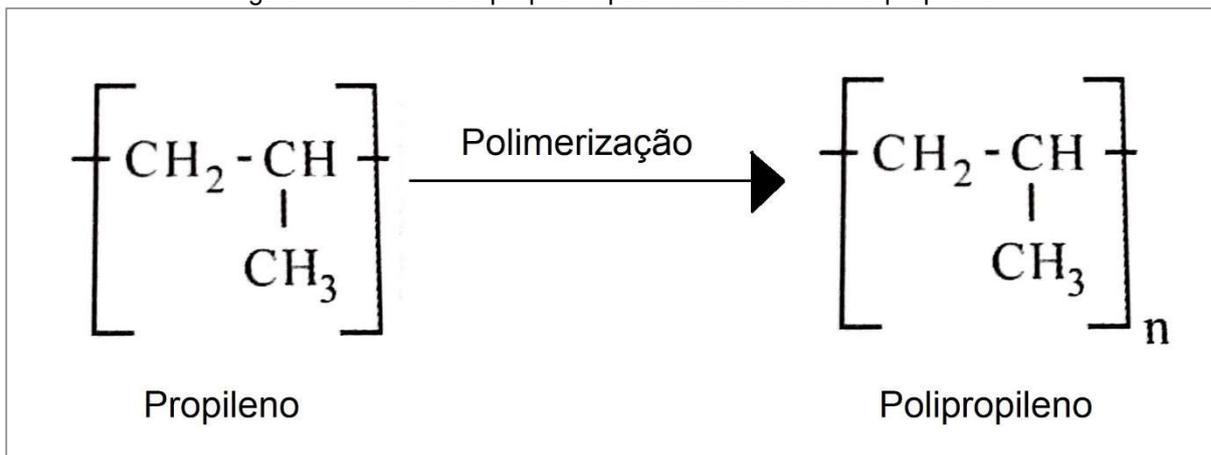
Os plásticos, por sua vez, podem ser divididos em dois grupos. Sendo eles:

- a) Termofixos: também conhecidos como termorrígidos, são materiais oriundos de resinas líquidas que após sofrerem o processo de cura tornam-se infusíveis e insolúveis devido à formação de ligações cruzadas, que são ligações covalentes primárias intermoleculares.
- b) Termoplásticos: são materiais que sob aquecimento podem amolecer e quando submetidos ao resfriamento voltam a solidificar, sendo esse processo reversível devido à presença apenas de ligações secundárias entre as macromoléculas. A reversibilidade desse processo faz com que refugos e rebarbas de processos possam ser refundidas e reaproveitadas, o que é o foco de estudo do presente trabalho. Essa propriedade também favorece a ampla utilização dos termoplásticos em embalagens para indústria química e para o gênero alimentício.

3.1.1. POLIPROPILENO

Segundo NASCIMENTO, TIMÓTEO e RABELLO (2013) o PP homopolímero é obtido a partir do monômero propeno, conforme Figura 1. Sendo predominantemente de configuração isotática, que pode atingir um grau de cristalinidade de até 60%.

Figura 1 – Monômero propileno polimerizado vira o Polipropileno



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CANEVAROLO (2020)

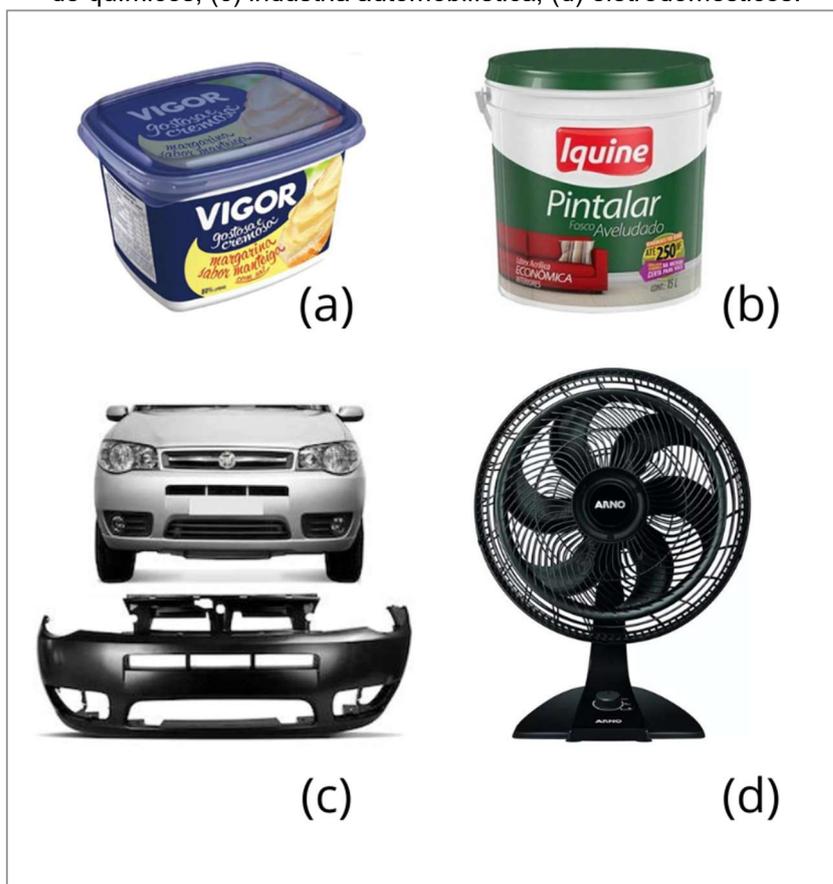
O PP é um homopolímero, estando incluso na classificação de poliolefina, sendo também um termoplástico e reciclável, características essas que o tornam extremamente importante industrialmente, inclusive para o setor de embalagens.

Este polímero tem algumas propriedades amplamente conhecidas, sendo algumas delas:

- a) Baixa densidade: aproximadamente 0,905 g/cm³;
- b) Temperatura de transição vítrea (Tg): - 20 °C;
- c) Temperatura de fusão cristalina (Tm): 165 °C;
- d) Alta resistência química a solventes;
- e) Baixo custo.

Algumas das aplicações do PP são: embalagens alimentícias em geral (ex.: potes e tampas termoformados), embalagens para a indústria de químicos em geral (ex: baldes injetados para tintas), para-choques e painéis de carro para a indústria automobilística, eletrodomésticos, recobrimento de fios elétricos, entre outros, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Exemplos de aplicação do PP. (a) Embalagens alimentícias; (b) Embalagens para indústria de químicos; (c) indústria automobilística; (d) eletrodomésticos.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de banco de imagens da internet (2022).

Para algumas aplicações, inclusive de embalagens, pode ser necessário diminuir a cristalinidade e a rigidez do material, assim como sua temperatura de fragilização, dada pela temperatura de transição vítrea (T_g). Nesses casos faz-se interessante o uso de copolímeros de propileno e etileno.

3.1.2. GRADE E BLENDAS

No mundo do plástico é extremamente comum se deparar com algumas das duas expressões encontradas acima, na descrição desse subtópico, por conta disso se faz necessário contextualizá-las.

- a) *Grade*: esta expressão é comumente utilizada para descrever um desenvolvimento de um polímero com determinadas características. Uma mesma classe de polímero (ex: polipropileno), pode apresentar vários *grades* diferentes, devido a mudança em seu peso molecular, sua taticidade,

presença de ramificações, adição de aditivos, etc. Nesse trabalho temos a utilização de três grades diferentes, sendo eles: PP homopolímero, PP copolímero e um PP que atua como agente modificador de impacto.

- b) Blenda: é a mistura física de vários polímeros, ou seja, é a mistura de diferentes *grades* com a finalidade de modificar as características do polímero que será gerado, tais como: índice de fluidez, resistência a impacto, entre outros. Um dos processos mais utilizados para fabricação de blendas é a extrusão.

3.2. COPOLÍMEROS

Segundo CANEVAROLO (2020) o copolímero é um polímero que apresenta mais de um mero diferente na cadeia polimérica. A depender da ordenação dos diferentes meros dentro da cadeia os copolímeros são classificados de formas diferentes, conforme Figura 3.

Figura 3 – Estrutura química dos tipos de copolímeros.



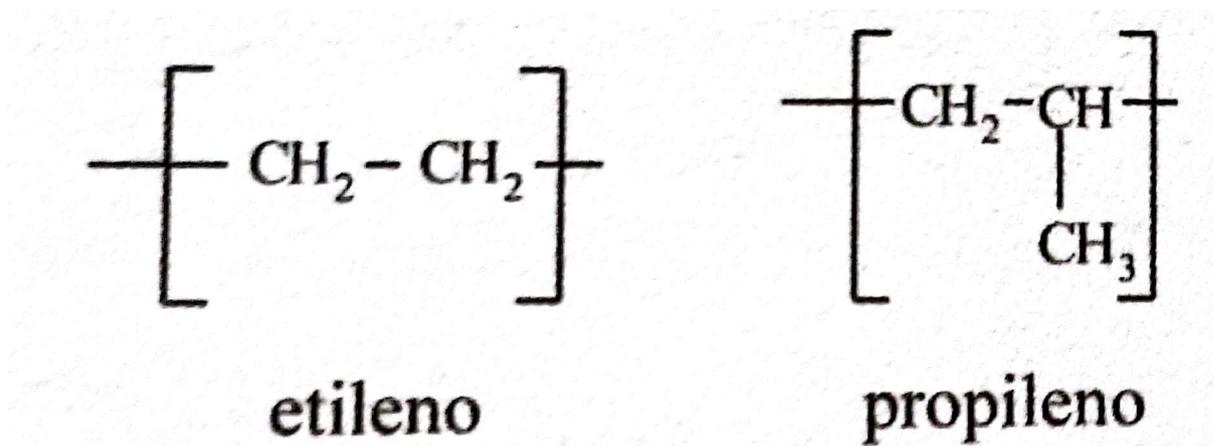
Fonte: Wikipedia (2022).

No caso do estudo em questão é utilizado um copolímero em bloco, também conhecido como copolímero bloqueado. Como a classificação indica, neste copolímero há a formação de sequências de um mero alternando com sequências de outro mero.

O copolímero do estudo é originado através da polimerização feita com os monômeros etileno e propileno, resultando em um polímero formado por blocos de meros advindos desses dois materiais de origem, resultando no copolímero (etileno-propileno), aqui representado por PP Copo, exposto na Figura 4. A expectativa gerada com a copolimerização é que a cristalização do material seja mais difícil do que no

caso do homopolímero, portanto, o teor de cristalinidade também será reduzido fazendo com que a rigidez diminua, o que gera um aumento da resistência ao impacto deste material.

Figura 4 – Estrutura química dos meros do copolímero de EPR.



Fonte: CANEVAROLO (2020)

3.3. ADITIVOS

Os aditivos são materiais adicionados a um polímero com a finalidade de mudar uma ou mais propriedades, concedendo ao material final alguma qualidade que somente a resina não ofereceria ao produto.

Porém, segundo RABELLO e PAOLI (2013), de forma geral os aditivos necessitam cumprir oito requisitos, sendo eles:

- a) Eficientes em sua função;
- b) Estáveis nas condições de processamento;
- c) De fácil distribuição e dispersão;
- d) Estáveis nas condições de serviço;
- e) Não migrar ou migrar de forma controlada;
- f) Ser atóxico e não provocar gosto ou odor;
- g) Não afetar negativamente as propriedades do polímero;
- h) Ser de baixo custo.

No presente trabalho com foco em produção industrial de embalagens plásticas dois aditivos merecem destaque, conforme detalhado a seguir.

3.3.1. AGENTE MODIFICADOR DE FLUXO

Este aditivo, como o próprio nome indica, visa alterar as propriedades de fluidez/viscosidade do polímero escolhido. Nesse caso tal aditivo é adicionado com a finalidade de aumentar o IF (índice de fluidez) do material trabalhado, fazendo assim com que o polímero flua de forma mais fácil, trazendo uma redução nos tempos de ciclos, no caso da injeção, o que resultará em maior produtividade e menor consumo de energia para produção por peça.

Segundo RABELLO e PAOLI (2013) esse tipo de aditivo é utilizado em dois campos principais de aplicação, sendo eles:

- a) Policloreto de vinila (PVC);
- b) Poliolefinas (polietileno - PE e PP).

3.3.2. AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO

Na literatura esse aditivo também é conhecido como tenacificante já que o seu maior objetivo é aumentar a tenacidade do material, ou seja, aumentar a resistência ao impacto do produto final. No caso desse agente o que acontece é basicamente a inserção de um polímero com propriedades elastoméricas ou do próprio elastômero, o que resulta numa *blenda* com maior tenacidade.

A composição dos agentes modificadores de fluxo pode variar de acordo com o polímero ao qual ele será adicionado. No caso do PP, segundo RABELLO e PAOLI (2013), os elastômeros mais utilizados são o EPM – poli(etileno–co–propileno) – e o EPDM – poli(etileno–co–propileno–co–dieno).

Comumente são vistas algumas alterações nas propriedades do PP com a adição desse tipo de aditivo, estando algumas delas listadas abaixo:

- a) Aumento da resistência ao impacto;
- b) Diminuição da rigidez;
- c) Diminuição da temperatura de distorção térmica (HDT).

A mistura do polímero base com aditivos e com rebarbas ou refugos de processo é feita através do processo de extrusão, descrito a seguir.

3.4. EXTRUSÃO

A extrusão, segundo Manrich (2013), é um processo de transformação de plásticos, mais especificamente dos termoplásticos por conta da sua boa processabilidade e capacidade de amolecimento sob aquecimento repetidas vezes.

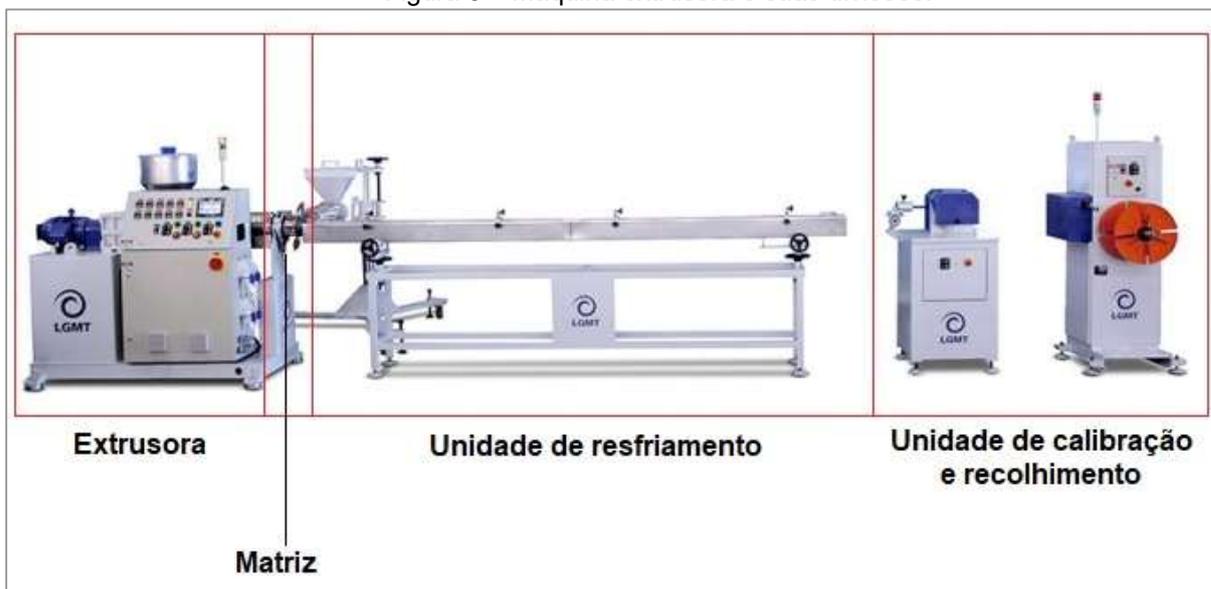
Segundo Manrich (2013), a palavra extrusão tem origem do latim, onde “ex” significa fora e “trudere” significa empurrar ou forçar. Então é possível entender que extrusão significa empurrar/forçar para fora. Na extrusora o material plástico amolecido é conduzido e cisalhado por uma rosca sem fim e forçado a passar através de uma matriz que confere o formato da seção transversal da peça.

A linha de extrusão é composta de 4 (quatro) grandes partes, sendo elas:

- a) Extrusora (*extruder*): aqui é a região onde o material é alimentado no canhão (barril) e dentro desse compartimento tem sua temperatura elevada acima de sua temperatura de amolecimento, de acordo com o material trabalhado. A rosca, que está interna ao canhão, tem o trabalho de cisalhar e misturar o material, além de transportá-lo em direção à matriz.
- b) Matriz (*die*): este componente é o que dá a forma da seção transversal do material extrudado. Para a produção de embalagens termoformadas (potes alimentícios) são utilizadas chapas plásticas como material de entrada. Essas chapas são produzidas através do processo de extrusão utilizando matrizes planas com abertura em formato retangular. Já no caso do reaproveitamento das rebarbas e refugos de processo, podem ser utilizadas extrusoras com matriz com abertura circular ao final, visando obter filamentos que serão picotados para obtenção de grânulos (*pellets*).
- c) Unidade de resfriamento (*cooling*): o material após ser forçado pela matriz ainda está amolecido em uma temperatura elevada, então ele passa pela unidade de resfriamento a fim de sofrer uma troca térmica, solidificar e no final ter sua temperatura próxima a ambiente.
- d) Unidade de calibração e recolhimento (*puller/removal*): é onde o material extrudado será aferido, cortado longitudinalmente nas dimensões desejadas e armazenado.

É possível ver cada parte descrita acima na Figura 5.

Figura 5 – Máquina extrusora e suas divisões.



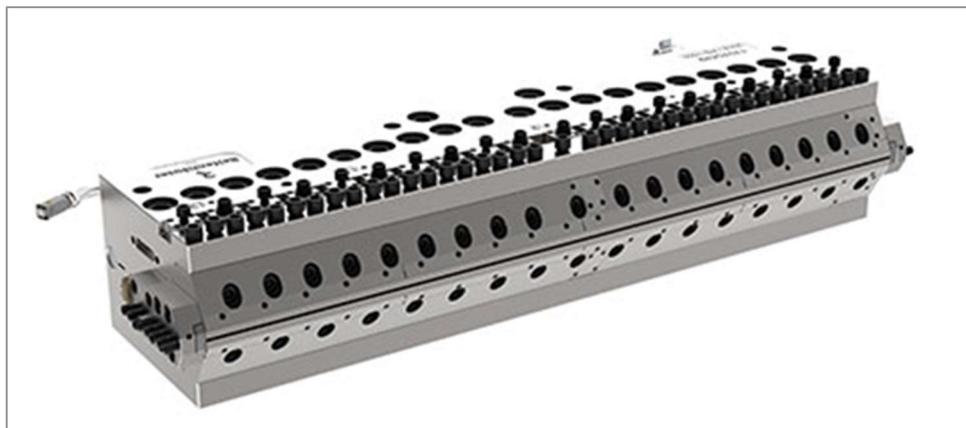
Fonte: LGMT Equipamentos Industriais.

3.4.1. EXTRUSÃO DE CHAPAS

Conforme comentado, a extrusão de chapas antecede o processo da termoformagem. Para que seja possível utilizar o material em tal processo de transformação é necessário que o material passe por uma matriz plana (*flat die*), o que dará um formato de chapa, podendo o material final ser armazenado de forma contínua ou não.

O formato da matriz é o que torna esse tipo de extrusão particular. É possível ver abaixo, na Figura 6, o perfil de uma matriz para produção de chapas.

Figura 6 – Matriz plana (*flat die*) para extrusão de chapas ou filmes planos.



Fonte: Reifenhauser, (2022).

No caso do setor de extrusão da empresa onde o presente estudo foi desenvolvido, a sua maior produção se dá por esse tipo de processamento, o processamento de chapas planas através da extrusão.

Segundo a ABIPLAST (2021), no Brasil, em 2020, este tipo de processamento correspondeu a aproximadamente 19% de todos os processos produtivos para a fabricação de transformados plásticos.

3.4.2. EXTRUSÃO DE GRÃOS

A extrusão de grãos é bastante utilizada quando se há interesse em reaproveitar o material já processado anteriormente. Nesse caso, a extrusão funciona da mesma forma já descrita mudando somente o formato da matriz, que aqui possui um cabeçote perfurado (*die plate*), conforma apresentado na Figura 7. O sistema de refrigeração, neste caso normalmente é uma banheira e o sistema de corte pode estar localizado antes ou depois da refrigeração do material.

Figura 7 – Tipo de matriz perfurada para fabricação de *pellets*.



Fonte: Maag Group, (2022).

Na empresa onde foi desenvolvido o presente estudo esse processo de extrusão é utilizado para a reciclagem das rebarbas do processo de termoformagem, visando homogeneizá-las e transformá-las em grânulos (*pellets*), que serão reutilizados como matéria-prima novamente nos processos de extrusão de chapas e de injeção.

Na empresa em questão para a conformação das embalagens de produtos químicos (baldes) é utilizado o processo de moldagem por injeção, apresentado na sequência.

3.5. INJEÇÃO

A injeção é o segundo tipo de processamento de plásticos mais usado no Brasil, correspondendo a aproximadamente 44% do processamento total (ABIPLAST, 2021). Isso se dá pela alta versatilidade desse processo, alta produtividade e capacidade de produção de peças complexas.

O processamento de plástico através da injeção é feito por uma máquina denominada injetora que contém um molde responsável por definir a geometria do produto acabado, conforme é possível ver na Figura 8.

A linha de injeção é composta de 2 (duas) grandes partes, sendo elas:

- a) Unidade de Injeção: é nessa parte da máquina que o material é alimentado na rosca e homogeneizado para que em seguida seja injetado no molde e siga o ciclo de injeção. Durante a parte da injeção do material no molde a rosca funciona como um pistão, responsável por empurrar o material fundido na cavidade formando a peça desejada.
- b) Unidade de Fechamento: é nesta unidade onde fica localizado o molde, tanto sua parte fixa quanto a parte móvel. Quando a rosca empurra o material para ser injetado no molde, ele está fechado, no final do ciclo de injeção a rosca retorna ao ponto inicial, a parte móvel do molde abre e a(s) peça(s) é(são) extraída(s).

Figura 8 – Máquina injetora com descrição das suas principais partes



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ARBURG (2022)

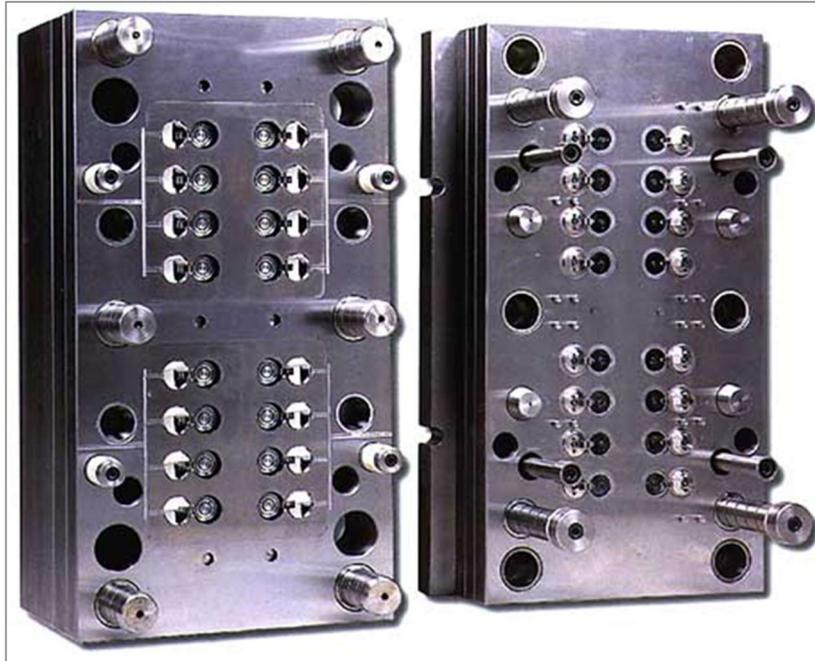
3.5.1. MOLDE

O molde é a parte principal do processo de injeção, afinal é ele que define o perfil da peça desejada. Geralmente em uma mesma máquina injetora podem ser utilizados vários moldes gerando uma variedade de perfis extraídos. A definição e escolha do molde interfere diretamente na qualidade e características da peça confeccionada por injeção.

O molde é composto de duas partes, macho-fêmea, sendo uma delas a parte fixa e a parte móvel, conforme Figura 9. Como os próprios nomes sugerem a parte

fixa fica imóvel durante todo o processo de injeção enquanto a parte móvel é responsável pelo fechamento e abertura do molde, permitindo assim a injeção e extração da peça, respectivamente.

Figura 9 – Exemplo de molde utilizado em um processo de injeção.



Fonte: Formold, (2022).

3.5.2. CICLO DE INJEÇÃO

Diferentemente do processo de extrusão, a moldagem por injeção é um processo intermitente, onde cada ciclo de injeção gera uma quantidade de peças anteriormente definida pela geometria do molde. Esse ciclo é repetido continuamente.

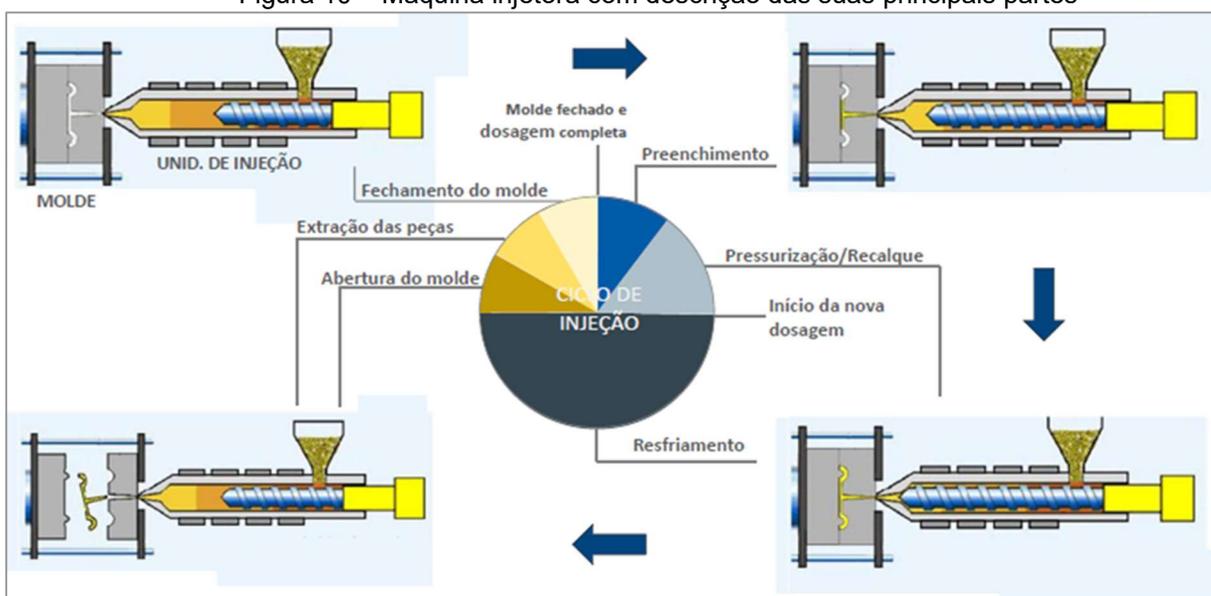
Um ciclo de injeção consiste no tempo total para a formação da(s) peça(s) definidas pela geometria do molde, ou seja, é a soma do tempo de cada evento durante a injeção do produto.

Segue abaixo as etapas que compõem um ciclo de injeção, conforme Figura 10:

- a) Preenchimento do molde – avanço da rosca, funcionando com um pistão, para injeção do material no molde;
- b) Pressurização/recalque – para compensação da contração da peça e resfriamento sob pressão, melhorando a coesão molecular e as propriedades mecânicas;

- c) Resfriamento da peça dentro da cavidade do molde – essa etapa geralmente coincide com o início da dosagem da próxima peça;
- d) Abertura do molde – parte móvel do molde é aberta;
- e) Extração da(s) peça(s) – através do avanço dos pinos extratores;
- f) Fechamento do molde – parte móvel é reposicionada, fechando o molde, para início de um novo ciclo, a injeção de uma nova peça.

Figura 10 – Máquina injetora com descrição das suas principais partes



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de DUARTE (2017).

3.6. UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS REPROCESSADOS

A utilização das chapas, produzidas pelo processo de extrusão, numa linha de termoformagem sempre traz consigo alguns alertas extremamente importantes. Como SERTA e ROCHA (2012) afirmaram, o máximo aproveitamento da chapa é essencial e para isso o estudo de moldes de termoformagem com mais de uma cavidade, para preencher o máximo de área possível em um ciclo de termoformagem, é extremamente importante.

Apesar das empresas sempre procurarem os moldes de termoformagem com melhor aproveitamento das chapas o refugo gerado no processo de termoformagem ainda é muito alto, afinal cerca de 50% de todo o produto que entra nesse processo vira automaticamente refugo de processo, praticamente inerente a esse processo de transformação plástica.

Este material gerado pode ser reutilizado facilmente quando não há “impurezas” no material e é extremamente necessário que isso seja feito, principalmente quando exige das empresas cada vez mais uma menor geração de plásticos e uma utilização maior de materiais reprocessados, reutilizados ou reciclados. SOUZA (2014) lembra a importância da reutilização de materiais antes utilizados em outros processos.

Tanto no processo de extrusão quanto no de injeção é possível fazer a reutilização do material de sucata gerado nos seus processamentos. Porém, pelo fato de a extrusão utilizar o material refugado pela termoformagem, muitas vezes o reprocessamento não dá conta da quantidade de material que é gerada o que muitas vezes gera um grande estoque de material fazendo com que algumas vezes seja necessária a venda desse material para empresas de reciclagem/reutilização. Essa venda de material traz um grande prejuízo financeiro a empresa pois aquele material possui valor de matéria prima transformada e normalmente é vendido por menos da metade do preço das resinas virgens que são compradas.

A empresa em questão já fazia a reutilização do seu material de reprocesso, porém com a alta de produção e procura do mercado por produtos termoformados era extremamente necessário encontrar uma alternativa para a reutilização desse material para que não fosse necessário vender este material refugado com preço baixo e nem gerar grandes estoques. Por conta dessa necessidade este trabalho foi desenvolvido.

4. METODOLOGIA

Este trabalho se trata de uma pesquisa aplicada e descritiva, desenvolvida em uma empresa fabricante de embalagens plásticas para os ramos alimentício e de produtos químicos, localizada na região Nordeste do Brasil. Foram utilizados métodos qualitativos e quantitativos aplicados a um problema real específico.

4.1. MATERIAIS

Por questões de sigilo industrial o nome dos *grades* e dos fornecedores serão ocultados neste trabalho, porém isso não trará nenhum prejuízo intelectual no desenvolvimento do projeto, bem como nenhum problema na análise dos resultados, visto que os nomes serão substituídos por nomenclaturas alternativas.

Como já dito anteriormente, três *grades* foram utilizados nesse trabalho a fim de encontrar uma *blenda* que possuísse características necessárias para a injeção de baldes para a indústria de químicos e solventes. A *Blenda A* foi definida em conjunto com a empresa fornecedora do agente modificador de impacto. A partir desses materiais foram preparadas as seguintes composições a serem estudadas.

Quadro 1 – Formulações utilizadas neste trabalho.

MATERIAL	Grade A	Grade B	Blenda A
PP Homopolímero Reutilizado (PPHR)	100,0%	-	49,5%
PP Copolímero Reutilizado (PPCR)	-	100,0%	49,5%
Agente Modificador de Impacto (AMI)	-	-	1,0%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- a. PP Homopolímero Reutilizado (PPHR) ou *Grade A*: polipropileno homopolímero processado por extrusão em formato de chapas posteriormente processado por termoformagem para confecção de embalagens plásticas alimentícias. Após o processamento por termoformagem o material foi moído e reprocessado por extrusão novamente, porém agora em formato de grãos (Figura 11).

Figura 11 – *Grade A* em formato de grãos.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

- b. PP Copolímero Reutilizado (PPCR) ou *Grade B*: polipropileno copolímero processado por injeção para produção de baldes de tintas, químicos e solventes. Após o processamento por injeção o material foi moído e reprocessado por extrusão em formato de grãos (Figura 12).

Figura 12 – *Grade B* em formato de grãos.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

- c. *Blenda A*: junção dos grades A e B para a formação de uma blenda com características térmicas e mecânicas intermediárias. Devido à reduzida fluidez dessa blenda e para garantir resistência ao impacto adequadas ao produto acabado, foi adicionado um Agente Modificador de Impacto à

blenda. Essa mistura foi processada por extrusão em formato de grãos (Figura 13).

Figura 13 – *Blenda A* em formato de grãos.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

4.2. PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS

As três formulações utilizadas foram processadas na extrusão, como já citado anteriormente, aqui serão descritos os parâmetros com que elas foram processadas. Todas as formulações foram processadas sobre os mesmos parâmetros para que se pudesse ter um efeito comparativo no momento dos resultados e análises.

4.2.1. EXTRUSÃO

No processo de granulação para reaproveitamento dos materiais (*Grade A* e *Grade B*) e preparação da blenda com aditivo (*Blenda A*) foram utilizados os seguintes parâmetros de máquina informados nos Quadros 2 e 3 a seguir.

Quadro 2 – Temperaturas das zonas de extrusão, da matriz e da massa polimérica.

ZONA	TEMPERATURA (°C)
Zona 1	210
Zona 2	210
Zona 3	200
Zona 4	200
Zona 5	200
Zona 6	240
Matriz	250
Massa	225

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Quadro 3 – Velocidade de rotação da rosca e velocidade do corte do material.

LOCAL	ROTAÇÃO (RPM)
Extrusora	2300
Corte	3485

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

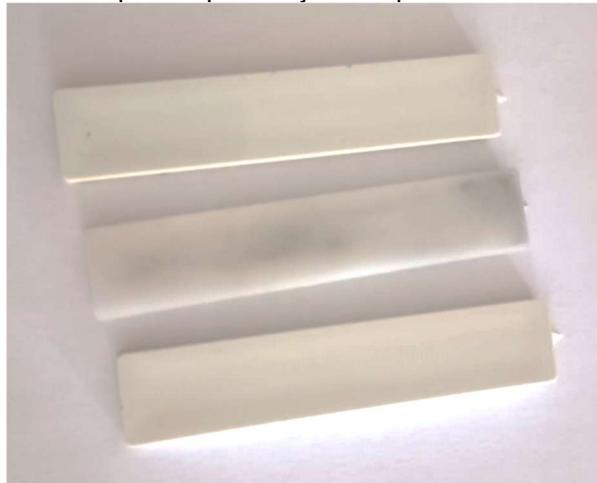
Os grãos, vistos nas fotos do subtópico 4.1, foram utilizados para todos os processamentos e ensaios realizados, que serão descritos a seguir.

4.2.2. INJEÇÃO (CORPOS DE PROVA)

A injeção dos corpos de prova para a realização dos testes de impacto seguiu as orientações da norma ASTM D4101. Sob as seguintes condições, ver Figura 14:

- a) Temperatura do canhão: 230 °C
- b) Temperatura do molde: 60 °C
- c) Pressão de injeção: 800 bar
- d) Tempo de injeção: 10 segundos
- e) Pressão de recalque: 800 bar
- f) Tempo de recalque: 10 segundos

Figura 14 – Corpos de prova injetados para ensaio de impacto.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Os materiais foram injetados em uma *HAAKE Minijet II* (Figura 15) fabricada pela *Thermo Fisher Scientific*, disposta no Laboratório de polímeros e nanomateriais (LabPNano), localizado no Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM), na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Figura 15 – *HAAKE Minijet II*.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Veja um vídeo de um ciclo de injeção disponível online escaneando o QR Code abaixo ou clicando no mesmo. Ver QR Code 1, 2 e 3.

QR Code 1 – Vídeo da primeira fase de alimentação de material para injeção de corpo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

QR Code 2 – Vídeo da segunda fase de alimentação de material para injeção de corpo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

QR Code 3 – Vídeo da Injeção do corpo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.3. CARACTERIZAÇÕES

As caracterizações apresentadas nesse tópico foram decididas com a finalidade de se encontrar as propriedades térmicas (para encontrar as principais temperaturas de processamento dos polímeros), reológicas (para medição do índice de fluidez para analisar processabilidade dos materiais) e mecânicas (a fim de definir valores limites de resistência ao impacto dos materiais).

4.2.3.1. DSC (Differential Scanning Calorimetry)

A caracterização térmica dos materiais por DSC foi feita em equipamento STARe System da Mettler Toledo, localizado no Laboratório de Petroquímica (LPQ) do Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia (LITPEG), na UFPE. As condições utilizadas foram as seguintes, ver Figura 16. Os dados foram baseados nas informações dadas por CANEVAROLO (2020).

a) Aquecimentos:

- Temperatura inicial: -30 °C
- Temperatura final: 200 °C
- Taxa de aquecimento: 10 °C/min

b) Resfriamento:

- Temperatura inicial: 200 °C

- Temperatura final: -30 °C
- Taxa de resfriamento: 10 °C/min

Ensaio realizado em atmosfera de Nitrogênio com fluxo de 50mL.min⁻¹.

Figura 16 – STARe System da Mettler Toledo.



Fonte: Mettler Toledo, 2022.

As cristalinidades das amostras foram calculadas segundo a seguinte equação:

$$\%C = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{mPP100\%}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

- %C é o teor cristalino do material;
- ΔH_m é a entalpia de fusão do material em J/g;
- $\Delta H_{mPP100\%}$ é a entalpia de fusão para um polipropileno 100% cristalino.

Neste trabalho o valor utilizado para $\Delta H_{mPP100\%}$ foi de 138 J/g baseado em BODER (1991).

4.2.3.2. Índice de fluidez – MFR (Melt Flow Rate)

Para encontrar o índice de fluidez dos materiais estudados foram realizados os testes seguindo as recomendações da norma ASTM D1238, Procedimento A.

Os parâmetros utilizados foram os seguintes, indicados pela norma para PP:

- a) Temperatura do canhão: 230 °C
- b) Massa aplicada (pistão + massa adicional): 2,16 kg
- c) Tempo de aquecimento do material: 15 minutos

Os ensaios para encontrar o MFR foram realizados na máquina PT-HY4310A Lab Kits da U-Therm International (H.K.) Limited, localizada no laboratório de metrologia da Escola Técnica SENAI de Ipojuca (Figura 17).

Figura 17 – PT-HY4310A Lab Kits da U-Therm International (H.K.) Limited.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Para estes testes foram utilizados 5 amostras de cada material para definição do valor final.

4.2.3.3. Resistência ao Impacto

O ensaio foi realizado de acordo com as orientações da norma ASTM D256 que descreve como deve ser realizado o ensaio de resistência ao impacto de polímero, neste caso de PP. Como já citado anteriormente os corpos de prova foram moldados de acordo com a norma ASTM D4101 e entalhados conforme ASTM D256.

Os parâmetros utilizados durante o teste foram os seguintes:

- a) Dimensão do corpo de prova (AxLxE): 63,5x12,5x3,2 mm
- b) Raio do entalhe: 0,25 mm
- c) Distância do ponto de impacto ao centro do entalhe: 22 mm
- d) Capacidade de energia dissipada pelo pêndulo: 2,70 J

Os entalhes foram feitos na máquina Notch Specimen Making Machine, NSM 251A e os ensaios dos corpos de prova foram realizados na máquina Pendulum Impact Testing Machine, PIT 550J-3, ambas as máquinas foram fabricadas pela Shenzhen Wance Testing Machine Co. Ltd. Ambas estão localizadas no laboratório de metrologia da Escola Técnica SENAI de Ipojuca (Figuras 18, 19, QR Code 4 e 5).

Figura 18 – Máquina entalhadora.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Para este ensaio foram utilizados dez corpos de prova para cada tipo de material.

Figura 19 – PIT 550J-3 da Shenzhen Wance Testing Machine Co. Ltd.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

QR Code 4 –Vídeo do processo de entalhe de um corpo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

QR Code 5 –Vídeo de um ciclo do teste de resistência ao impacto Izod.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

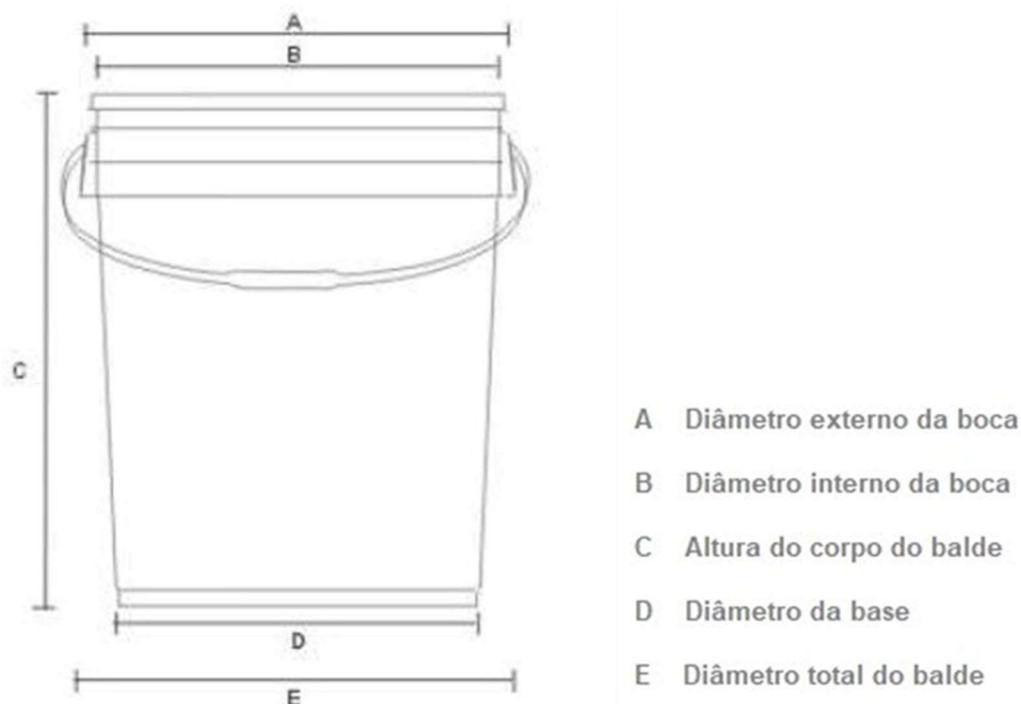
4.2.4. TESTES INTERNOS

Além dos testes laboratoriais também foram realizados os testes padrões determinados pela norma “ABNT NBR 14952:2020: Baldes plásticos injetados para uso industrial” e exigidos pelos clientes da empresa em questão, conforme apresentado a seguir.

4.2.4.1. Análises dimensionais

A análise dimensional é feita de acordo com os parâmetros de projeto do produto previamente definidos e aprovados pelos clientes. Seguem na Figura 22 alguns exemplos das medições dimensionais.

Figura 20 – Exemplos de dimensionais dos baldes.



Fonte: ABNT, 2020.

4.2.4.2. Estanqueidade

Este teste é recomendado pela ABNT NBR 14952:2020 e deve ser realizado com três baldes cheios até o volume nominal e fechados com a tampa correspondente, sendo orientado encher com água ou com o produto que será envazado no balde, a depender da solicitação dos clientes. Os baldes devem permanecer posicionados lateralmente durante 15 minutos. Após o final do tempo determinado o balde não pode apresentar nenhum tipo de vazamento. É possível visualizar um vídeo do teste de estanqueidade do baldo clicando no QR Code 6.

QR Code 6 –Vídeo mostrando os segundos finais do teste de estanqueidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.4.3. Droptest (Teste de queda livre)

Teste recomendado pela ABNT NBR 14952:2020 que deve ser realizado com o balde em três posições distintas. Cada posição tem uma recomendação de altura para o balde ser solto, em queda livre, em uma superfície que não absorva impacto. A altura de queda livre é definida de acordo com a capacidade nominal do balde, podendo ser vista no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Altura de queda livre dos baldes.

Classe	Fundo cm	Tampa cm	Lateral cm
I	120	70	40
II	100	50	30
III	60	40	30
IV	60	40	30
V	50	40	30

Fonte: ABNT, 2020.

A classe do balde utilizado para testes é a Classe IV, de acordo com o Quadro 5 abaixo, fornecida pela ABNT na norma já anteriormente citada.

Quadro 5 – Classificação dos baldes.

Classe	Volume Nominal L
I	1 a 5
II	5,01 a 10
III	10,01 a 16
IV	16,01 a 25
V	25,01 a 60

Fonte: ABNT, 2020.

4.2.4.3.1 Resistência ao impacto de fundo

Devem ser ensaiados três baldes cheios com água até o volume nominal e soltos verticalmente, com a tampa voltada para cima, de uma altura predeterminada, nesse caso pelo balde ser da Classe IV, a altura é de 60 cm, conforme Quadro 5.

Caso somente um dos três baldes sofra alguma fissura, rachadura, vazamento ou algum outro tipo de defeito, outros três baldes devem ser submetidos a novo teste, conforme vídeo apresentado no QR Code 7.

QR Code 7 –Vídeo do teste de resistência ao impacto de fundo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.4.3.2 Resistência ao impacto de tampa

Semelhante ao caso anterior, três baldes devem ser ensaiados, cheios com água até o volume nominal e soltos verticalmente, com a tampa voltada para baixo, de uma altura predeterminada, nesse caso a altura é de 40 cm, conforme Quadro 5.

Assim como no teste de resistência ao impacto de fundo, caso somente um dos três baldes sofra alguma fissura, rachadura, vazamento ou algum outro tipo de defeito, outros três baldes devem ser submetidos a novo teste. Um vídeo mostrando o ensaio por ser visto clicando no QR Code 8.

QR Code 8 –Vídeo do teste de resistência ao impacto de tampa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.4.3.3 Resistência ao impacto lateral

Semelhante aos casos anteriores, três baldes devem ser ensaiados, cheios com água até o volume nominal e soltos horizontalmente de uma altura predeterminada, nesse caso a altura é de 30 cm, conforme Quadro 5.

Assim como nos testes anteriores, caso somente um dos três baldes sofra alguma fissura, rachadura, vazamento ou algum outro tipo de defeito, outros três baldes devem ser submetidos a novo teste. Um vídeo mostrando o ensaio por ser visto clicando no QR Code 9.

QR Code 9 –Vídeo do teste de resistência ao impacto de lateral.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.4.4. Empilhamento Estático

De acordo com a norma ABNT NBR 14952:2020 para a realização desse teste é necessário três baldes, conforme Quadro 6 abaixo.

Os baldes devem ser cheios até o volume nominal e empilhados. A pilha deve ser sem apoios e permanecer montada durante 25 dias, à temperatura de 23 ± 2 °C.

Quadro 6 – Quantidades de baldes para teste de empilhamento.

Classe	Volume Nominal L	Unidade de baldes
I	1 a 5	6
II	5,01 a 10	5
III	10,01 a 16	4
IV	16,01 a 25	3
V	25,01 a 60	2

Fonte: ABNT, 2020.

4.2.4.5. Fechamento

A finalidade desse ensaio é simular o fechamento do balde com a tampa na hora do envase do produto. Esse teste é solicitado de acordo com a necessidade do cliente. A empresa em questão fornece testes para três tipos de fechamento, sendo eles:

- a) Fechamento por rolete: o balde é transportado por uma esteira que possui um rolete em sua estrutura. A tampa já previamente posicionada sobre a boca do balde é prensada pelo rolete contra a boca do balde fazendo assim o fechamento completo.
- b) Fechamento por pistão: semelhante ao caso anterior, porém no lugar de um rolete na estrutura da esteira existe um pistão, com o diâmetro da cabeça maior que o diâmetro do balde, que pressiona a tampa contra o balde a fim de fechá-lo completamente.
- c) Fechamento por martelo: esse fechamento é realizado de forma manual, onde uma pessoa posiciona a tampa sobre a boca do balde e desfere marteladas, com um martelo de borracha, até que o balde esteja fechado completamente.

4.2.5. ECONOMIA FINANCEIRA

Para encontrar o valor da economia que esse projeto daria a empresa foi levado em conta o preço da matéria prima virgem do *Grade B* para comparar com o valor agregado da *Blenda A*, valor este que representa aproximadamente 50% do custo da resina virgem. Porém para que o projeto fosse possível também foi necessária a aquisição do agente modificador de impacto que possui um alto custo, porém foi utilizado em um baixo teor, de apenas 1%.

Para os valores da economia financeira mostrado no trabalho no tópico de análises de resultados foi levado em consideração um fator multiplicativo a fim de preservar o sigilo dos dados da empresa em estudo.

A economia foi calculada baseada nas seguintes formulações, ver Quadro 7:

Quadro 7 – Formulações para cálculo da economia financeira.

GRADE	FORM. A	FORM. B (Blenda A)
PP Copolímero Virgem (PPCV)	100,0%	-
PP Copolímero Reutilizado (PPCR)	-	49,5%
PP Homopolímero Reutilizado (PPHR)	-	49,5%
Agente Modificador de Impacto (AMI)	-	1,0%
Total	100,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS

O Quadro 8 apresenta a avaliação da processabilidade dos materiais, realizada durante a execução deste trabalho, que será discutida a seguir.

Quadro 8 – Dados sobre o processamento dos materiais.

FORMULAÇÃO	PROCESSAMENTO NA EXTRUSÃO	PROCESSAMENTO NA INJEÇÃO DE BALDES
<i>Grade A</i>	Aprovado	Reprovado
<i>Grade B</i>	Aprovado	Aprovado
<i>Blenda A</i>	Aprovado	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Apesar do *Grade A* já ter sido reprovado, o que impossibilitou os testes internos no produto acabado, ele foi submetido a todas as caracterizações.

5.1.1 EXTRUSÃO

Conforme visto no Quadro 8 todas as três formulações foram bem processadas na extrusão de grãos não apresentando nenhum impedimento técnico.

5.1.2 INJEÇÃO DE BALDES

Como apresentado no Quadro 8 a tentativa de injeção dos três baldes foi realizada, porém o *Grade A* foi o único que não teve um bom processamento, não sendo possível injetar o balde por completo.

Esse defeito normalmente acontece pelos seguintes motivos:

- a. Restrição do fluxo por conta de canais congelados;
- b. Canais de alimentação mal dimensionados;
- c. Caminhos de fluxo muito longos;
- d. Baixa temperatura do fundido ou do molde;
- e. Falta de material na injeção;
- f. MFR do material muito baixa.

É possível descartar as opções *a* e *b* porque o molde em questão, o molde para a injeção de baldes com uma cavidade, possui somente um canal de alimentação reto diretamente no fundo do balde, o que não permitiria que esses defeitos acontecessem. Também é possível eliminar as opções de *a* até e pelo fato do *Grade B* e da *Blenda A* conseguirem ser injetados sob as mesmas condições do *Grade A* e não apresentarem nenhum defeito de injeção.

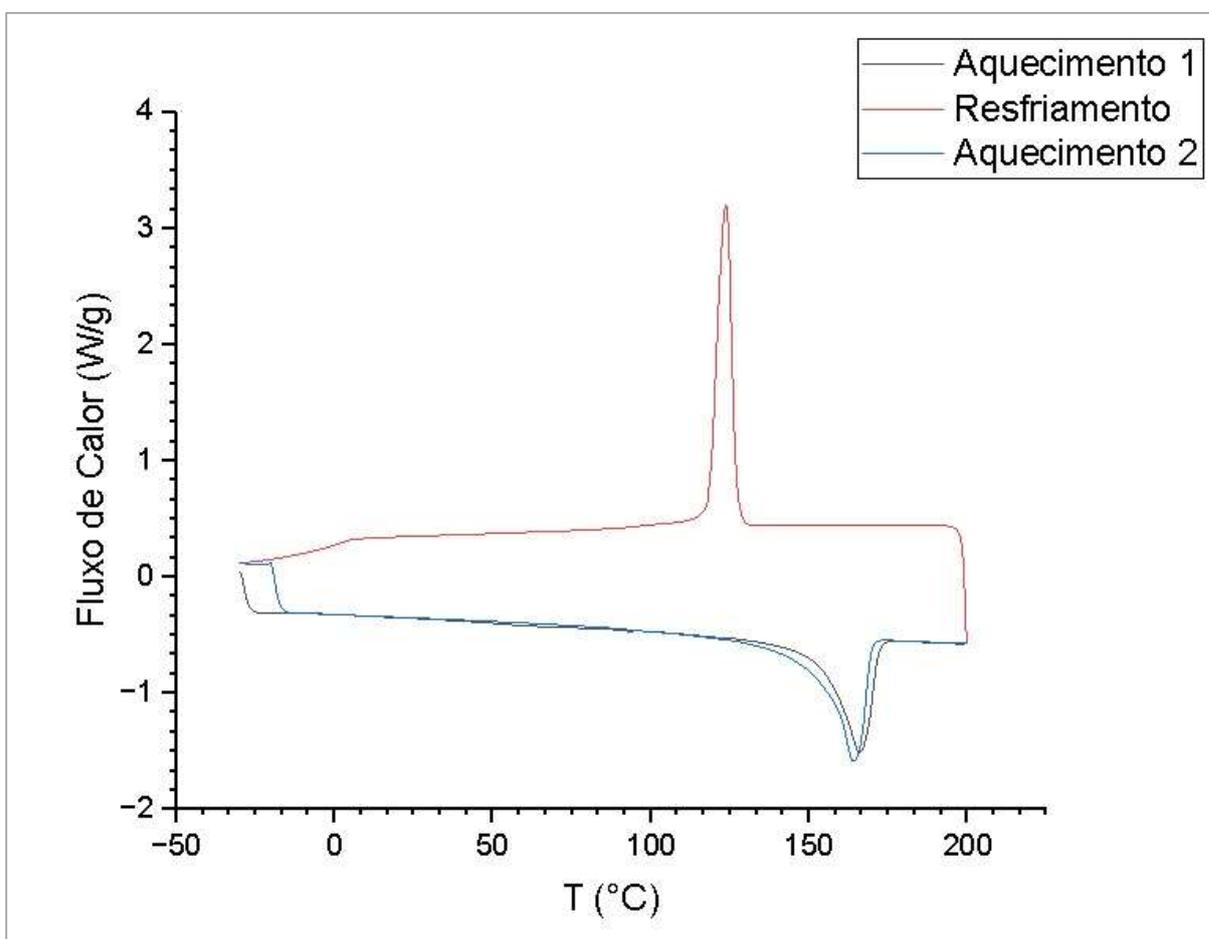
Com isso a única alternativa que nos resta é o índice de fluidez do *Grade A* ser muito baixa para injeção, como de fato iremos confirmar no próximo subtópico de caracterizações dos materiais.

5.2 CARACTERIZAÇÕES

5.2.1 DSC (DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY)

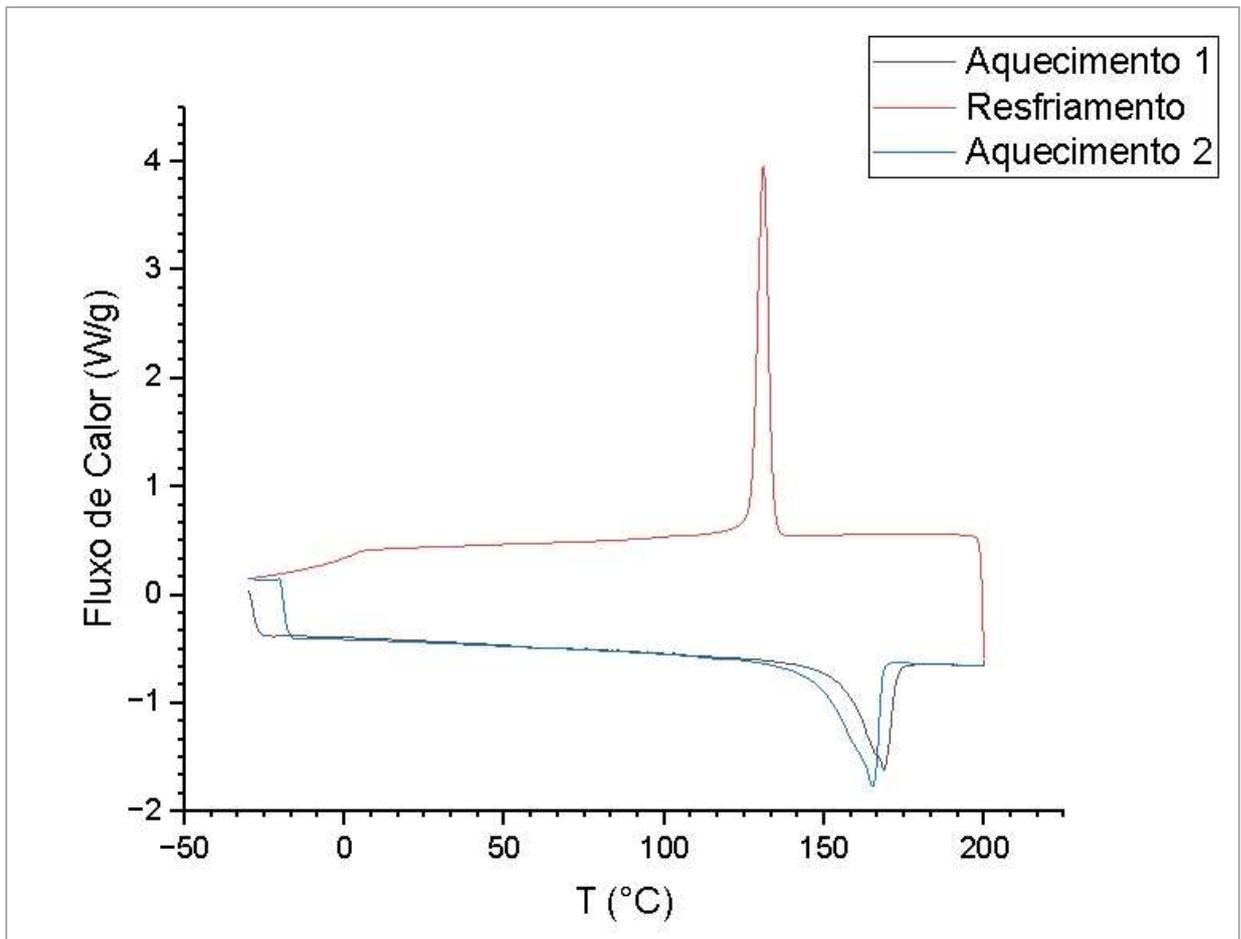
Abaixo é possível ver os Gráficos 3, 4 e 5 resultados do *DSC*, que serão melhores detalhados nos próximos subtópicos.

Gráfico 3 – *DSC Grade A*



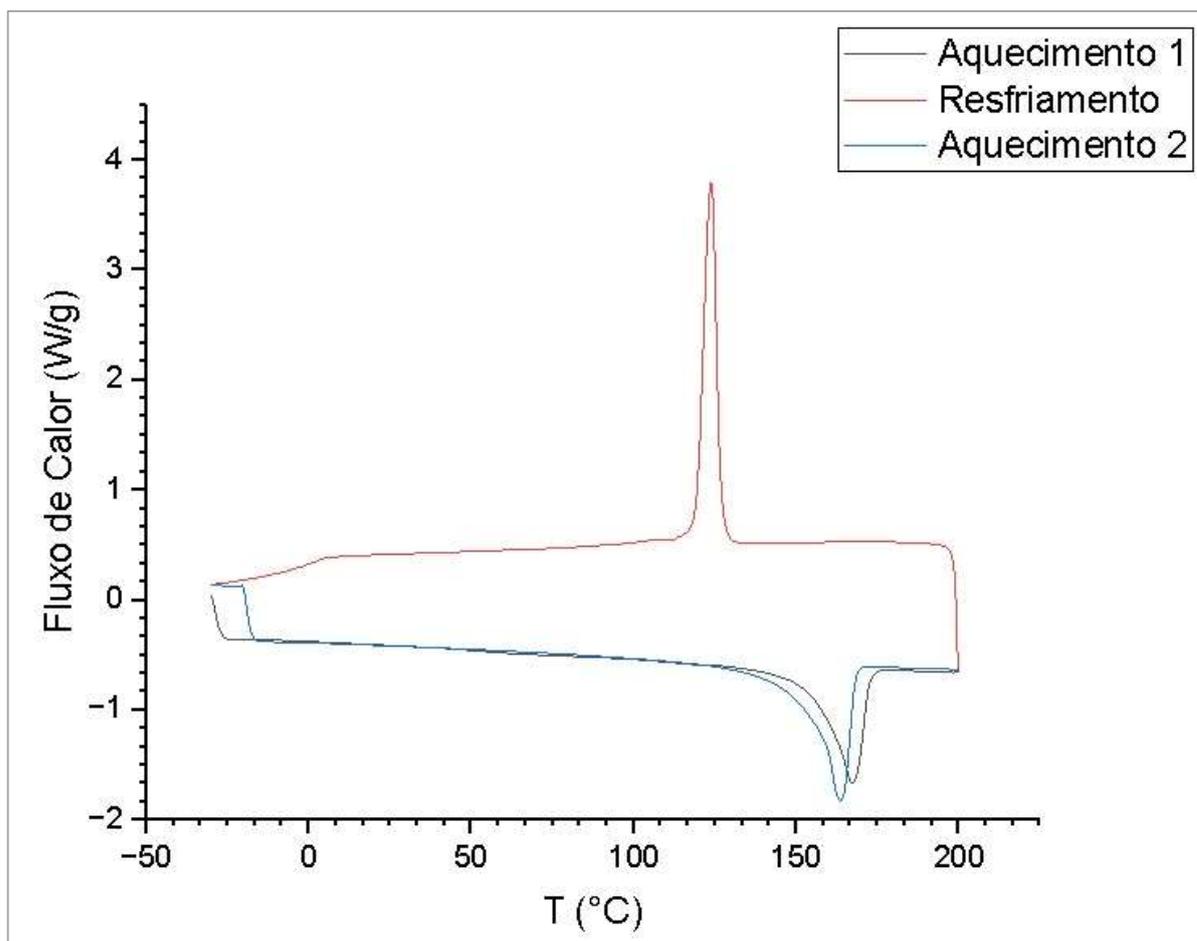
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 4 – DSC Grade B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 5 – DSC Blenda A



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

É possível verificar que os três gráficos mostram curvas muito parecidas, porém ainda assim é visível uma diferença no pico de cristalização, na curva de resfriamento, onde se vê que no caso do Grade A, que não possui etileno na composição, apresenta uma liberação de energia menor que a do Grade B e Blenda A que apresentam o monômero comentado na formulação fazendo com que seja necessária uma maior liberação de calor para cristalizar esses materiais.

5.2.1.1 Temperatura de transição vítrea (Tg)

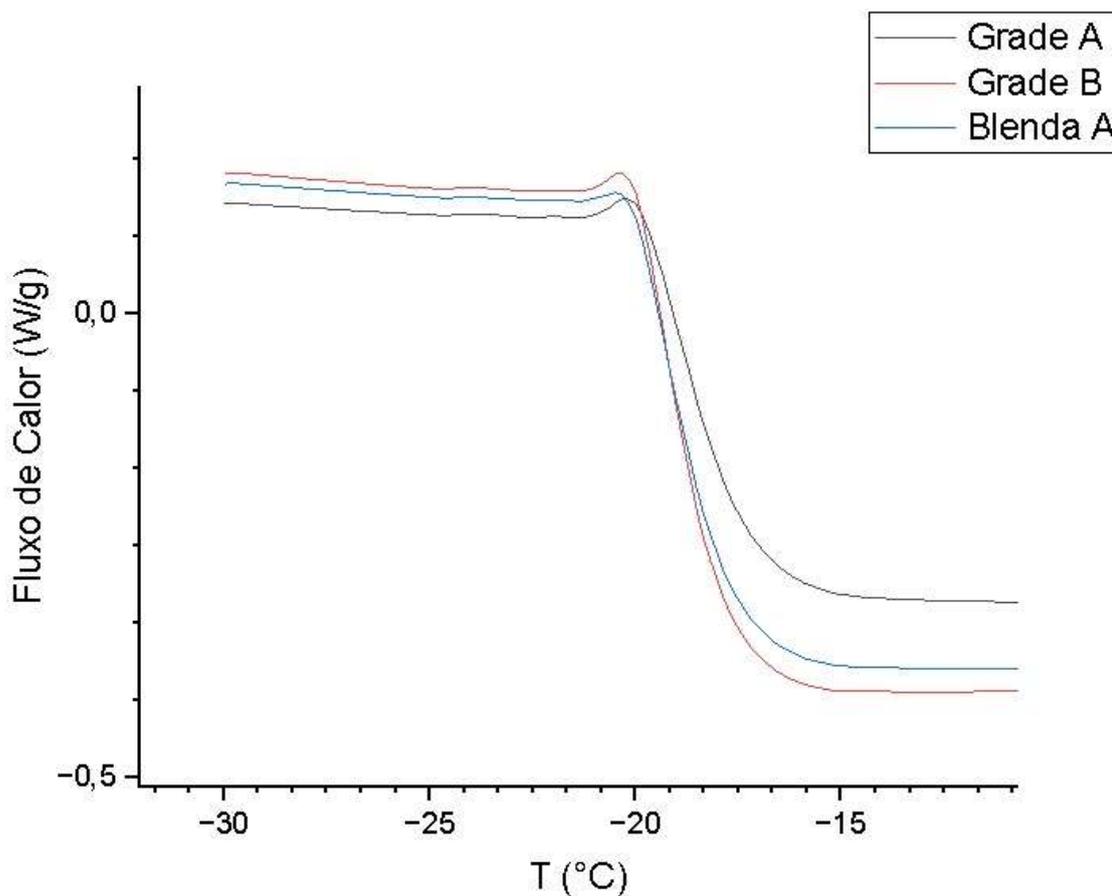
Como é possível ver no Gráfico 6 abaixo e confirmado pelos dados do Quadro 9, não foi notada diferença significativa entre as temperatura de transição vítreas dos três grades analisados, que foram em torno de -18 °C.

Quadro 9 – Temperatura de transição vítrea (Tg).

Propriedade	Grade A	Grade B	Blenda A
Tg (°C)	-18,5	-18,9	-18,9

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 6 – Zoom no DSC para análise da Tg.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5.2.1.2 Temperaturas de fusão cristalina (Tm)

Diferentemente da Tg, a temperatura de fusão cristalina tende a ter uma variação considerável quando se é adicionado PP Copolímero, principalmente

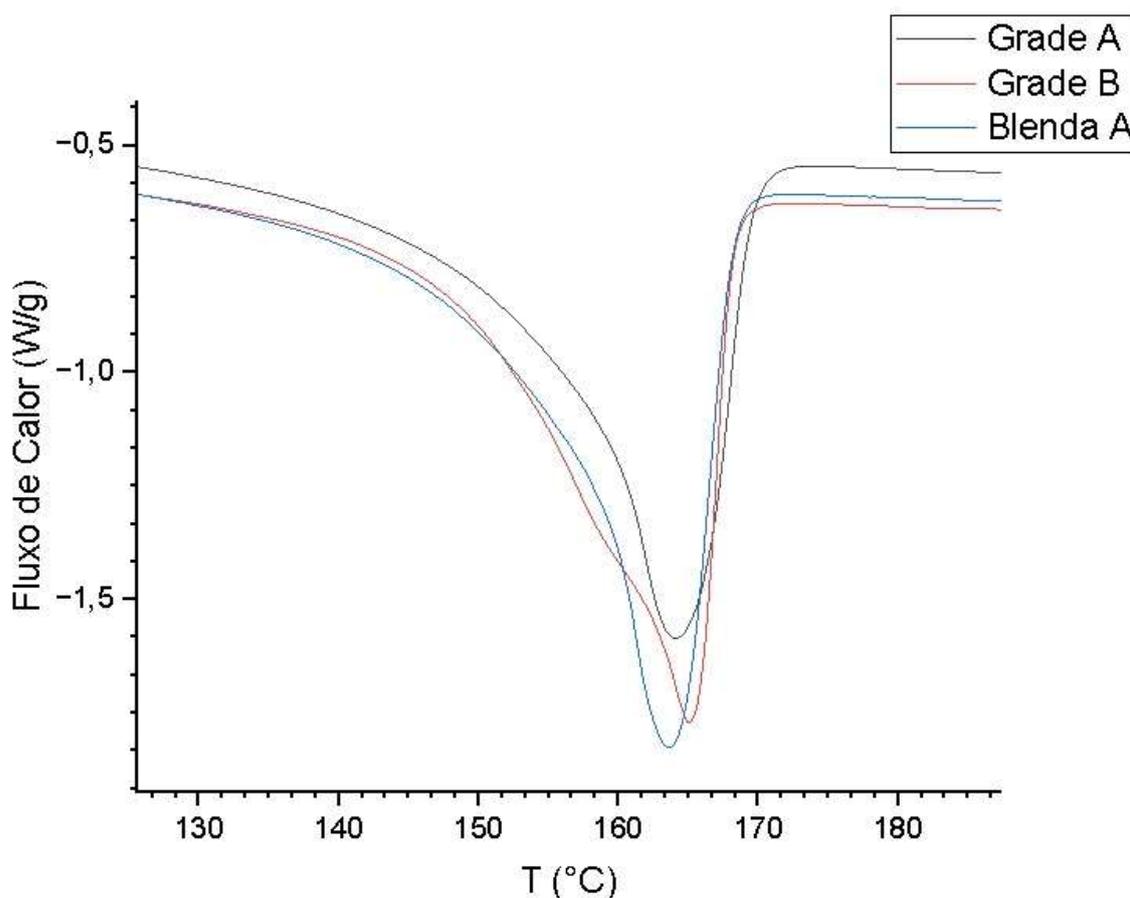
copolímero de EPR, conforme mostra SANTOS, SANTANA e SIMANKE (2017). Elas também afirmam que a depender da quantidade de copolímero adicionado na *blenda* tal material pode vir a ter até mais de um ponto de fusão cristalina. Isso de fato acontece com o *Grade B* (PP Copolímero) em estudo, é possível ver os dois picos de fusão, sendo um correspondente à fase etileno blocada (o de T mais baixa) e o outro à fase propileno. Isso pode ser visto no Quadro 10 e Gráfico 7 abaixo.

Quadro 10 – Temperatura de fusão cristalina (T_m).

Propriedade	<i>Grade A</i>	<i>Grade B</i>	Blenda A
T _m (°C)	164,0	165,1	163,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 7 – Ampliação do DSC para análise da T_m.



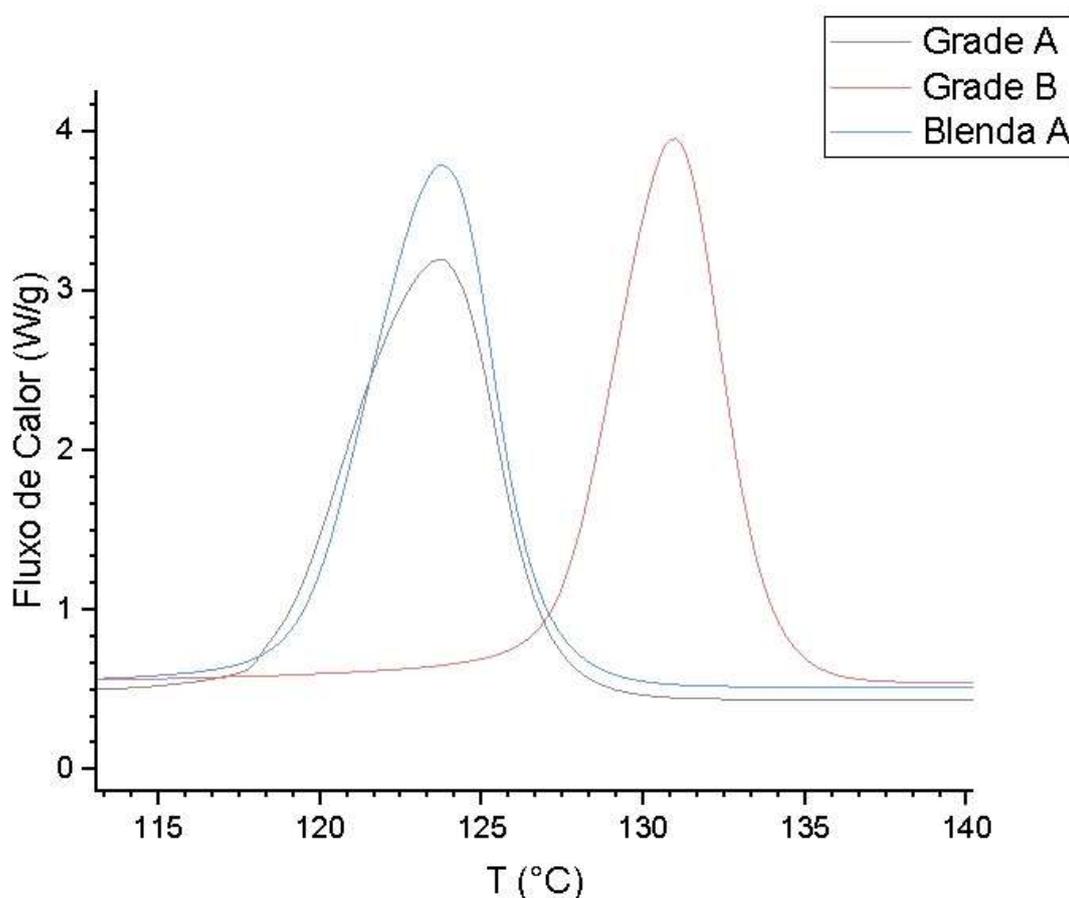
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Apesar disso é completamente plausível que a *Blenda A* volte a ter somente um ponto de fusão, tendo em vista que a concentração de copolímero diminuiu em termos de massa na *blenda* estudo. No *Grade B* temos um material com 100% de copolímero, valor esse que diminuiu para 49,5% na *Blenda A*.

Outro fato também importante de ser observado é o estreitamento do vale da *Blenda A* em comparação com o vale do *Grade B*. Esse acontecimento também se dá pelo fato da diminuição percentual de copolímero na formulação do material. Segundo SANTOS, SANTANA e SIMANKE (2017) esse comportamento acontece, pois, quanto maior a porcentagem de copolímero maior tende a ser a geração de cristais mais heterogêneos.

5.2.1.3 Temperatura de cristalização (T_c) e teor de cristalinidade (%C)

Gráfico 8 – Ampliação do DSC para análise da T_c .



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Quadro 11 – Temperatura de cristalização (T_c) e teor de cristalinidade (%C).

Propriedade	Grade A	Grade B	Blenda A
T _c (°C)	123,8	131,0	123,7
%C (%)	67,7	67,2	72,7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

No Gráfico 8, com o auxílio do Quadro 11, é possível observar que as temperaturas de cristalização (T_c) do *Grade A* e da *Blenda A* são praticamente idênticos. Enquanto a T_c do *Grade B* é cerca de 7 °C maior que as outras. Esse comportamento surpreende já que era esperado que a T_c do PP Homopolímero fosse a maior em virtude de não ter em sua composição química a presença de comonômeros de etileno. No entanto, é possível que os *grades* comerciais venham com aditivos desconhecidos, que podem ter a função de agentes nucleantes ou retardantes da cristalização. Outra hipótese é a de que a fase do polietileno (PE), de mais fácil cristalização, está dominando o processo de cristalização no copolímero em bloco, resultando um maior valor de T_c.

Apesar disso é visível a proximidade da T_c do PP Homopolímero e a T_c da blenda. É possível que essa proximidade da temperatura de cristalização da blenda seja ocasionada por conta da inserção do agente modificador de impacto, fazendo com que a geração de cristais seja mais controlada, o que resulta que esta temperatura seja mais próxima a T_c do *Grade A* do que do *Grade B*.

Quanto ao teor de cristalização é possível observar no Quadro 11 a extrema semelhança entre os dois *grades* (PP Homo e PP Copo), ainda é possível ver que a %C da blenda maior que o valor da %C dos *grades*, o que faz surpreende já que o esperado era que dos três materiais o *Grade A* apresentasse o maior teor de cristalização.

5.2.2 ÍNDICE DE FLUIDEZ – MFR (MELT FLOW RATE)

A expectativa quanto ao MFR ou IF foi plenamente atendida. A resina virgem do *Grade A* apresenta o menor IF enquanto a do *Grade B* apresenta um valor aproximadamente cinco vezes maior.

Já quanto ao IF da Blenda A era possível aguardar um valor um pouco maior que o da média dos valores dos *grades A* e B, uma vez que o fornecedor do Agente Modificador de Impacto informou que o material também poderia influenciar, ainda que

pouco, no aumento do IF do material final. Porém é possível notar que essa expectativa não foi atendida já que o valor do IF foi bem próximo da média, 16,6 g/10 min. Ver Quadro 12.

Quadro 12 – Índices de fluidez encontrados.

Propriedade	Método	Grade A	Grade B	Blenda A
IF (g/10 min)	ASTM D1238	8,6 ± 0,3	24,6 ± 2,0	16,6 ± 1,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

5.2.3 RESISTÊNCIA AO IMPACTO

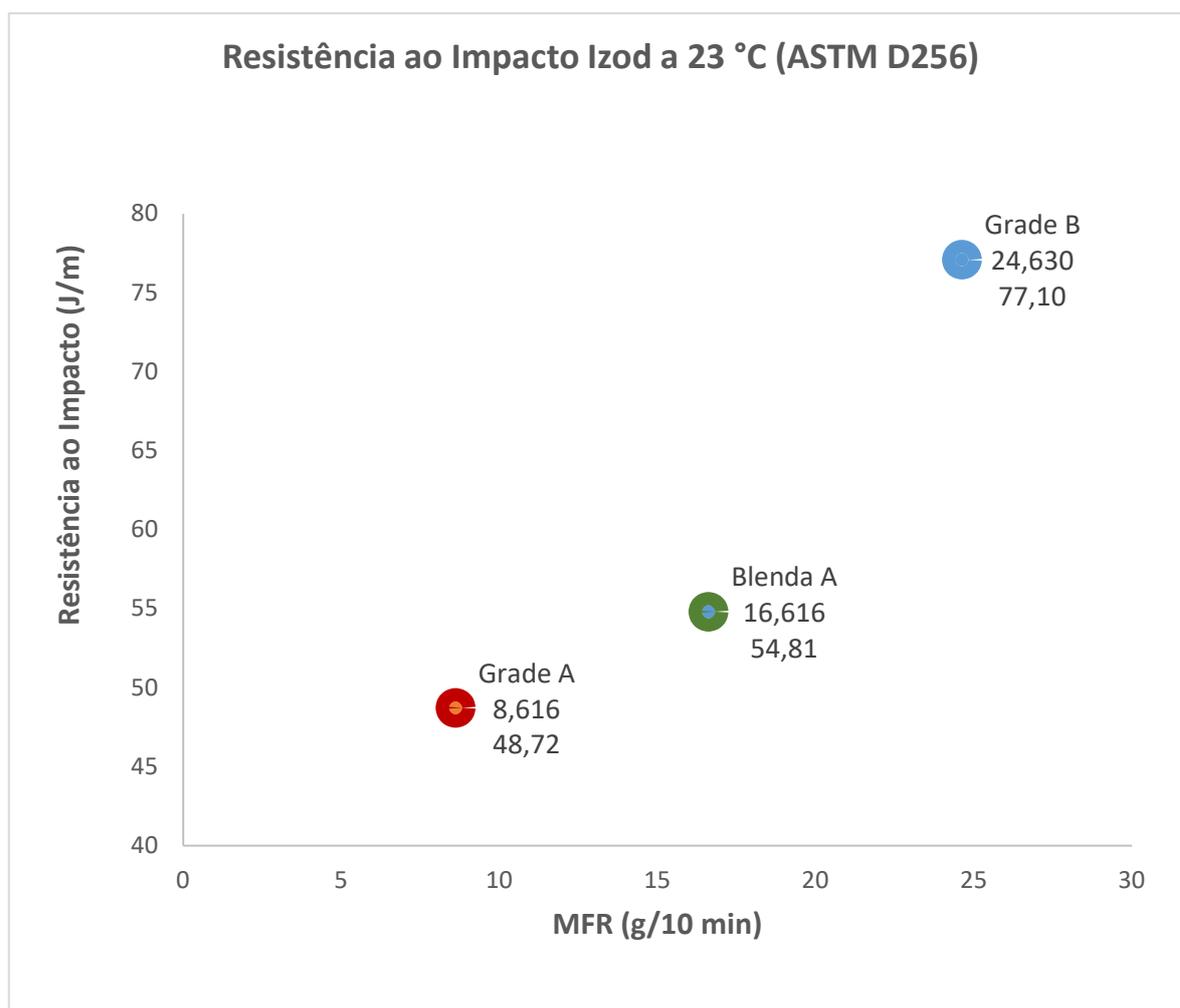
Abaixo segue um gráfico e um quadro com a variação dos dados de IF e RI entre as três formulações, onde é possível ver que o IF e a resistência ao impacto da *Blenda A* tem valores aproximadamente intermediários ao dos dois *grades*. Ver Quadro 13 e Gráfico 9.

Quadro 13 – Resistência ao Impacto Izod a 23 °C.

Propriedade	Método	Grade A	Grade B	Blenda A
RI (J/m)	ASTM D256	48,7 ± 2,0	77,1 ± 3,2	54,8 ± 2,1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Gráfico 9 – Comparativo dos índices de fluidez e de resistência ao impacto das três formulações.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A resistência ao impacto da *Blenda A*, caso não houvesse a inserção do AMI, deveria apresentar o valor mais próximo ao RI do *Grade A*, porém com a inserção do AMI era aguardado um aumento desse valor, expectativa que foi atendida parcialmente, pois como podemos ver o valor da RI da *Blenda A* é maior que o da RI do *Grade A*, porém ainda está muito mais próximo desse valor do que da RI do *Grade B*. Contudo esse leve acréscimo na RI da *Blenda A* foi suficiente para que os baldes injetados com esse material fosse aprovado em todos os testes como será possível ver no subtópico a seguir.

Quadro 14 – Consolidado dos dados sobre o processamento dos materiais.

PROPRIEDADE	GRADE A	GRADE B	BLENDA A
Temperatura de transição vítrea (T _g) [°C]	-18,5	-18,9	-18,9
Temperatura de fusão cristalina 1 (T _{m1}) [°C]	165,6	168,6	167,4
Temperatura de fusão cristalina 2 (T _{m2}) [°C]	164,0	165,1	163,5
Temperatura de cristalização (T _c) [°C]	123,8	131,0	123,7
% de cristalinidade (%C) [%]	67,7	67,2	72,7
Índice de Fluidez (230 °C/2,16kg) (IF) [g/10 min]	8,6	24,6	16,6
Resistência ao Impacto Izod a 23 °C [J/m]	48,7	77,1	54,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

5.3 TESTES INTERNOS

Abaixo é possível ver os resultados dos testes que foram realizados internamente. Como já citado anteriormente, não foi possível realizar os testes internos do *Grade A* pois este material não conseguiu ser processado na injeção de baldes.

Quadro 15 – Dados sobre os testes realizados internamente na empresa.

Formulação	AD	ES	Droptest			EE	Fechamento		
			RIF	RIT	RIL		FR	FP	FM
<i>Grade A</i>	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
<i>Grade B</i>	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP
<i>Blenda A</i>	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Legenda:

AD: Análises Dimensionais;

ES: Estanqueidade;

RIF: Resistência ao impacto do fundo;

RIT: Resistência ao impacto da tampa;

RIL: Resistência ao impacto lateral;

EE: Empilhamento Estático;

FR: Fechamento por Rolete;

FP: Fechamento por Pistão;

FM: Fechamento por Martelo;

AP: Aprovado;

NT: Não Testado.

O *Grade B* esteve dentro do esperado, sendo aprovado em todos os testes, já que este material é utilizado para a injeção de baldes na empresa em questão. Porém o resultado mais aguardado era o da *Blenda A* que também foi aprovado em todos os testes, possibilitando assim o envio dos baldes para os clientes e também sendo aprovados com os mesmos. Com isso os baldes produzidos com este material entra no hall de produtos fornecidos pela empresa do estudo. Ver QR Code 10, 11, 12 e 13.

QR Code 10 – Vídeo do fechamento com rolete



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

QR Code 11 – Vídeo do detalhe do fechamento com rolete.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

QR Code 12 – Vídeo do fechamento com pistão.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

QR Code 13 – Vídeo do fechamento com martelo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

5.4 ECONOMIA FINANCEIRA

A economia financeira encontrado segue no quadro abaixo.

Quadro 16 – Valores da economia financeira.

FORMULAÇÃO	VALOR MENSAL (R\$/mês)	VALOR ANUAL (R\$/ano)
GRADE B	831.639,05	9.979.668,58
BLENDA A	742.508,25	8.910.100,19
ECONOMIA FINANCEIRA	89.130,70	1.069.568,39

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Como é possível ver o valor economizado pela empresa com a mudança da formulação do balde foi de 10,7%. É importante lembrar que os valores foram alterados por um fator multiplicativo que não alterou a porcentagem de ganho.

Porém é possível ver uma economia extremamente significativa com a troca da formulação mesmo tendo o AMI com um valor de aproximadamente dez vezes o valor da resina virgem, porém como já dito, a porcentagem desse material na *blenda* é muito pequena o que possibilitou a empresa inserir em seu *hall* de produtos/formulações mais uma opção de venda para os clientes.

CONCLUSÃO

No decorrer deste projeto foram apresentados dados mostrando que a execução e resultados do trabalho foram satisfatórios. Tendo em vista que a Blenda A que era o objetivo de estudo cumpriu todos os requisitos necessários para que fosse aprovada nos testes internos e demonstrasse valores de acordo com o esperado em suas propriedades reológicas, térmicas e mecânicas.

Este trabalho conclui que homologar a Blenda A como nova formulação é extremamente vantajoso financeiramente, pois como foi visto ela gerou uma redução de custos do processamentos desses produtos em 10,7%.

Além da vantagem financeira este trabalho conclui que essa nova formulação também é vantajosa para o meio ambiente, tendo em vista a busca pelo geração consciente de plástico no planeta. Blendas como essa permitem que as empresas reutilizem o seu próprio material ou adquiram materiais já processados em outros lugares para reaproveitamento do material e diminuição da produção de plásticos desnecessários.

O próximo passo para este trabalho é continuar o estudo com outras formulações com a finalidade de encontrarmos o ponto de equilíbrio do uso de material termoformado na injeção, aumentando a quantidade de PP Homo, diminuindo a quantidade de PP Copo e variando, para mais ou menos, a quantidade do agente modificador de impacto.

Outra oportunidade encontrada neste trabalho é a continuação dos estudos voltados para a área da sustentabilidade, que atualmente já é um assunto de extrema necessidade e importância, buscando encontrar, se possível soluções completamente alternativas, gerando menos gases que ajudam o efeito estufa e diminuindo ainda mais a produção desregrada de plásticos.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2019**. ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/>>. Acesso em 05 ago. 2022.

ABIPLAST. **Perfil 2020**. ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), São Paulo, 2020. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2020/>>. Acesso em 05 ago. 2022.

ABIPLAST. **Perfil 2021**. ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2020/>>. Acesso em 05 ago. 2022.

ABRE. **Estudo abre macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**. ABRE (Agência Brasileira de Embalagem), São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/>>. Acesso em 10 ago. 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1238-20: Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D256-10: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**. 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4101-17: Standard Classification System and Basis for Specification for Polypropylene Injection and Extrusion Materials**. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D792 - 20: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14952:2020: **Baldes plásticos injetados para uso industrial - Requisitos e métodos de ensaio**. 2020.

BÍBLIA. Português. **Bíblia Sagrada**. Almeida Revista e Atualizada. São Paulo: Sociedade Bíblica do Brasil, 1993. Segunda edição.

BODER, G. **“Structural Investigations of Polymers”**, Ellis Horwood, New York, 1991.

CANEVAROLO JÚNIOR. Sebastião Vicente. **Ciência dos Polímeros**. São Paulo: Editora Artliber, 2020. Terceira edição.

CIEAM. **Produção da indústria ainda sofre falta de insumos**. CIEAM (Centro da Indústria do Estado do Amazonas), Manaus, 2021. Disponível em: <<https://cieam.com.br/noticias/producao-da-industria-ainda-sofre-falta-de-insumos>>. Acesso em 10 ago. 2022.

Copolymer. Wikipedia. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Copolymer>>. Acesso em: 03 de ago de 2022.

DUARTE, João David Rosa. **Acompanhamento e estudo dos processos de injeção, extrusão e sopro na empresa Logoplaste**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2017.

FERMINO, D. M. **Estudo das propriedades mecânicas, reológicas e térmicas de nanocompósitos de HMSPP (polipropileno com alta resistência do fundido) com uma bentonita brasileira**. Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares - IPEN. São Paulo, p. 119. 2011.

LIBANO, Elaine V. D. G; PACHECO, Élen B. A. V. **Propriedades Térmicas de Compósitos de Polipropileno e Bentonita Organofílica**. Polímeros, vol. 22, n. 5, p. 430-435, 2012

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

NASCIMENTO, U. A.; TIMÓTEO, G. A.; RABELLO, M. S. **Efeito de plastificante à base de Poliisobutenos nas propriedades físicas e mecânicas do Polipropileno**. Polímeros, São Carlos, v. 23, p. 257 - 261, Abril 2013.

OLIVEIRA, Antônio José Domingues. **Caracterização Mecânica e Reológica de Polipropileno Reciclado para a Indústria Automotiva**. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica – Pontifca Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2006.

Pelegriini Jr, Tarciso et al. **CINÉTICA DE CRISTALIZAÇÃO DE NANOCOMPOSITOS DE POLIPROPILENO**. Anais do 8o Congresso Brasileiro de Polímeros.

RABELLO, M.S.; DE PAOLI, M.A. **Aditivação de termoplásticos**. São Paulo: Editora Artliber, 2013. Primeira edição.

RHEOLOGYSOLUTIONS. **Thermo Scientific HAAKE MiniJet II**. Disponível em: <<http://www.rheologysolutions.com/thermo-scientific-haake-minijet-ii/>>. Acesso em: 25 de jul. 2022.

RHEOLOGYSOLUTIONS. **Thermo Scientific HAAKE MiniJet II**. Disponível em: <<http://www.rheologysolutions.com/downloads/product%20brochures/Thermo%20Scientific%20HAAKE%20MiniJet%20II%20Sample%20Preparation%20&%20Moulds%20Brochure.pdf>>. Acesso em: 25 de jul. 2022.

RHEOLOGYSOLUTIONS. **Thermo Scientific HAAKE MiniJet II**. Disponível em: <<http://www.rheologysolutions.com/downloads/product%20specifications/Thermo%20Scientific%20HAAKE%20MiniJet%20II%20Specifications.pdf>>. Acesso em: 25 de jul. 2022.

RIBEIRO, Patrícia Isabel Guimarães. **O IMPACTO DA APLICAÇÃO DAS LEAN TOOLS NA MELHORIA DE PROCESSOS NUMA EMPRESA DE PLÁSTICOS**. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial) – Curso Engenharia e Gestão Industrial– Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2018.

ROESE, P. B; SILVA, F. O. M; FORTE, M. M. C. **EFEITO DA ADIÇÃO DE COPOLÍMEROS EM BLOCO TIPO SBS E SEBS NA CINÉTICA DE CRISTALIZAÇÃO DO POLIPROPILENO ISOTÁTICO**. Departamento de Engenharia dos Materiais, Escola de Engenharia.

RUIZ, Francisco Carlos. **EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA NA BLENDAS DE POLIPROPILENO E POLIETILENO DESTINADA À PRODUÇÃO DE ARTIGOS OBTIDOS POR PROCESSO DE TERMOFORMAGEM, MOLDAGEM POR INJEÇÃO E MOLDAGEM POR SOPRO**. Dissertação (Engenharia de Materiais) - Engenharia de Materiais - Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2009.

SANTOS, P. D., SANTANA, R. M. C., SIMANKE, A. G. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS EM BLENDS DE HOMOPOLÍMERO DE PROPILENO E COPOLÍMERO DE PROPILENOETILENO.** Anais do 14º Congresso Brasileiro de Polímeros. Lindoias, 2014.

SERTA, Gabriel Villela; ROCHA, Juliano dos Santos. **TERMOFORMADORA A VÁCUO AUTOMATIZADA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Produção Têxtil) – Curso Superior Tecnologia de Produção Têxtil – Faculdade De Tecnologia de Americana. Americana, 2014.

SOUZA, Marcio Benedito. **A INDÚSTRIA DO RECICLADO PET: A REUTILIZAÇÃO DO PLÁSTICO REVOLUCIONANDO O MERCADO.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia e Gestão Industrial) – Curso Engenharia e Gestão Industrial– Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2018.

THERMO SCIENTIFIC. **HAAKE™ MiniJet Pro Piston Injection Molding System.** Catalog number: 567-2096. Disponível em: <<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/567-2096>>. Acesso em 01 de ago. 2022.