

**/CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Danielle Pereira Lima

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POLICARBONATO VIRGEM E DO POLICARBONATO
RECICLADO DO CANAL DE INJEÇÃO**

BELO HORIZONTE

2022

DANIELLE PEREIRA LIMA

ANÁLISE COMPARATIVA DO POLICARBONATO VIRGEM E DO POLICARBONATO
RECICLADO DO CANAL DE INJEÇÃO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado no Curso de Engenharia de
Materiais do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como
requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcello Dumont

BELO HORIZONTE

2022

DANIELLE PEREIRA LIMA

ANÁLISE COMPARATIVA DO POLICARBONATO VIRGEM E DO POLICARBONATO
RECICLADO DO CANAL DE INJEÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em 10/02/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcello Rosa Dumont

Prof. Dra. Mayra Aparecida Nascimento

Eng. de Produção Daniel Caires de Souza

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento,
mais evidente fica nossa ignorância.”

(John F. Kennedy)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por cuidar minuciosamente de cada detalhe da minha vida.

Agradeço aos meus pais, Elizia Lima e Claudio Pereira por toda a confiança em fazer com que os meus sonhos se tornem o de vocês. Obrigada por todo o incentivo, apoio e exemplo de garra e determinação que sempre me deram.

Ao meu orientador Marcello Dumont por toda dedicação, direcionamento e oportunidade.

Aos meus colegas de trabalho por toda ajuda, apoio e convívio. Cada um de vocês foi crucial nesses últimos meses de jornada acadêmica.

Aos meus amigos e familiares pela compreensão, e por estarem comigo nos bons e nos maus momentos.

Gratidão a todos aqueles que participaram da minha formação profissional direta ou indiretamente.

Agradeço ao laboratório AFINKO pelas amostras, ensaios, e colaboração técnica para esse estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 Introdução	11
2 Objetivos	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
3 Referencial teórico	14
3.1 MATERIAIS POLIMÉRICOS	14
3.2 POLICARBONATO	14
3.3 PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS	15
3.4 PROCESSAMENTO POR INJEÇÃO	16
3.5 RECICLAGEM.....	18
3.6 RECICLAGEM DE POLICARBONATO.....	19
3.7 ENSAIO DE IMPACTO.....	21
3.8 ENSAIO DE TRAÇÃO, FLEXÃO E COMPRESSÃO.....	22
3.9 TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA (HDT)	23
3.10 TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT	24
4 Metodologia	26
4.1 MATERIAIS	26
4.2 MOAGEM.....	26
4.3 PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA.....	27
4.4 ENSAIOS MECÂNICOS	27
4.4.1 <i>Ensaio de impacto</i>	27
4.4.2 <i>Ensaio de tração, flexão e compressão</i>	28
4.5 ANÁLISES TÉRMICAS	28
4.5.1 <i>Ensaio da Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)</i>	28
4.5.2 <i>Temperatura de Amolecimento Vicat</i>	28
5 Resultados e discussões	29
6 Conclusões	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aumento das propriedades de um material polimérico de acordo com o aumento de sua massa molar.	14
Figura 2 - Representação do mero de PC à base de Bisfenol-A.	15
Figura 3 - Desenho esquemático de injetora polimérica.	16
Figura 4 - Desenho esquemático do molde de injeção ilustrando a produção de peças e o resíduo (canais).	18
Figura 5 - Fluxo 1 de reprocessamento de canal de injeção.	20
Figura 6 - Fluxo 2 de reprocessamento de canal de injeção.	20
Figura 7 - Desenho esquemático do posicionamento do corpo de prova no ensaio de impacto Izod.	21
Figura 8 - Desenho esquemático do posicionamento do corpo de prova no ensaio Charpy.	22
Figura 9 - Desenho esquemático da aplicação da força no ensaio de tração.	23
Figura 10 – Desenho esquemático da aplicação da força no ensaio de tração.	23
Figura 11 - Pallet de PC cristal.	26
Figura 12 - Fluxo esquemático da produção de corpos de prova para testes.	27
Figura 13 - Gráfico de tensão em função da deformação obtido em ensaio de tração.	29
Figura 14 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração do PC virgem e reciclado 	30
Figura 15 - Gráfico da carga em função da deformação obtido em ensaio de compressão.	32
Figura 16 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de compressão do PC virgem e reciclado.	33
Figura 17 - Gráfico da tensão à flexão em função da deformação obtido em ensaio de compressão.	34
Figura 18 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de flexão do PC virgem e reciclado.	35
Figura 19 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de impacto Izod do PC virgem e reciclado.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de impacto Izod do policarbonato reciclado.	37
---	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

HDT - Heat Deflection Temperature (Temperatura de Deflexão Térmica)

PC – Policarbonato

Tg – Temperatura de Transição Vítrea

Tm – Temperatura de Fusão Cristalina

Tc – Temperatura de Cristalização

RESUMO

Os materiais termoplásticos são majoritariamente produzidos a partir de fontes de petróleo, que é uma fonte não renovável e os seus produtos demoram longos anos para se decompor. Estima-se que cerca de 50% dos plásticos produzidos são utilizados uma única vez, e com o avanço da tecnologia o seu uso foi intensificado. Para a produção dessas peças termoplásticas utiliza-se métodos de processamento como injeção, que permite a termo moldagem nas mais variadas formas. Por outro lado, é comum que os moldes de injeção utilizem mecanismos como canais para que o material saia da rosca e chegue até as cavidades do molde. O material enrijece dentro do canal de injeção e, na maioria das vezes, é descartado posteriormente. Esse material dos canais de injeção foi processado uma vez e é pouco reutilizado nas indústrias. No presente estudo, os corpos de prova foram produzidos pelo processo de injeção tanto para o PC virgem, quanto para o PC reciclado de canais de injeção. Ensaio mecânicos de tração, impacto, flexão e compressão e ensaios térmicos de Temperatura de Deflexão Térmica e Temperatura de amolecimento Vicat foram realizados. Com os ensaios mecânicos percebeu-se que um decréscimo de 87% na propriedade de deformação na ruptura obtido no ensaio de tração quando se compara o PC virgem e o reciclado. Apesar disso, as demais propriedades obtidas nos ensaios listados pouco se alteraram. Sendo assim, isso endossa a possibilidade de utilizar novamente o material do canal de injeção novamente no processo de injeção.

Palavras-chaves: Policarbonato, reciclagem, canal de injeção.

ABSTRACT

The thermoplastics materials are mostly produced from petroleum, which is a source of energy non-renewable and then the products decomposed slowly. Estimated that approximately 50% of plastics produced was used only one time, and with the technology advanced the use of this material was intensified. For the production of thermoplastic parts injection processing can be used. This processing enables different geometries and applications for thermoplastic materials. In this process it is common to use a sprue to move the material from the hot zone to the form. The sprue is normally discarded after hardening and is most often discarded and processed only once. In this study, samples were injected with virgin material and recycled material sprue after grinded process. Mechanical and thermal tests were done to evaluate the properties and compare with virgin material. In this evaluation it was possible to observe a reduction in properties of deformation at break of 87% in tensile test, when compared with virgin raw material. Regardless, the other properties obtained in other tests displayed little differences. Therefore, this study reinforces the possibility to reuse the sprue of injection.

Keywords: Polycarbonate, Recyclable, Sprue.

1 Introdução

A constante busca por inovações tecnológicas, redução de custo e otimização de processos elevou os materiais poliméricos a um grande destaque global, amplificando a sua gama de utilizações, melhorando processos e até mesmo, aprimorando os materiais poliméricos já existentes. Nas últimas décadas, houve uma crescente em cerca de 500% na utilização de materiais poliméricos e o que se prevê é que em até 2050 a produção de materiais poliméricos chegue em cerca de 850 milhões toneladas por ano (LACERDA, 2017).

Os materiais poliméricos se subdividem em termofixos, que após a cura (endurecimento) não permite nova conformação, e termoplásticos, que podem ser amolecidos e moldados novamente. Com os termoplásticos é possível se obter estruturas e objetos com formas complexas aumentando as possibilidades de aplicação. Essa versatilidade de aplicações permite que ele seja utilizado muitas vezes, como substituto de materiais tradicionais como por exemplo materiais cerâmicos e metálicos. Além da diversidade de aplicações, os materiais poliméricos termoplásticos podem ser conformados por diferentes métodos, como por moldagem por injeção, extrusão, prensagem, dentre outros (WANG, 2014).

A maior parte dos materiais poliméricos termoplásticos produzidos na atualidade advém de fontes petroquímicas e estima-se que 4% da produção anual de petróleo seja destinada a produção de polímeros. Como se sabe, o petróleo é uma fonte de energia não renovável, portanto existe uma busca constante para fontes alternativas ou formas de se reciclar produtos derivados dessa matéria prima. Outro ponto crítico na utilização de termoplásticos nos dias atuais é que cerca de 50% da produção desse tipo de polímero é utilizado uma única vez e descartado após o seu uso (HOPEWELL, 2014).

A moldagem por injeção gera como resíduo de processo os canais de injeção que por muitas vezes são descartados, mas são provenientes de matéria prima virgem, tal como a peça injetada. Esse material polimérico demora muitos anos para se decompor na natureza e seu processo de decomposição pode inclusive, liberar substâncias tóxicas para o meio ambiente (WANG, 2014).

A propriedade dos termoplásticos de permitir novo amolecimento após a sua conformação sem grandes prejuízos as suas propriedades físico-químicas permitem que se estude a possibilidade de se reprocessar os canais produzidos no processo de injeção. O processo de reciclagem de materiais poliméricos termoplásticos permite que se diminua o gasto energético e utilização de

petróleo para a produção de matéria-prima virgem, além de acarretar na redução de custo para o componente que essa matéria prima reprocessada será aplicada (WANG, 2014).

Dentre os termoplásticos que se estuda o reprocessamento encontra-se o policarbonato (PC) que é comumente utilizado como substituto do vidro. O processo de injeção é utilizado para a conformação dessa matéria-prima, uma vez que com esse processamento é possível se obter os melhores acabamentos com isso, são produzidas grandes quantidades de canal de injeção desse material (KIAM, 2007).

A avaliação de propriedades mecânicas de materiais previamente reciclados é importante para que possa realizar a reutilização desse de forma eficiente e sem que ocorra prejuízos nas aplicações práticas desses materiais. O presente estudo é importante para avaliar as propriedades mecânicas e térmicas do PC reciclado de canal de injeção e o seu potencial de retornar ao processo industrial. A análise de propriedades desse material é importante e necessária para determinar o percentual de PC reciclado que se pode acrescentar em um PC virgem sem que se altere significativamente as suas propriedades mecânicas e térmicas.

2 Objetivos

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo comparar as propriedades mecânicas e térmicas do policarbonato virgem e do policarbonato reciclado do canal de injeção para avaliar os impactos gerados nas propriedades, ao se utilizar policarbonato reciclado no processo de injeção.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- ✓ Análise comparativa das propriedades mecânicas por ensaios de tração, compressão, flexão, impacto Izod em policarbonato virgem e reciclado.
- ✓ Análise comparativa das temperaturas de deflexão térmica (HDT) e temperatura de amolecimento Vicat do policarbonato virgem e reciclado.

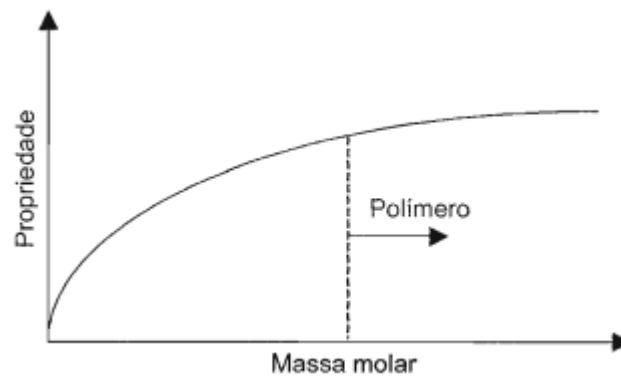
3 Referencial teórico

3.1 MATERIAIS POLIMÉRICOS

Os polímeros são materiais formados pela combinação de inúmeras unidades de repetição (monômeros) unidas por ligações covalentes formando assim, uma extensa cadeia conhecida por macromolécula (CANEVAROLO JR., 2002). Os monômeros são formados em sua grande maioria por hidrocarbonetos disponíveis no petróleo, mas atualmente existem inúmeras pesquisas para buscar esses em fontes alternativas como amido, celulose, entre outros (BRITISH PLASTIC FEDERATION, 2021).

A combinação de monômeros, resulta em polímeros com diferentes massas molares e por consequência, variadas propriedades mecânicas, físicas e térmicas. Como pode-se observar na Figura 1, quanto maior a massa molar de um polímero maior são suas propriedades mecânicas e físicas e esse entendimento é importante para utilizar o polímero adequadamente (CANEVAROLO JR., 2002).

Figura 1 - Aumento das propriedades de um material polimérico de acordo com o aumento de sua massa molar.



Fonte: CANEVAROLO JR., 2002.

Comparado com materiais metálicos e cerâmicos, a utilização de materiais poliméricos é vantajosa por apresentar características como baixa densidade, custo reduzido de produção, possibilidade de conformação em diversas formas e variadas aplicações (LACERDA, 2019).

3.2 POLICARBONATO

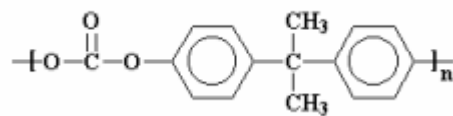
O policarbonato (PC) é um polímero que vem sendo amplamente utilizado em aplicações de engenharia devido ao seu baixo custo e densidade quando comparado a materiais como vidro e propriedades mecânicas como de resistência ao impacto, além disso o PC destaca-se fortemente por sua translucidez semelhante ao vidro (LACERDA, 2019). Esse polímero pode ser aplicado em áreas como indústria automotiva, construção civil, artefatos para instalação elétrica, equipamentos ópticos e fotográficos, área médica, entre outras (CALLISTER JR., 2008).

Atualmente, o PC é um dos principais polímeros substitutos para o vidro devido as suas boas propriedades mecânicas, translucidez e menor densidade em comparação. Além disso, a possibilidade de conformação em formas mais complexas, reprodutibilidade e produção em larga escala aumentam a gama de aplicações desse material (LACERDA, 2019).

Pode-se encontrar o PC na forma alifática e aromático. Na forma alifática, o PC possui menor estabilidade térmica e conseqüentemente esse tipo de PC é menos utilizado em aplicações de engenharia. Já o PC aromático é considerado como um polímero de engenharia, além disso é um termoplástico amorfo (MELO, 2004).

Diferentemente do PC alifático, o PC aromático tem maior resistência ao calor e melhores propriedades mecânicas. Esse PC é sintetizado a partir do Bisfenol-A que resulta em uma cadeia polimérica com anéis benzênicos, grupos carbonatos e grupos metila, conforme observa-se na Figura 2 (MELO, 2004).

Figura 2 - Representação do mero de PC à base de Bisfenol-A.



Fonte: MELO, 2004.

O processamento do PC termoplástico é comumente realizado por extrusão e injeção, mas pode ser conformado também pelo processo de laminação, rotomoldagem, sopro, dentre outras formas. E devido a sua resistência mecânica e dureza, esse material permite a aplicação, posterior, de processos de usinagem e de acabamentos superficiais (DIAS, 2019).

3.3 PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Atualmente, existem uma variedade de opções para o processamento de materiais poliméricos termoplásticos, como o processo de extrusão, injeção e moldagem por prensa que permite fornecer as mais diversas formas e aplicações para esse tipo de material. De forma geral, os processamentos de termoplásticos amorfos consistem no aquecimento do polímero acima da temperatura de transição vítrea (T_g) e na moldagem de acordo com a forma que se deseja (CAPELA, 2010).

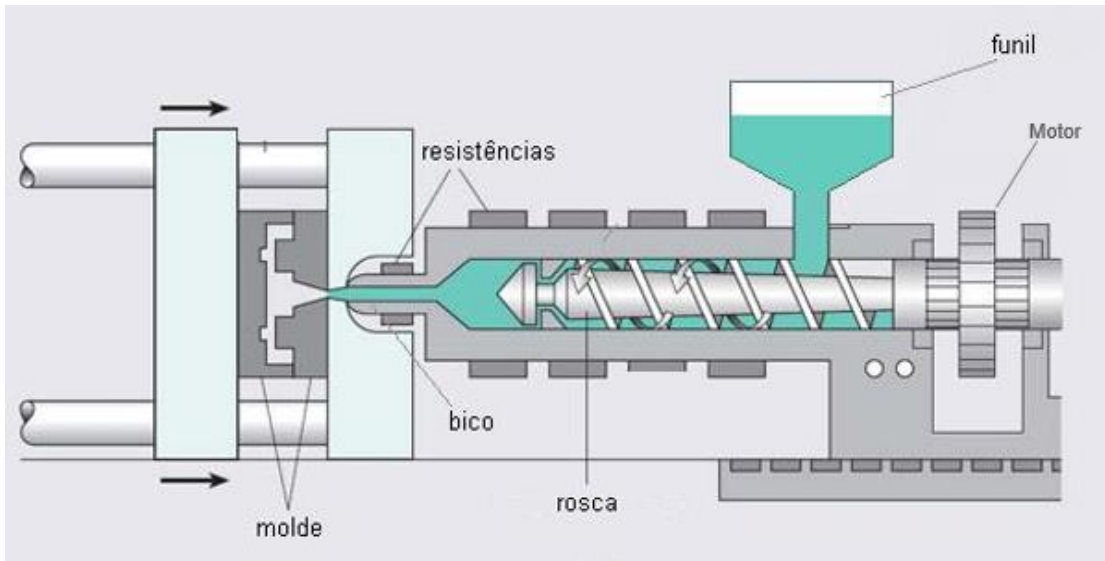
Para os polímeros existem três temperaturas importantes: a temperatura de transição vítrea (T_g), temperatura de fusão cristalina (T_m) e a temperatura de cristalização (T_c). A temperatura de transição vítrea (T_g) é caracterizada pela aquisição de mobilidade das cadeias poliméricas amorfas, ou seja, a moldagem em polímeros amorfos é realizada acima da temperatura de T_g . A temperatura de fusão cristalina (T_m) é caracterizada pela quebra das ligações intermoleculares das regiões cristalinas de um material polimérico alterando assim o seu estado físico para fundido. Por fim, a temperatura de cristalização (T_c) é a temperatura que durante o resfriamento de um material polimérico inicia-se a formação de cristais poliméricos (CANEVAROLO, 2002).

3.4 PROCESSAMENTO POR INJEÇÃO

No processamento de moldagem por injeção o material é injetado sob pressão para dentro da cavidade de um molde que se mantém fechado por alguns segundos até solidificar novamente o polímero na forma desejada. Para isso, é essencial que o polímero se encontre fundido (acima da T_g e T_m) para adequada conformação térmica (CAPELA, 2010).

A injetora, equipamento que realiza esse tipo de moldagem, é composta principalmente por um motor, um funil alimentador, um sistema de homogeneização do polímero, um bico injetor e um molde. Nesse sistema, o material termoplástico é adicionado ao funil alimentador que abastece gradualmente a região de homogeneização do polímero. Essa região é composta principalmente por uma rosca, um sistema de aquecimento elétrico para a fusão do polímero e um canhão que é responsável pela injeção do material fundido no molde (MANRICH, 2005). Na Figura 3 é possível observar um desenho esquemático da disposição de cada um desses elementos em uma injetora.

Figura 3 - Desenho esquemático de injetora polimérica.



Fonte: Adaptado SCOPEL, 2018.

Após a entrada do material polimérico na forma de *pellets* (forma de grânulos) na região de homogeneização, o polímero é aquecido gradualmente enquanto é direcionado ao bico injetor pela rosca. Durante esse processo, o movimento de rotação gerado pela rosca promove a homogeneização do material para que esteja completamente fundido no momento de sua injeção dentro da cavidade do molde. Após o amolecimento do material, uma quantidade é armazenada ao final da injetora e enviado para dentro da cavidade do molde em alta pressão por um êmbolo (SOAVE, 2014).

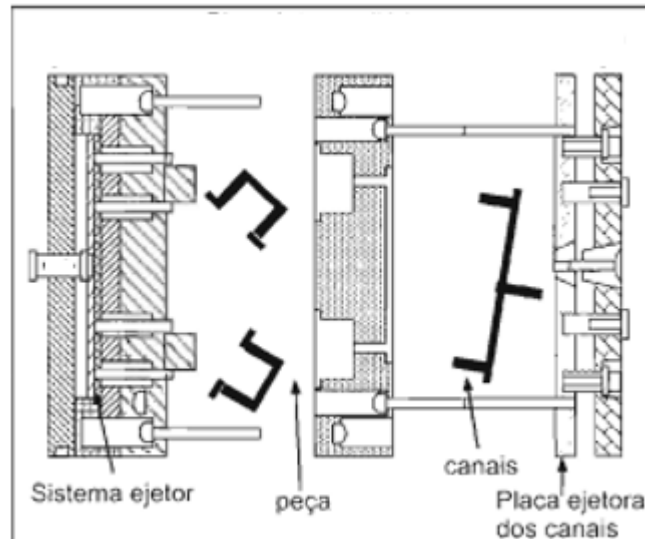
Os parâmetros de injeção influenciam diretamente na qualidade da peça produzida, tais como propriedades mecânicas, ópticas, acabamento superficial e podem inclusive, ocasionar defeitos de injeção. Esses defeitos, são inevitáveis em um processo de injeção e pode provocar o de falhas como por exemplo: bolhas, rechupe e empenamento. (SOAVE, 2014).

Para minimizar a possibilidade de surgimento de defeitos na peça projeta-se nos moldes de injeção regiões que poderão sofrer esses defeitos dessa forma, ao finalizar o processo de injeção essas regiões são removidas e refugadas. Além disso, para que o polímero chegue adequadamente à cavidade do molde utiliza-se canais de injeção. Esses canais não fazem parte da peça injetada e conseqüentemente, são descartados (MANRICH, 2005).

Na Figura 4, é possível observar um desenho esquemático da utilização de canais de injeção que são descartados assim que a peça se solidifica. O material presente nesse canal é livre de contaminação em alguns casos vem sendo reciclado por um processo simples de moagem e

retorno ao processo de injeção, conforme se observa no trabalho de LACERDA (2018) e VIEIRA (2014).

Figura 4 - Desenho esquemático do molde de injeção ilustrando a produção de peças e o resíduo (canais).



Fonte: Adaptado MANRICH, 2005.

3.5 RECICLAGEM

Atualmente, a maioria dos polímeros são fabricados de derivações do petróleo, ou seja, de uma fonte não renovável. Essa limitação de produção faz com que cresça o interesse pelo processo de reciclagem desses materiais. O processo de reciclagem de materiais poliméricos implica na redução da emissão de dióxido de carbono durante a sua fabricação e na redução de quantidade de polímero descartada no meio ambiente. Além disso, é possível que se obtenha redução de energia já que a fabricação de polímeros virgem implica em grande consumo de energia (LACERDA, 2019).

O reaproveitamento do material polimérico pode ser realizado em caráter químico no qual, o polímero é transformado quimicamente em sua forma primária (hidrocarbonetos) para a síntese de um novo polímero e em caráter físico, no caso dos termoplásticos, que, o polímero passa por um processo de moagem simples e retorna para o processo na forma de *pellet* (HAMAD, K., 2013). Na bibliografia ainda, é possível observar uma terceira forma de reciclagem para o material polimérico que é o reaproveitamento energético por meio da incineração do polímero, mas esse pode ser altamente prejudicial para o meio ambiente se não for realizado da forma correta (LACERDA, 2019).

O processo mecânico de reciclagem de materiais poliméricos (termoplásticos) é mais barato, rápido e eficiente do que os demais citados. Esse processo consiste na separação do material, na moagem, secagem, mistura com a matéria-prima virgem e injeção. A mistura com um material virgem é interessante para a manutenção de propriedades mecânicas do material uma vez que o reprocessamento de materiais poliméricos pode acarretar em redução dessas propriedades (LACERDA, 2019).

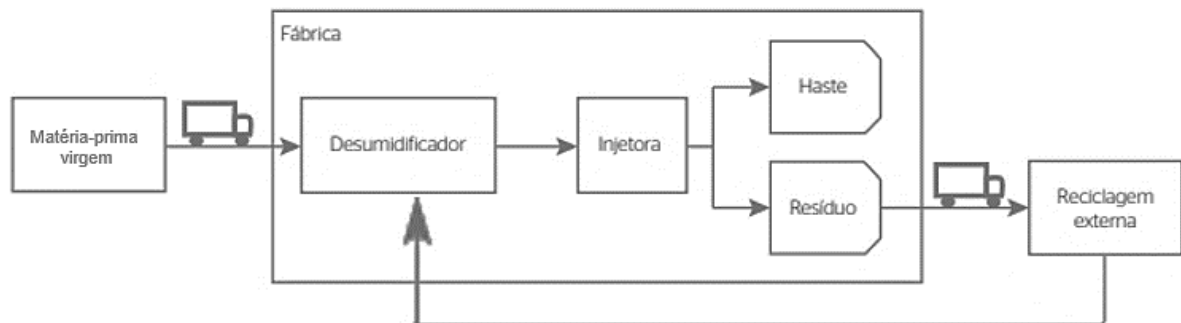
Apesar da facilidade do reprocessamento mecânico, a redução de propriedades é um problema que pode estar atrelado a esse processo em cada ciclo de reprocessamento. Isso acontece devido a redução da massa molar do polímero que pode acontecer por diversos fatores, tais como, a interferência de contaminantes (principalmente ácidos), a presença e umidade durante a fusão e a cisão térmica das ligações covalente por isso a separação adequada do material que será reutilizado e a secagem do material moído é importante para minimizar os impactos que podem ser provocados com esse processo (PESSÔA, 2018).

3.6 RECICLAGEM DE POLICARBONATO

A contaminação do meio ambiente devido ao acúmulo de plástico é um problema recorrente e que aumenta com o avanço do desenvolvimento tecnológico. Durante o processamento por injeção de materiais poliméricos se observa o descarte de canais de injeção, que são materiais livres de contaminação e aptos a serem reciclados (GIOVANELLA, 2008). Para o processo de reciclagem do canal de injeção de PC é necessário a transformação desse, em partículas menores para que se possa misturar ao material virgem e retornar ao processo de injeção. O processo de reciclagem dos canais de injeção pode ser realizado de duas formas segundo descrito por Lacerda (2017).

O primeiro método consiste na separação adequada dos canais de injeção e re-pelletização por meio uma extrusora podendo retornar assim ao processo de injeção, misturados ou não a matéria prima virgem em novos processos de injeção, conforme se observa no fluxo da Figura 5 (LACERDA, 2017).

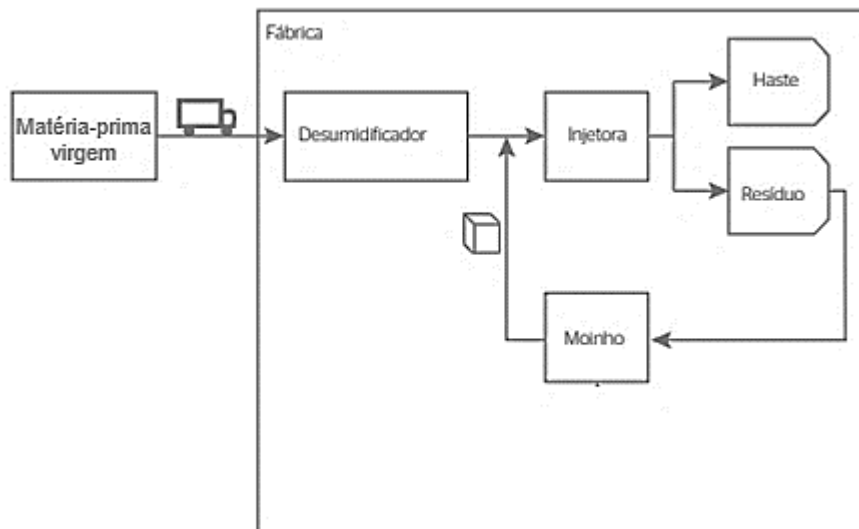
Figura 5 - Fluxo 1 de reprocessamento de canal de injeção.



Fonte: Adaptado LACERDA, (2017).

Já o segundo método, detalhado no fluxo da Figura 6, consiste na separação dos canais de injeção, após o processamento de injeção, em seguida a realização da moagem que retornará ao processo junto com a matéria prima virgem. Como se observa a matéria-prima que retornará ao processo foi processada uma única vez, diferentemente do que se observa no fluxo anterior que ao retornar para o processo já foi processado duas vezes: injeção e extrusão para confecção dos *pellets* (LACERDA, 2017).

Figura 6 - Fluxo 2 de reprocessamento de canal de injeção.



Fonte: Adaptado LACERDA, (2017).

Conforme Giovanella (2008) destacou a forma mais eficiente para o processo de reciclagem de PC é por meio de processamento mecânico uma vez que, essa forma de processamento permite maior facilidade de adaptação, o equipamento para moagem é facilmente operacionalizado e

quando comparados com outras técnicas de reciclagem, como reciclagem química, é relativamente mais barato.

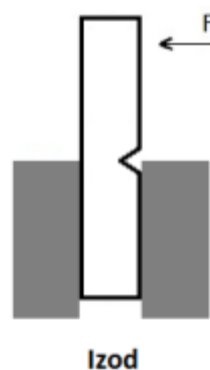
Giovanella e Vieira em seus respectivos estudos fazem estudos comparativos de propriedades mecânicas do PC reciclado.

3.7 ENSAIO DE IMPACTO

O ensaio de impacto tem como finalidade avaliar o comportamento mecânico de amostras através do rompimento de amostras através da colisão do martelo pendular na amostra analisada. Esta amostra, poderá ser posicionada verticalmente ou horizontalmente, de acordo com o ensaio realizado que poderá ser izod ou charpy, respectivamente (NEVES, 2017).

Os corpos de prova para o ensaio *Izod* foram injetados conforme a norma ASTM D256. O corpo de prova possui formato de paralelepípedo com dimensões de 3,2 mm x 12 mm x 64 mm e contém um entalhe central com 2 mm de profundidade, o entalhe é importante para o ensaio porque ele gera um concentrador de tensão que promoverá a fratura frágil. Conforme mostrado na Figura 7, durante a realização do ensaio, o corpo de prova foi posicionado verticalmente e o seu entalhe foi posicionado na mesma direção na qual o pêndulo atinge no corpo de prova (CANEVAROLO, 2002).

Figura 7 - Desenho esquemático do posicionamento do corpo de prova no ensaio de impacto Izod.

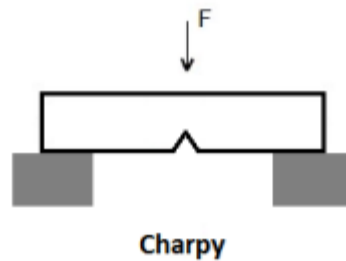


Fonte: Adaptado de NEVES, 2017.

Já no ensaio *charpy*, que ocorre de forma semelhante ao ensaio *izod*, o posicionamento do corpo de prova foi alterado. No ensaio *charpy* o corpo foi posicionado horizontalmente desta forma, alguns parâmetros do ensaio foram alterados, como o dimensionamento do corpo de prova que

passa a ser normatizado pela ASTM D6110 descrever as dimensões utilizadas. Além disso, a forma do martelo pendular também foi alterada e se assemelha a um C. O entalhe para este ensaio foi posicionado opostamente ao lado no qual o pêndulo impactará a amostra, conforme demonstrado na Figura 8 (NAGLIS, 1998).

Figura 8 - Desenho esquemático do posicionamento do corpo de prova no ensaio Charpy.



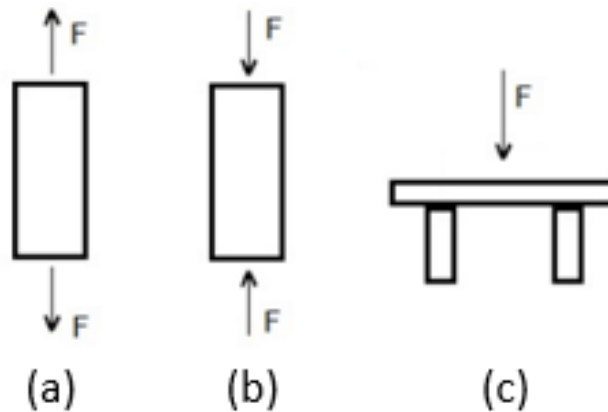
Fonte: NEVES, 2017.

3.8 ENSAIO DE TRAÇÃO, FLEXÃO E COMPRESSÃO

Os ensaios mecânicos de tração, flexão e compressão são responsáveis por avaliar as propriedades do material em função da deformação quando aplicada tensão no maior eixo do corpo de prova. Nestes casos, avalia-se a deformação no corpo de prova em função da tensão, ou seja, a aplicação de uma força mecânica por unidade de área é respondida através da variação do comprimento do corpo de prova (NEVES, 2017; CALLISTER JR., 2008).

Como é possível se observar na Figura 9 (a), o ensaio de tração é caracterizado pela aplicação de um esforço unidirecional oposto em um único eixo vertical promovendo assim, o esforço de tração. O ensaio de compressão é caracterizado por uma aplicação força unidirecional sinérgica em um mesmo eixo acarretando em um esforço compressivo como se observa na figura 9 (b). Diferentemente dos testes anteriormente citados, o teste de flexão é realizado com a configuração de três apoios no qual a força é aplicada ao centro do corpo de prova, como é possível observar na figura 9 (c) (CALLISTER JR., 2008).

Figura 9 - Desenho esquemático da aplicação da força no ensaio de tração.



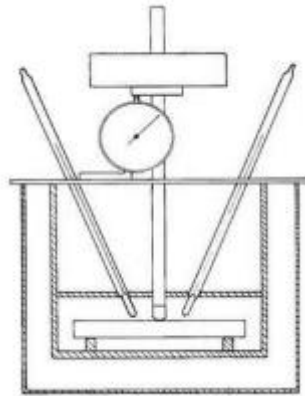
Fonte: Adaptado NEVES, 2017.

Durante esses ensaios, uma força é aplicada pelo equipamento e aumenta gradativamente com velocidade do ensaio é constante. Os pontos de força e deslocamento são registrados pelo equipamento e posteriormente é convertido em tensão e deformação de engenharia para a obtenção do gráfico exigido pela norma tanto para o ensaio de tração quanto para flexão (CALLISTER JR. 2008).

3.9 TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA (HDT)

A temperatura de deflexão térmica (HDT) é a temperatura que é possível se observar um decréscimo considerável nas propriedades mecânicas de um corpo de prova na qual é submetido a um aumento de temperatura a uma taxa constante em conjunto com a aplicação de um esforço mecânico de flexão de 3 pontas, conforme se observa na Figura 10. A determinação do HDT é importante para que possa avaliar a temperatura máxima que um material continuará desempenhando a sua função (JAFELICE, 2013; ISO 75).

Figura 10 – Desenho esquemático da aplicação da força no ensaio de tração.



Fonte: ASTM D648-18, 2018.

O ensaio de HDT é geralmente realizado sob um banho de óleo para o controle da temperatura durante todo o ensaio. O ensaio pode ser realizado com curta duração que depende das propriedades físicas dos materiais poliméricos como a transição vítrea (T_g), cristalinidade, ponto de fusão (T_m) e até mesmo, o reforço mecânico adicionado ao material polimérico. Já o ensaio de longa duração depende das propriedades químicas dos polímeros como, degradação térmica e oxidação (JAFELICE, 2013).

O padrão dimensional do corpo de prova para esse ensaio é de 4 mm de espessura, 10 mm de largura e 80 mm de comprimento, no qual é submetido a uma taxa de aquecimento constante e $2^\circ\text{C}/\text{min}$. Os apoios devem se encontrar a uma distância de 64 mm, mas caso apresente variações estas devem constar nos cálculos. Para se calcular a carga necessária para atingir uma deformação padrão é calculada pela Equação 1, (PIRES, 2017).

$$\frac{2\sigma_f \times b \times h^2}{3L} \quad (1)$$

Sendo:

F: Carga em Newtons

σ_f : Tensão (MPa)

b: Largura dos corpos de prova (mm)

h: Espessura dos corpos de prova (mm)

L: Distância entre apoios (mm)

3.10 TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT

A temperatura de amolecimento Vicat é determinada por um ensaio que consiste na imersão de um corpo de prova em um banho de óleo, geralmente silicone, com rigoroso controle de temperatura. Objetivo desse ensaio é medir a penetração de 1 mm de um apalpador com área de 1 mm². Esse ensaio pode ser realizado por variando a força, 10 N ou 50 N, e a taxa de aquecimento constante do banho de óleo pode variar entre 50 °C/h ou 120 °C/h. Esses métodos são aplicados apenas em materiais termoplásticos (ULLOA, 2007; ISO 306:2013).

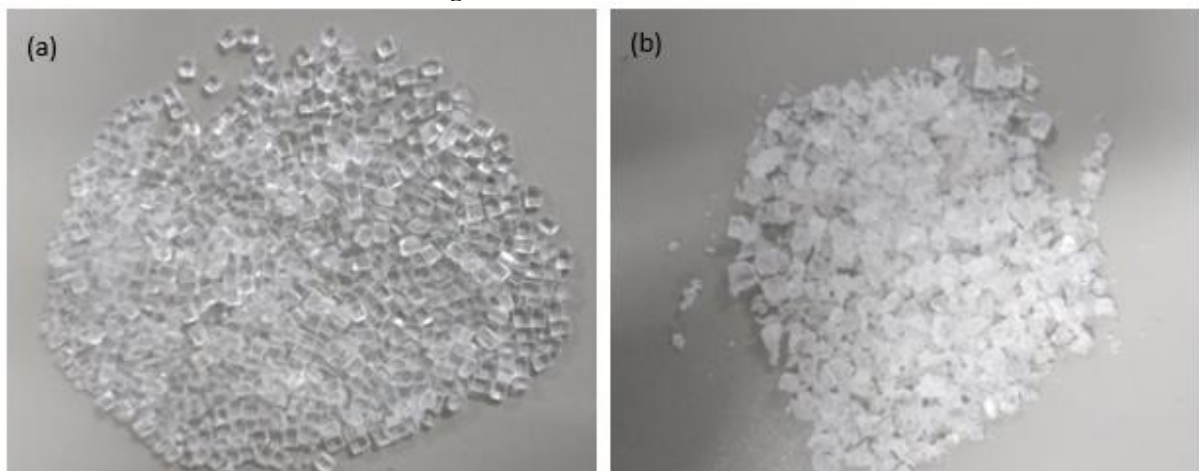
A dimensão dos corpos de prova para a realização desse ensaio deve conter 10 mm de largura, 10 mm de altura e entre 3 – 6 mm de espessura (ISO 306:2013).

4 Metodologia

4.1 MATERIAIS

Para o presente trabalho utilizou-se *pallets* PC Makrolon 2447, conforme mostrado na Figura 11 (a), virgem na cor transparente da Covestro. O material reciclado utilizado nesse trabalho foi o canal de injeção de PC Makrolon 2447 moído para reduzir a sua granulometria, conforme mostrado na Figura 11 (b).

Figura 11 - Pallet de PC cristal.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: a) PC transparente virgem na forma de *pellet*. b) PC transparente reciclado moído.

4.2 MOAGEM

Para o processo de moagem do canal de injeção de PC utilizou-se o moinho de fresa da marca Tria. O moinho possui única opção de velocidade de rotação de 60 Hertz e com capacidade de moagem de 6 kg/hora. O material foi moído e coletado por cerca de 2 horas.

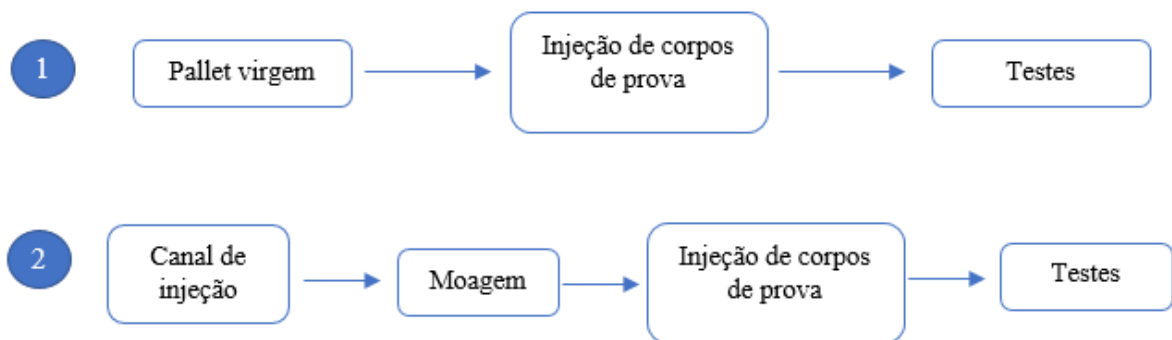
Após o processamento de moagem no moinho de fresa, o material produzido foi devidamente armazenado e identificado para a produção dos corpos de prova. Para a preparação dos corpos de prova secou-se o material a uma temperatura de 120°C por 4 horas para remover a umidade e submeteu-se ao processo de injeção com moldes específicos para a confecção de corpos de prova.

Utilizou-se como método para produção dos corpos de prova o segundo método destacado por Lacerda, (2017) no qual, não necessita de reprocessamento externo da matéria-prima para a produção de novas peças poliméricas.

4.3 PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA

Para a preparação dos corpos de prova para a realização dos ensaios térmicos e mecânicos utilizou-se o processamento de moldagem por injeção, conforme Figura 12.

Figura 12 - Fluxo esquemático da produção de corpos de prova para testes.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: 1) Fluxo para a produção de corpos de prova de PC virgem. 2) Fluxo para a produção de corpos de prova de PC virgem.

Os corpos de prova foram injetados com PC virgem (*pellets*) e PC moído dos canais de injeção com velocidade de injeção de 42 cm³/s, pressão de 301 bar, tempo de injeção de 6 segundos e tempo de resfriamento de 10 segundos. A temperatura do bico de injeção foi definida em 300°C, a temperatura do fundido foi de 290°C, a temperatura de entrada na rosca foi de 280°C e a temperatura do molde foi fixada em 60°C para evitar um resfriamento abrupto e consequentemente, possíveis falhas de injeção.

4.4 ENSAIOS MECÂNICOS

4.4.1 Ensaio de impacto

O ensaio de impacto foi realizado conforme norma ISO 180:2019. Foram ensaiados 10 corpos de provas com dimensões de $(8,17 \pm 0,03)$ mm de largura e $(3,99 \pm 0,02)$ mm de espessura e comprimento $(63,5 \pm 0,02)$. Foi realizado o ensaio Izod no equipamento NZ Philpolymer, modelo XRL – 400 com pêndulo de 1 Joule.

4.4.2 *Ensaio de tração, flexão e compressão*

Para o ensaio de tração produziu-se 5 corpos de prova do tipo 1A conforme norma de referência ISO 527-1:2019, com largura de $(9,99 \pm 0,03)$ mm e espessura $(4,10 \pm 0,05)$ mm. O ensaio foi realizado no equipamento Instron EMIC, modelo 23-30 com velocidade de 5 mm/min, posicionamento entre as garras de 115 mm e célula de carga de 5kN.

A preparação dos corpos de prova para o ensaio de flexão foi feita conforme a norma ISO 178:2019 com dimensionamento de $(9,98 \pm 0,01)$ mm de largura e $(4,10 \pm 0,07)$ mm de espessura. Foram preparados 5 corpos de prova para a realização do teste de flexão, no equipamento Instron EMIC, modelo 23-30 com célula de carga de 5 kN, com velocidade de ensaio de 2 mm/min e distância entre apoios de 64 mm.

Por fim, para o ensaio de compressão, foram preparados 5 corpos de prova conforme norma ISO 604:2017 com comprimento de 10 mm, largura $(10,03 \pm 0,08)$ mm e espessura de $(4,05 \pm 0,06)$ mm. A célula de carga utilizada foi de 5kN e velocidade de ensaio de 5mm/min.

4.5 ANÁLISES TÉRMICAS

4.5.1 *Ensaio da Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)*

O ensaio para a determinação da temperatura de Deflexão Térmica (HDT) foi realizado no equipamento CEAST, modelo HDT 6 VICAT P/N 6921. O ensaio foi realizado em 3 corpos, em banho de óleo de silicone e posicionamento do corpo de prova em flatwise. Nesse ensaio utilizou-se a carga de 0,45 MPa, taxa de aquecimento do óleo de 2 °C/min e distância entre apoios de 64 mm. A realização desse ensaio aconteceu seguindo a norma ISO 75:2020.

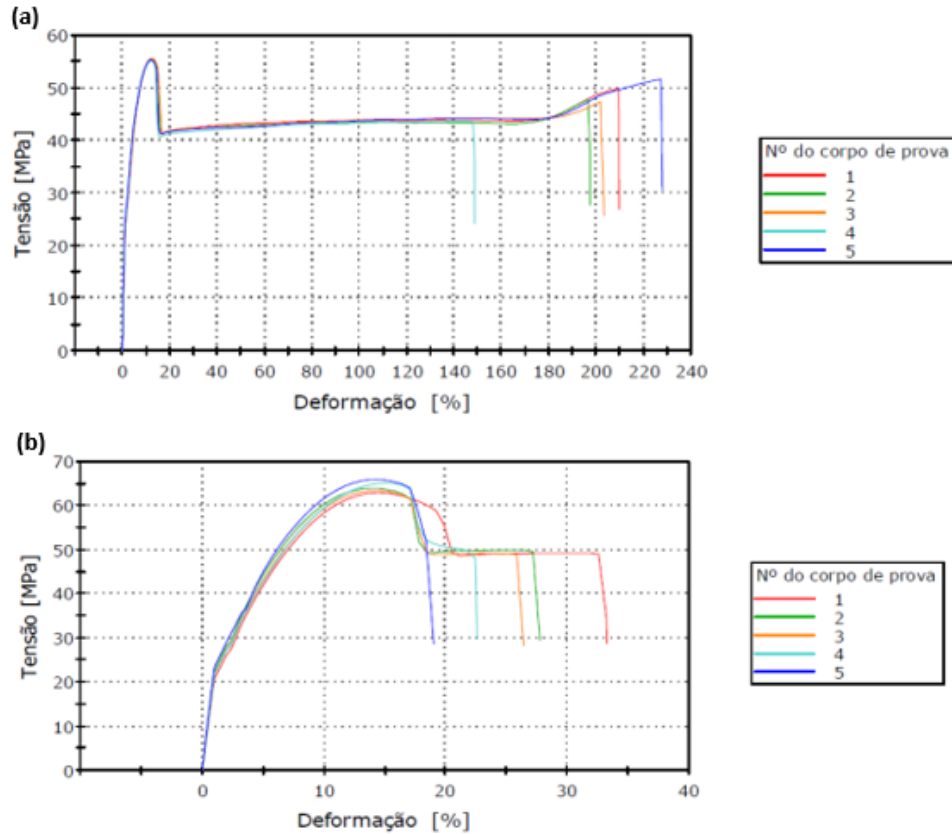
4.5.2 *Temperatura de Amolecimento Vicat*

A temperatura de amolecimento Vicat foi determinada equipamento CEAST, modelo HDT 6 VICAT P/N 6921. Para a realização do ensaio utilizou-se 3 corpos de prova, o óleo utilizado para o banho foi o silicone, carga de 50 N e taxa de aquecimento de 50°C/h. O ensaio foi realizado seguindo a norma ISO 306:2013.

5 Resultados e discussões

Os corpos de prova preparados foram submetidos ao ensaio de tração e os resultados das curvas de tensão em função da deformação podem ser observados nas Figura 13.

Figura 13 - Gráfico de tensão em função da deformação obtido em ensaio de tração.

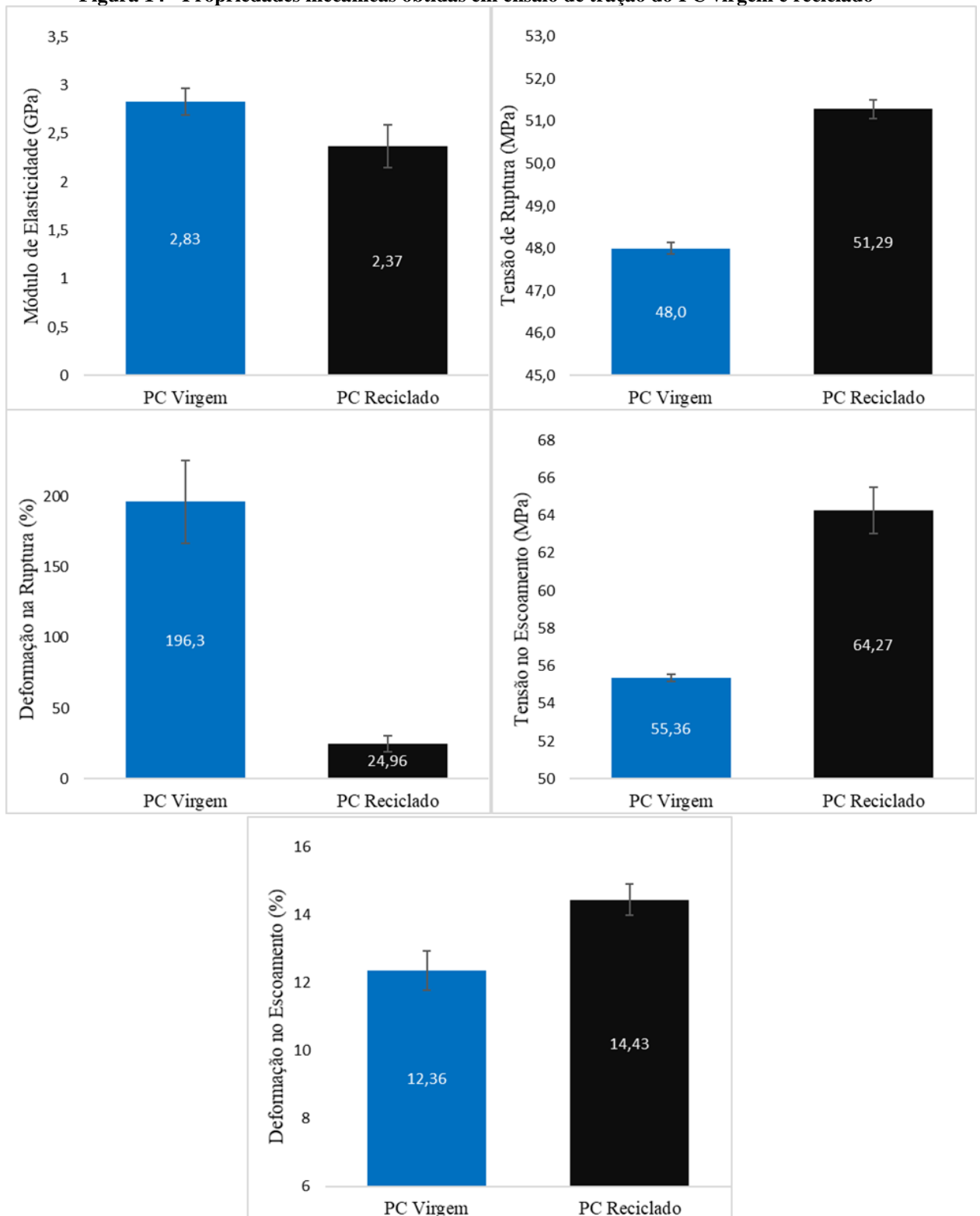


Fonte: Autoria própria.

Legenda: a) PC transparente b) PC transparente reciclado.

Com essas avaliações, foi possível determinar os valores do módulo de elasticidade, da tensão de ruptura, da deformação de ruptura, da tensão no escoamento (limite de escoamento) e da deformação no escoamento dos 5 corpos de provas analisados para o PC transparente virgem e reprocessado. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração do PC virgem e reciclado



Fonte: Autoria própria.

No ensaio de tração realizado, o módulo de elasticidade obtido no material virgem foi de $(2,83 \pm 0,14)$ GPa, já para o material reciclado essa mesma propriedade resultou em $(2,37 \pm 0,22)$

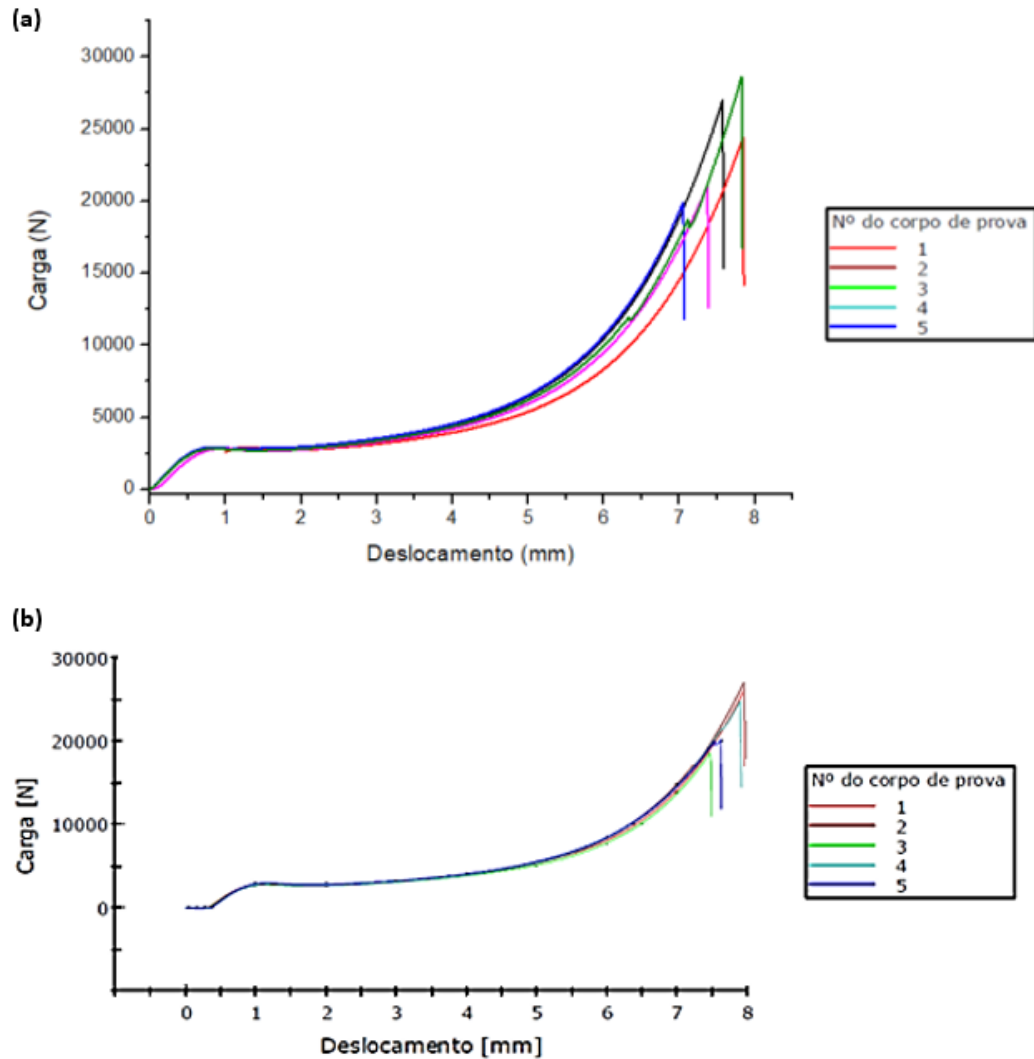
GPa indicando um decréscimo 16% comparando esses dois materiais. Para a tensão de ruptura encontrou-se $(48,00 \pm 3,19)$ MPa no material virgem e no material reciclado $(51,29 \pm 4,19)$ MPa indicando um aumento percentual de 7%. Já a deformação na ruptura no material virgem foi de $(196,30 \pm 29,36)$ % e o material reciclado apresentou o valor de $(24,96 \pm 5,59)$ % evidenciando um decréscimo expressivo de 87% nessa propriedade. A tensão de escoamento também foi avaliada e encontrado o valor de $(55,36 \pm 0,17)$ MPa para o material virgem e $(64,27 \pm 1,22)$ Mpa representando um aumento de 16%. Por fim, a deformação no escoamento no material virgem encontrado foi $(12,36 \pm 0,58)$ % e o material reciclado $(14,43 \pm 0,46)$ % indicando um aumento de 17%.

A redução do módulo de elasticidade observada quando se comparou o PC virgem com o PC reciclado evidenciou que durante o comportamento elástico do material houve uma redução na rigidez da matéria prima reciclada (PESSÔA, 2018). Com relação as propriedades no escoamento durante o teste de tração, observou-se um aumento tanto da deformação quanto na tensão comparando o PC virgem com o PC reciclado indicando que o material suportou maior tensão e também se deformou mais ao aplicar essa tensão se comparado ao PC virgem.

Apesar disso, vale ressaltar que essas variações de propriedades podem ser minimizadas em suas aplicações com ajustes de projetos ou aplicando o material reciclado onde a deformação plástica não seja alcançada e a variação da deformação elástica não seja prejudicial. Como se observa no estudo realizado por Giovanella (2018) a deformação na ruptura apresentou comportamento similar quando se compara o PC virgem ao PC reciclado. Nesse estudo, observa-se uma variação na tensão de ruptura no PC virgem e no PC reciclado de 147% e 16%.

Já os valores medidos no ensaio de compressão para a avaliação comparativa entre o PC virgem e o PC reciclado podem ser observados na Figura 15.

Figura 15 - Gráfico da carga em função da deformação obtido em ensaio de compressão.

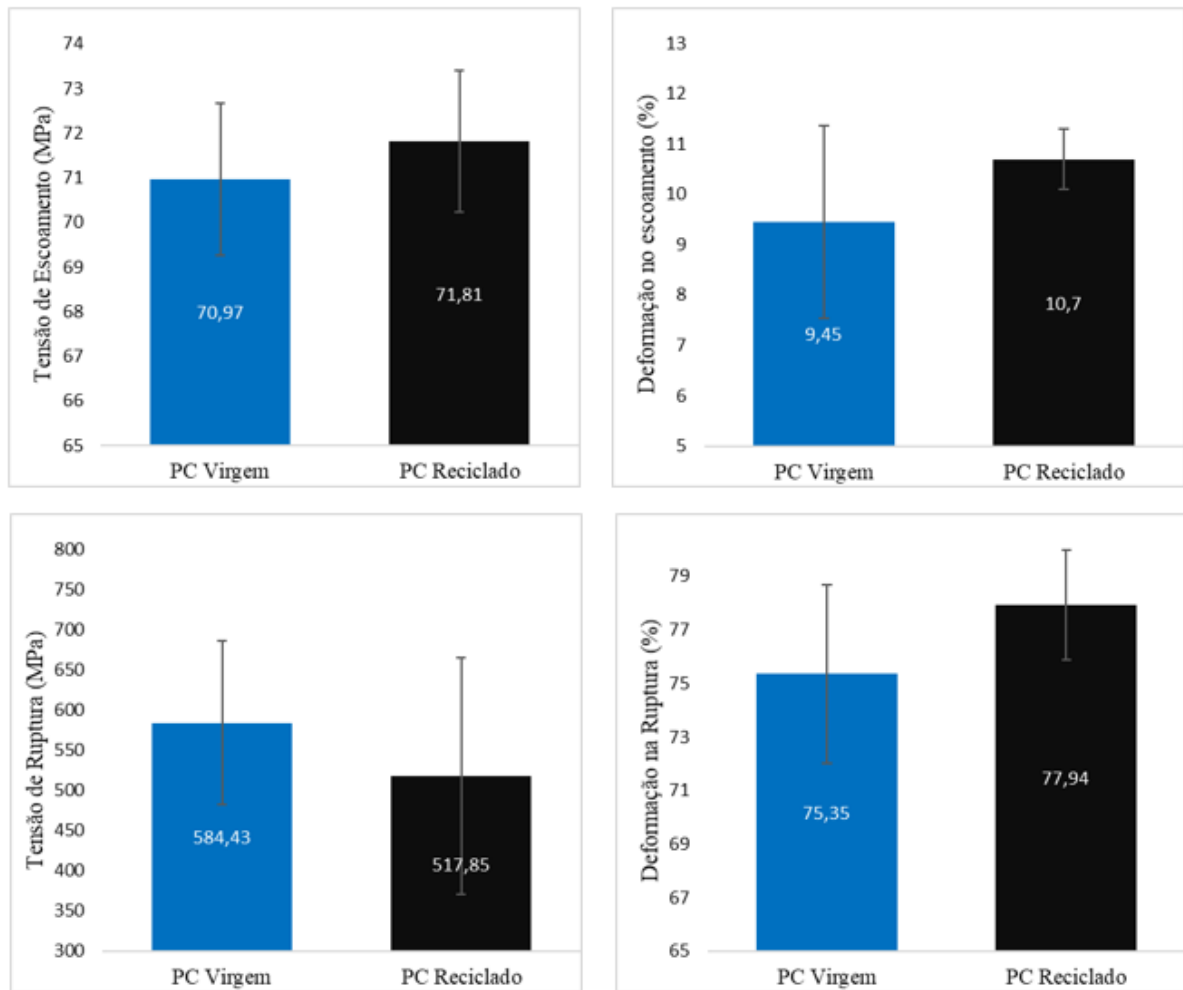


Fonte: Autoria própria.

Legenda: a) PC transparente b) PC transparente reciclado.

Com o ensaio de compressão foi possível determinar e comparar as propriedades de tensão de escoamento, deformação no escoamento, tensão de ruptura e deformação de ruptura do PC virgem e reciclado, conforme se observa na Figura 16.

Figura 16 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de compressão do PC virgem e reciclado.



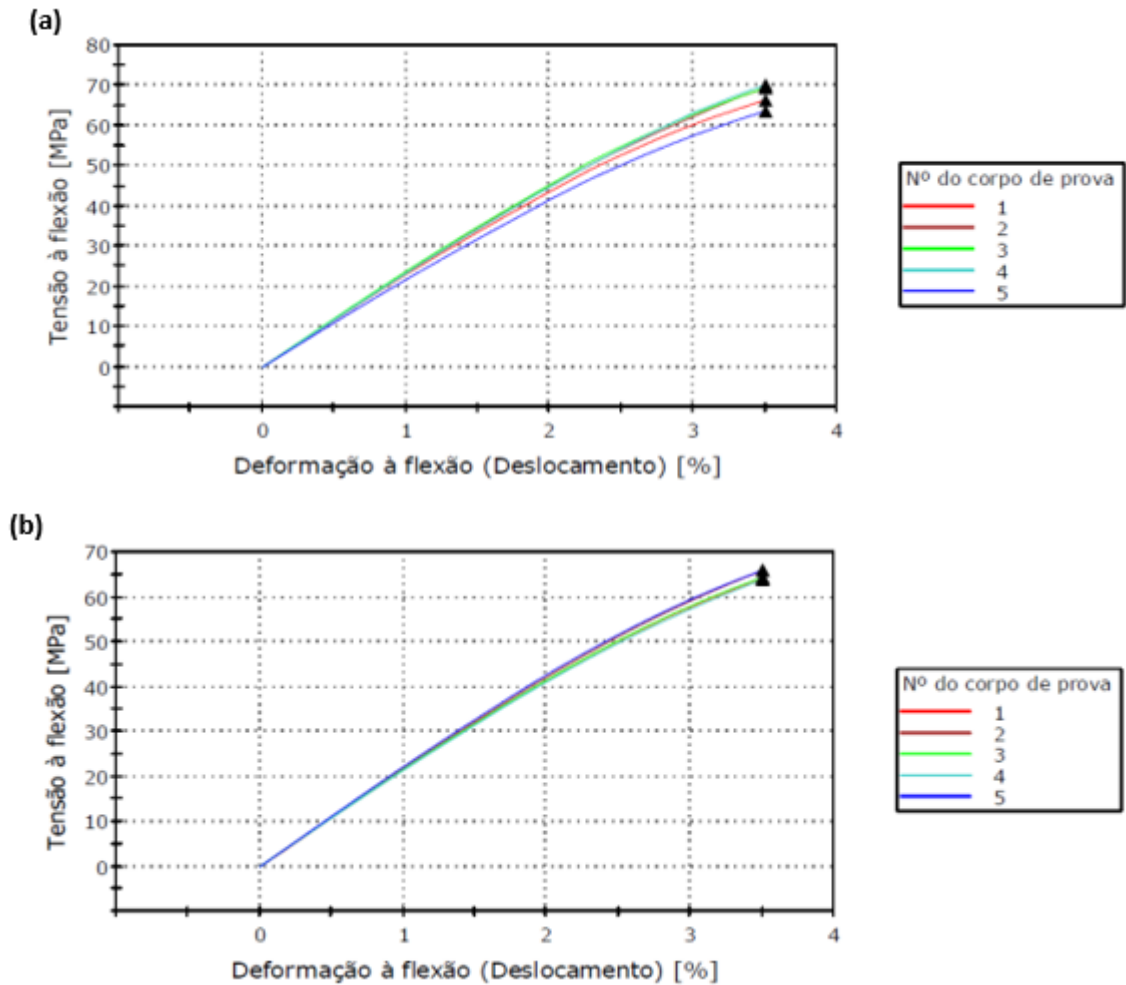
Fonte: Autoria própria.

No ensaio de compressão, foi possível se observar a propriedade de tensão de escoamento do material virgem de $(70,97 \pm 1,71)$ MPa em contra partida, o material reciclado apresentou o valor de $(71,81 \pm 1,59)$ MPa para essa mesma propriedade. A deformação de escoamento encontrada para o material virgem foi de $(9,45 \pm 1,92)$ % já o material reciclado encontrou-se o valor de $(10,70 \pm 0,60)$ %. O resultado da tensão de ruptura analisada no material virgem e no reciclado foi de $(584,43 \pm 101,90)$ MPa e $(517,85 \pm 146,87)$ MPa, respectivamente. Por fim, a deformação de ruptura encontrada para ambos casos foi de $(75,35 \pm 3,32)$ % no PC virgem e $(77,94 \pm 2,06)$ %.

Com relação as propriedades obtidas no teste de compressão, não foi possível observar variações significativa entre as propriedades analisadas, uma vez que os aumentos e decréscimos observados se encontra dentro dos desvios padrões.

No ensaio de flexão o ensaio foi realizado comparando as propriedades do PC virgem e reciclado e os valores obtidos podem ser observados na Figura 17.

Figura 17 - Gráfico da tensão à flexão em função da deformação obtido em ensaio de compressão.

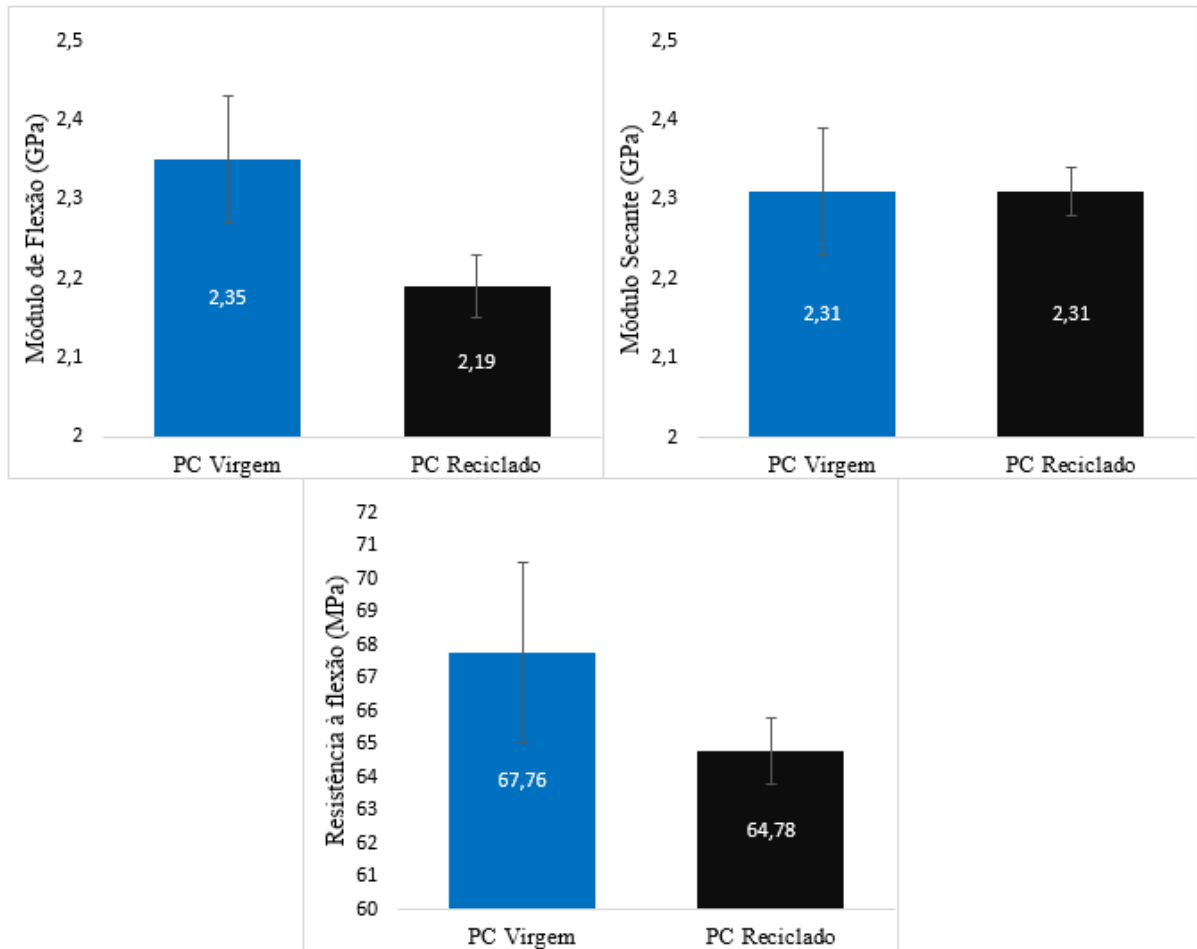


Fonte: Autoria própria.

Legenda: a) PC transparente b) PC transparente reciclado.

A partir dessas análises foi possível se determinar o módulo de flexão, módulo secante e resistência a flexão. O módulo secante é normalmente utilizado quando o comportamento da curva de tensão x deformação em flexão não é linear sendo assim, não é possível determinar o módulo de elasticidade (COSSOLINO, 2010). Os resultados obtidos podem ser observados conforme Figuras 17.

Figura 18 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de flexão do PC virgem e reciclado.



Fonte: Autoria própria.

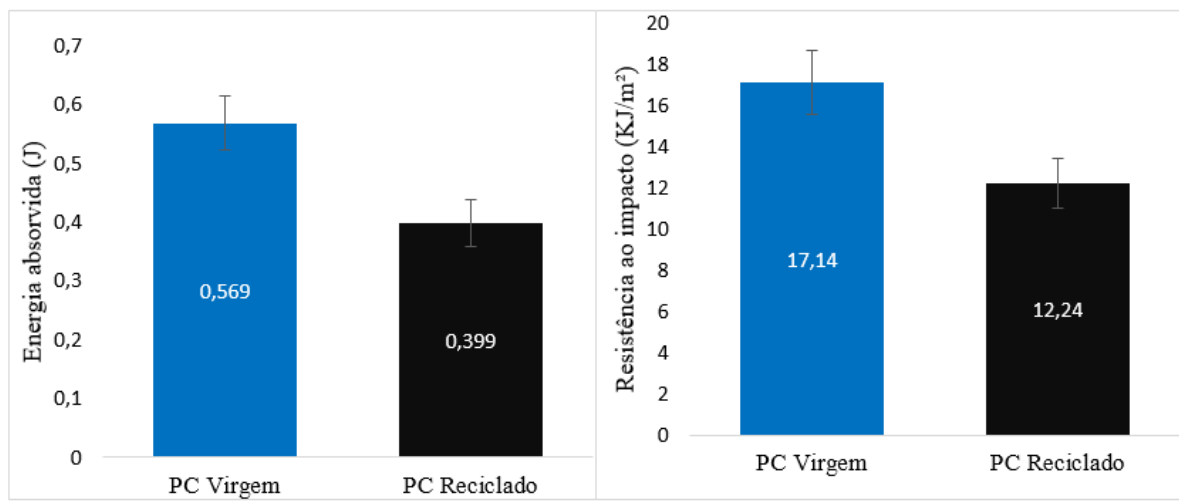
O módulo de flexão encontrado no PC virgem foi de $(2,35 \pm 0,08)$ GPa e $(2,19 \pm 0,04)$ GPa no PC Reciclado indicando uma redução de 7%. O módulo secante encontrado no PC reciclado e no PC virgem foi de $(2,31 \pm 0,08)$ GPa e $(2,17 \pm 0,03)$ GPa, respectivamente, indicando uma redução de 6%. Já a resistência a flexão encontrada nos materiais analisados foi de $(67,76 \pm 2,74)$ MPa para o material virgem e $(64,78 \pm 0,99)$ MPa para o material reciclado evidenciando uma redução de 4%.

O módulo secante e o módulo de flexão são equivalentes ao limite de escoamento no ensaio de tração. O módulo secante foi medido quando a deformação atingiu 1% indicando que com essa deformação o PC reciclado não apresentou variação nessa propriedade, mas ao considerar a curva do regime elástico como um todo (módulo de flexão) foi possível observar uma redução nessa propriedade quando se compara ao PC virgem. A resistência à flexão observada mostrou uma redução em 4% em suas propriedades e conforme Pessoa (2018) destaca, o

reprocessamento de material pode quebrar ligações covalentes das cadeias poliméricas acarretando na redução da massa molar e conseqüentemente nas suas propriedades.

As amostras de PC virgem e reciclado também foram submetidas à ensaio de impacto Izod, com esse ensaio foi possível determinar a energia absorvida pelo material polimérico e a resistência ao impacto, conforme pode se observar nas Figuras 19.

Figura 19 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de impacto Izod do PC virgem e reciclado.



Fonte: Autoria própria.

Para as propriedades de impacto, obteve-se o valor de energia absorvida de $(0,569 \pm 0,046)$ J para o material virgem e $(0,399 \pm 0,041)$ J para o material reciclado. Já a resistência ao impacto encontrado para o PC Virgem e para o PC Reciclado foi de $(17,14 \pm 1,55)$ J e $(12,24 \pm 1,21)$ J, respectivamente. Para o ensaio de impacto observou-se uma redução nas propriedades de energia absorvida e resistência ao impacto em 30% e 29%, respectivamente.

Segundo relata Dumont, a resistência ao impacto que se deseja observar em um PC deve superior a 12 KJ/m², para o teste realizado com o PC virgem observou-se que apesar da redução da resistência ao impacto do PC Reciclado, os valores ainda estão dentro do que se espera.

O PC virgem e o reciclado foram submetidos a ensaios térmicos de HDT e Vicat para a determinação da temperatura de deflexão térmica e de amolecimento Vicat como pode se observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de impacto Izod do PC reciclado.

Ensaio	Tipo de amostra	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	Média	Desvio Padrão
Ensaio de HDT	PC Virgem	136,0	135,8	136,7	136,2	0,39
	PC Reciclado	134,7	135,4	134,4	134,8	0,42
Temperatura de amolecimento Vicat	PC Virgem	141,3	141,5	141,8	141,5	0,21
	PC Reciclado	140,8	140,6	140,7	140,7	0,08

Fonte: Autoria própria.

As propriedades obtidas nos ensaios de HDT e temperatura de amolecimento Vicat não apresentaram grandes variações entre o PC virgem e o reciclado.

6 Conclusões

Por meio desse trabalho, foi possível avaliar as propriedades mecânicas de tração, flexão, compressão e impacto em amostras de PC virgem e o reciclado. Essas análises permitem compreender as variações de propriedades quando um material polimérico termoplástico é submetido a um reprocessamento.

Observou-se avaliando os resultados obtidos no ensaio mecânico de tração que houve variações em algumas propriedades quando se compara o PC virgem com o reciclado. Tal fato pode ser minimizado utilizando apenas um percentual de matéria prima reprocessada misturada ao material virgem para que possa se obter melhores propriedades mecânicas no processo de injeção. Apesar disso, houveram poucas variações nas demais propriedades mecânicas analisadas.

Dos ensaios térmicos realizados, em média as propriedades se mantiveram próximas entre o PC virgem e o reciclado. Dessa forma, pode-se inferir que a temperatura máxima na qual o material continuará desempenhando as suas propriedades de flexão e a temperatura de amolecimento do material se manterá mesmo após um novo ciclo de processo.

Com isso, foi possível se observar que apesar das variações principalmente nas propriedades mecânicas entre o PC virgem e reciclado o uso do material reprocessado ainda é interessante devido a redução dos impactos ambientais para a produção do polímero ou descarte no meio ambiente. Além disso, é possível se contornar as variações de propriedades realizando ajustes em projetos ou aplicando em produtos que não demande de alguma propriedade que apresentou grandes variações. Outra estratégia que pode ser considerada para minimizar os impactos dessas variações é a aplicação de um percentual da matéria prima reciclada junto com a matéria prima virgem, mas essa mistura deve ser avaliada para definição de valor ótimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D648-18**: Standard test method for deflection temperature of plastics under flexural load in the edgewise position. Switzerland, West Conshohocken, PA, 2018.
- CALLISTER JR, W. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução*. 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora, 2002.
- CAPELA, C. A. B. **Processamento de plásticos e materiais compósitos: comportamento mecânico de componentes em serviço**. 200f. Especialização em Engenharia, indústrias transformadoras e construção. Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2010.
- COSSOLINO, L.C; PEREIRA, A.H. Módulos Elásticos: Visão Geral e Métodos de Caracterização. Informativo Técnico Científico. 2010. Disponível em: <<http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/sonelastic/artigos/RT03-ATCP.pdf>>. Acesso em 21 de janeiro de 2022.
- DIAS, C. F., FARHAN, A., 2019. **Transformação – Plásticos de Engenharia – Policarbonato**. Plástico.com.br, 2019. Disponível em <<https://www.plastico.com.br/transformacao-plasticos-de-engenharia-policarbonato-parte-3/>>. Acesso em: 18 de novembro de 2021.
- DUMONT, J. M., 2007. *Techniques de l'ingénieur*, AM 3 381 1 – 10 de outubro de 2013. G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bemestar/noticia/2013/10/olhos-piratas-que-representam-41-das-vendas-atrasam-diagnostico.html>>. Acesso em 01 de Fevereiro de 2022.
- Giovanella, J., et al., **Reciclagem de materiais: estudo das propriedades mecânicas de policarbonato reciclado de discos compactos**. *Materia* (Rio de Janeiro), 2008. 13: p.643-649.
- HAMAD, K., KASEEM, M., DERI, F. **Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works**. *Polymer Degradation and Stability*. v. 98, n. 12, p. 2801–2812, 2013.
- INTERNATIONAL STANDARD. ISO 75-1: Plastics – Determination of temperature of deflection under load – Part 1: General test method. Suíça, 2013.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 306:2013: Plastics -- thermoplastic materials -- determination of vicat softening temperature (VST). Switzerland, 2013.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 178:2019 “Plastics — Determination of flexural properties”. Switzerland, 2019.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 178:2019 “Plastics — Determination of flexural properties”. Switzerland, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/TC 180:2000: Plastics – Determination of Izod impact strength. Switzerland, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 527-1:2019 - “Plastics – Determination of tensile properties - Part 1: General principle”. Switzerland, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 306:2013 – “Plastics -- Thermoplastic materials – Determination of Vicat softening temperature (VST)”. Switzerland, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 604:2017 “Plastics - Determination of compressive properties”. Switzerland, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 75:2020 – “Plastics — Determination of temperature of deflection under load”. Switzerland, 2020.

JAFELICE, D. A. **CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO E FIBRA DE COCO**. São Paulo 2013. 64f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013.

LACERDA, L. M., *et al.* **Avaliação dos impactos ambientais de um processo industrial utilizando como matéria-prima policarbonatos virgem e reciclado**. Eng Sanit Ambient. v.24, n.6. 2019.

MUTLUR, Suchitra. Thermal Analysis of Composites Using DSC. In: KESSLER, Michael R. (Org.). **Advanced Topics in Characterization of composites**. Canadá: TRAFFORD, 2004. cap. 2, p. 11-33.

MELO, N. S. **Comportamento mecânico do policarbonato exposto à radiação gama**. Rio de Janeiro 2004. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

NAGLIS, M.M.M; D'ALMEIDA, J.R.M. **Avaliação dos Modos de Falha sob Impacto de Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. p. 54-60.1998.

NEVES, J. C. **Multifuncionalidades em compósitos poliméricos de nanotubos de carbono de paredes múltiplas em matriz epóxi**. 2017. 80f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

Oil consumption. British Plastics Federation, 2021. Disponível em: <http://www.bpf.co.uk/Oil_Consumption.aspx>. Acesso em: 15 de novembro de 2021.

PESSÔA, V. A. F. **Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos**. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

PIRES, P. G. P. **ADIÇÃO DE RESÍDUO TERMOFIXO EM MATRIZ DE POLIPROPILENO RECICLADO: ANÁLISE DE PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS**. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Sorocaba, 2017.

Kiam, Thyago M. e Pereira, Nilson C. Estudo de caso de peça moldada pelo processo de injeção-compressão para termoplásticos utilizando análise computacional. *Polímeros* [online]. 2007, v. 17, n. 1, pp. 16-22, Mar, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000100007>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SCOPEL, Tiago. **Avaliação dos parâmetros que influenciam nas alterações dimensionais e nas tensões residuais do polipropileno moldado por injeção**. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

SILVIO, M. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo, Ed Artliber, 2005.

SOAVE, C. **Projeto, simulação e análise de desempenho de coletores solares poliméricos**. 2014. 110f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

ULLOA, M. E. P. **Estudo do efeito da radiação ionizante em compósitos de polipropileno/pó de madeira usando titanato de bário como agente de acoplagem**. 2007. 132f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

WANG, C., WANG, H., FU, J., & LIU, Y. 2015. **Flotation separation of waste plastics for recycling — A review**. *Waste Management*, 41, 28–38. doi:10.1016/j.wasman.2015.03.027.