

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Caio Henrique do Ó Pereira

MISTURAS DE PP/RESÍDUOS DE TECIDO DE BIG BAG

Campina Grande – PB

2018

Caio Henrique do Ó Pereira

MISTURAS DE PP/RESÍDUOS DE TECIDO DE BIG BAG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais**.

Orientadoras: Prof.^a Dr.^a Edcleide Maria Araújo

Prof.^a Dr.^a Renate Maria Ramos Wellen

Agência Financiadora: CAPES

Campina Grande – PB

2018

P436m Pereira, Caio Henrique do Ó.
Misturas de PP/Resíduos de tecido de big bag / Caio Henrique do Ó
Pereira. - Campina Grande-PB, 2018.
56 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Edcleide Maria Araújo, Profa. Dra. Renate
Maria Ramos Wellen".

Referências.

1. Polipropileno. 2. Misturas. 3. Resíduo de Tecido de Big Bag. I.
Araújo, Edcleide Maria. II. Wellen, Renate Maria Ramos. III. Título.

CDU 678.742.3(043)

CAIO HENRIQUE DO Ó PEREIRA

MISTURAS DE PP/RESÍDUO DE TECIDO DE BIG BAG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais**.

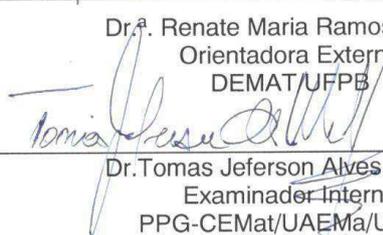
Aprovado em: 03/08/2018



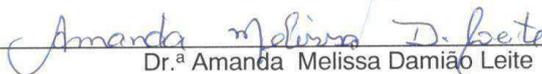
Dr.^a Edcleide Maria Araújo
Orientadora
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



Dr.^a Renate Maria Ramos Wellen
Orientadora Externa
DEMAT/UFPB



Dr. Tomas Jeferson Alves de Melo
Examinador Interno
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



Dr.^a Amanda Melissa Damiano Leite
Examinadora Externa
ECT/UFRN

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois, se não fosse sua vontade, nada disso se tornaria realidade.

Aos meus pais, Ubiratan e Sandra, pela educação que me foi dada e por me apoiarem sempre, mostrando o melhor caminho para tomar minhas decisões.

Aos meus irmãos, Hailton e Gabriel, pelo carinho e companheirismo.

A todos da minha família, que de uma forma ou de outra contribuíram para o meu crescimento.

Às minhas orientadoras, Profa. Edcleide e Profa. Renate, pela paciência que tiveram comigo, pelos ensinamentos e apoio em todo o decorrer do trabalho.

À Profa. Amanda, que me ensinou muito sobre a área acadêmica, e ao Prof. Tomás, por ter-se mostrado sempre disposto em me ajudar nesta pesquisa.

Aos colegas e amigos de Laboratório (Eduardo, Rodolfo, Elieber, Dayanne, Danilo, Bruno, Vanessa) que foram fundamentais na execução de todo o trabalho.

A todos os professores do PPG-CEMat pelos grandes ensinamentos.

Aos funcionários da UAEMA/UFCEG pela cooperação na execução das atividades deste trabalho.

RESUMO

Atualmente, cada vez mais está sendo necessário um estudo para o desenvolvimento de novos produtos derivados de seus resíduos, com a incorporação de materiais poliméricos após o seu uso, a fim de se minimizar o emprego de matéria prima virgem, reduzindo custos, bem como o descarte de materiais nobres. Dentro dessas linhas de produtos, têm-se as embalagens de rafia, e como derivados os big bags (contentores flexíveis), utilizados para o embalamento de diversos produtos da economia mundial e possuem o polipropileno (PP) como principal matéria prima de fabricação. Estes foram misturados em uma extrusora dupla rosca, com diferentes percentuais de resíduo de tecido de big bag (10, 30 e 50%) e em dois tipos de matrizes de polipropileno com diferentes índices de fluidez, PP H103 e PP H503. A análise térmica por DSC e TG foi realizada nas matérias primas e nas misturas. Por DSC, as duas matrizes estudadas e as misturas com o resíduo apresentaram temperaturas de fusão e de cristalização próximas, onde as propriedades térmicas não foram alteradas significativamente. Por TG foi observada maior estabilidade térmica para as blendas com PP H103. A resistência ao impacto das misturas se manteve próxima aos seus respectivos tipos de PP, sendo valores superiores para as blendas com o PP H503. A resistência à tração não foi alterada com a variação do tipo de PP e nem com a quantidade do resíduo de tecido de big bag incorporado. Já o módulo de elasticidade aumentou com a presença do resíduo, implicando no aumento da sua rigidez. Para o PP H503, o alongamento à ruptura diminuiu à medida que se aumentou o teor de resíduo, comparado ao polímero puro. Para o PP H103, o alongamento aumentou com a incorporação do resíduo, sendo inferior ao PP H503. Por HDT foi verificado que o PP H103 e suas blendas mantiveram a mesma faixa de temperatura de deflexão térmica de 93°C. Já para o PP H503, houve um certo aumento na HDT, mostrando um caráter mais rígido comparado ao polímero puro. Por MEV foi observado que tanto as misturas com PP H103 e PP H503 como os polímeros puros apresentaram, de forma semelhante, comportamento de fratura dúctil.

Palavras-chave: Polipropileno. Misturas. Resíduo de tecido de Big Bag.

ABSTRACT

Nowadays, a study is needed for the development of new products derived from its residues, with the incorporation of polymeric materials after its use, in order to minimize the use of virgin raw material, reducing costs, as well as disposal of noble materials. Within these product lines are raffia packaging, and as derivatives the big bags (flexible containers), used to accommodate various products of the world economy and have polypropylene (PP) as the main raw material for manufacturing. In this work, different percentages of residues from big bags (10, 30 and 50%) were extruded with two types of PP as matrix, presenting different melt flow rates, i.e., PP H103 and PP H503. The mixtures were thermally characterized by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetry (TG). By DSC, the two PPs and blends (PP + residue) showed near melting and crystallization temperatures; in general the thermal properties were not significantly altered. By TG, higher thermal stability was observed for blends with PP H103. The impact strength of the blends remained close to their respective neat PPs, being higher reached values for the blends with PP H503. The tensile strength did not change, neither with PP nor with the amount of added big bag tissue residue. Elastic modulus increased with addition of the residue, implying an increase in the blends stiffness. For PP H503, the elongation at break decreased as the recycled content was increased compared to the neat polymer. For PP H103, the elongation increased with the residue incorporation but being lower than PP H503. By heat deflection temperature (HDT) it was verified that PP H103 and its blends maintained the same HDT range of 93°C. For PP H503 there was a subtle increase in HDT, showing a more rigid character compared to the neat polymer. By Scanning Electron Microscopy (SEM), it was observed that both blends, i.e., with PP H103 and PP H503, presented ductile fracture, as well as their respective neat polymers.

Keywords: Polypropylene. Mixtures. Big Bag Tissue Residue.

PUBLICAÇÕES

PEREIRA, C. H.; FERREIRA, E.S.B.; BEZERRA, E.B.; ARAÚJO, E.M.; WELLEN, R.R. Influência da incorporação de resíduos de tecido de big bag nas propriedades mecânicas do polipropileno. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, vol. 13, nº 1, 2018.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidade de repetição do polipropileno (PP) (Correa, 2015).....	9
Figura 2 - Configuração molecular do PP, (a) PP Isotático, (b) PP Atático (c) PP Sindiotático (Callister JR, 2007).	9
Figura 3 – Modelo de tear para fabricação de tecido de big bag.....	12
Figura 4 – Tecido de Big Bag bobinado e o produto acabado.	12
Figura 5 - Representação da morfologia de blendas poliméricas a) miscível, b) parcialmente miscível e c) imiscível (Pittol, 2016).	13
Figura 6 – Resíduos de tecido de big bag antes de ser processado.....	19
Figura 7 – Homogeneizador com a câmara fechada e aberta.	20
Figura 8 – Fluxograma das etapas de processo.	22
Figura 9 – Curvas DSC para o aquecimento do PP H103, PP H503 e tecido de big bag, a uma taxa de 10°C/min.....	27
Figura 10 – Curvas DSC para o resfriamento do PP H103, PP H503 e tecido de big bag.	29
Figura 11 – Curvas TG do PP H103, PP H503 e do tecido de big bag.	30
Figura 12 - Curvas DSC para o aquecimento do PP H103 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.....	31
Figura 13 - Curvas DSC para o resfriamento do PP H103 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.....	33
Figura 14 - Curvas DSC para o aquecimento do PP H503 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.....	34
Figura 15 - Curvas DSC para o resfriamento do PP H503 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.....	35
Figura 16 - Curvas TG do PP H103 puro e de suas blendas.	36
Figura 17 - Curvas TG do PP H503 puro e de suas blendas.	37

Figura 18 – Resistência ao Impacto do PP H103, PP H03 puros e de suas blendas.	38
Figura 19 – Resistência à tração do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas. .	41
Figura 20 – Módulo de elasticidade do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas.	42
Figura 21 – Alongamento na ruptura do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas.	43
Figura 22 – Temperatura de Deflexão Térmica do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas.....	44
Figura 23 - Fotomicrografias de MEV do (a) PP H103 puro e de suas blendas com teores de (b) 10%, (c) 30% e (d) 50% de resíduos de tecido de big bag.	46
Figura 24 – Fotomicrografias de MEV do (a) PP H503 puro e de suas blendas com teores de (b) 10%, (c) 30% e (d) 50% de resíduos de tecido de big bag.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da Mistura, PPv e PPv/BB.	21
Tabela 2 – Parâmetros de processamento utilizados para extrusão do PP virgem e resíduo.	21
Tabela 3 – Análise química por fluorescência de raios-x do resíduo de tecido de big bag.	26
Tabela 4 – Parâmetros de fusão e cristalinidade do PP H103, PP H503 e tecido de big bag.	28
Tabela 5 – Parâmetros de fusão e de cristalinidade do PP H103 e de suas blendas.	32
Tabela 6 – Parâmetros de fusão e de cristalinidade do PP H503 e de suas blendas.	34
Tabela 8 – Valores médios das amostras submetidas a ensaio de tração para o PP H103 e de suas blendas.	40
Tabela 9 – Valores médios das amostras submetidas a ensaio de tração para o PP H503 e de suas blendas.	40

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BB – Resíduo de Tecido de Big Bag

DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial

HDT – Temperatura de Deflexão Térmica

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

PE - Polietileno

PP – Polipropileno

PET – Poli (tereftalato de etileno)

TG - Termogravimetria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Polipropileno	8
2.2 Tecido de Big Bag	11
2.3 Blendas Poliméricas	13
2.4 Sustentabilidade	14
2.5 Reciclagem de Polímeros	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Materiais	19
3.1.1 Polipropileno Virgem (PP_v)	19
3.1.2 Resíduos de tecido de Big Bag (BB)	19
3.2 Metodologia	20
3.2.1 Preparação das amostras	20
3.2.2 Caracterizações	22
3.2.2.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	22
3.2.2.2 Análise Termogravimétrica (TG)	22
3.2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	23
3.2.2.4 Ensaio de Resistência Mecânica sob Tração	23
3.2.2.5 Ensaio de Resistência ao Impacto	23
3.2.2.6 Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)	23
3.2.2.7 Calcinação	24
3.2.2.8 Fluorescência de Raios X	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Caracterização das matérias primas	25

4.1.1 Fluorescência de Raios-X (FRX)	25
4.1.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	26
4.1.3 Termogravimetria (TG).....	29
4.2 Análises dos corpos de prova	31
4.2.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	31
4.2.2 Termogravimetria (TG).....	35
4.2.3 Ensaio de Resistência ao Impacto.....	38
4.2.4 Ensaio de Resistência Mecânica sob Tração	39
4.2.5 Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)	44
4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	45
5 CONCLUSÕES	48
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

O surgimento dos plásticos está relacionado com a crescente necessidade de novos materiais com maior durabilidade e multifuncionalidade em função de suas propriedades, versatilidade e preço. Percebe-se que, atualmente, os plásticos fazem parte do nosso cotidiano, mais do que imaginamos, onde estão presentes nas fibras têxteis sintéticas, nas embalagens em geral, na construção civil, nos utensílios domésticos, nos aparelhos eletrônicos, nos carros, na medicina, entre muitos outros segmentos. Ultimamente, o uso indiscriminado vem preocupando a sociedade, por um lado são de grande importância e aplicabilidade, mas por outro, representam grandes problemas quando descartados indevidamente no meio ambiente e conseqüentemente, o polipropileno (PP), o polietileno (PE), o poli (tereftalato de etileno) (PET), entre tantos outros, tornam-se um material nocivo ao sistema ecológico (Faria, Wisbeck e Dias, 2015).

Com a globalização e o crescimento populacional, há uma necessidade de se estudar o desenvolvimento de novos produtos a partir dos resíduos com a inserção de materiais poliméricos pós-consumo, visando minimizar o emprego da matéria-prima polimérica virgem, reduzindo os custos e o descarte de materiais nobres (Batistelle *et al.*, 2014). Além de que o aumento do custo das resinas plásticas, pressionado pelas constantes flutuações do preço do petróleo no mercado internacional também tem estimulado as pesquisas em reciclagem de polímeros. (Fernandes e Domingues, 2007).

Existem diversos produtos são utilizados materiais reciclados em sua composição, de acordo com as normas apontadas pelos órgãos competentes, como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Obedecendo a legislação, muitas empresas desenvolvem linhas de produtos com apelo ecológico e optam por utilizar materiais pós consumo (ABIPLAST, 2016).

Dentro das linhas de produtos pós consumo, tem-se as embalagens de rafia que são utilizadas para o embalamento de diversos produtos da economia

mundial, nos vários setores da cadeia produtiva, proporcionando a segurança e garantindo a integridade dos produtos. Seu principal atrativo está no fato de seu reuso, ou seja, após o seu uso a embalagem não gera lixo, é reaproveitada para outros fins, como por exemplo: ensacar sementes para armazéns, embalar fertilizantes, ensacar insumos, minérios, entre outras aplicações, até ser descartado ao ser atingido seu limite de reuso. Sua principal característica é a resistência e durabilidade comparada a outras embalagens. Embalagens de rafia utilizam como matéria-prima principal o PP, resina que teve a sua introdução no mercado em 1954, tornando-se uma das mais importantes resinas termoplásticas da atualidade, sendo um dos termoplásticos mais vendidos no mundo (Holzschuh, 2009).

Mesmo com sua vasta utilidade, os materiais poliméricos tradicionais apresentam características, entretanto de forma negativa, sua baixa capacidade de degradação, ou seja, a dificuldade de decomposição após o descarte, a qual, junto com a baixa densidade, o alto consumo e o descarte diário, acaba gerando altos volumes de resíduos que se acumulam por longos períodos e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de vida útil dos aterros sanitários, onde 80 % em volume dos resíduos sólidos são constituídos por polímeros termoplásticos. Dentre estes, o PP representa 10% (Rodrigues, 2011).

Desde que os plásticos conquistaram o mercado de embalagens, sua fração nos resíduos sólidos urbanos se tornou significativa. Preocupados com o incremento exponencial deste resíduo ao longo do tempo, visto sua baixa biodegradabilidade, iniciaram-se vários estudos visando seu reaproveitamento.

O desenvolvimento de pesquisas sobre plástico reciclado tem permitido detectar características de inovação bastante surpreendentes, associadas às vantagens bem conhecidas da recuperação do material reciclado, através da obtenção de blendas poliméricas.

As blendas poliméricas são misturas de dois ou mais polímeros com propriedades diferentes combinados por processos físicos ou mecânicos para a obtenção de um novo material que apresenta propriedades diversas dos polímeros que o originaram, sem que haja um elevado grau de reação química entre eles. Sendo assim, os componentes da blenda podem ser termodinamicamente miscíveis ou não, onde essa é uma das características

mais importantes no estudo da obtenção das misturas (Rocetto, Zeni e Brandalise, 2016).

Tendo em vista todos esses fatores, este trabalho teve como intuito fazer reutilizar os resíduos de tecidos de big bags, proveniente de uma indústria de big bag situada na cidade de Campina Grande – PB, incorporando-os, em diferentes percentuais, numa matriz polimérica de PP virgem, a fim de que se torne viável tal reaproveitamento, em reduzir o custo de matéria-prima virgem, além de contribuir para a sustentabilidade. Neste intuito, serão realizadas análises das propriedades térmicas, mecânicas e termomecânicas e, a morfologia dos materiais obtidos, a fim de verificar se estas propriedades apresentam melhorias ou até mesmo se elas se mantêm próximas às do PP virgem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polipropileno

O polipropileno (PP) é um polímero semicristalino muito utilizado numa grande variedade de aplicações industriais devido ao fato de sua facilidade de processamento, baixa densidade, resistência química e também pelo seu baixo custo (Mcnally *et al.*, 2002). Além de que pode ser combinado com altos teores de cargas, reforço e outros materiais poliméricos. Com isso, houve um crescimento de produtos à base de polipropileno, o qual representa um importante papel na indústria de plástico (Moore, 1996).

Segundo Masson e McCrum, citados por Damin *et al.* (2016), o polipropileno (PP) é um polímero comercialmente encontrado com uma grande variedade de massa molar, polidispersão e cristalinidade. A obtenção da morfologia final está de acordo com a temperatura de fusão, orientação do polímero e das taxas de aquecimento e resfriamento. Como também, as propriedades mecânicas do PP no produto final são funções tanto da estrutura molecular, quanto das condições de processamento.

O polímero é produzido através da polimerização do monômero propeno, utilizando-se um catalisador estereoespecífico, e assim, formando macromoléculas de PP contendo milhares de unidades monoméricas. O termo estereoespecífico do catalisador se refere à característica de controlar a posição do grupo metila na cadeia polimérica de forma ordenada. O propeno, nome oficial pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), também chamado propileno, é um hidrocarboneto insaturado (alceno) de fórmula C_3H_6 , apresentando-se normalmente como um gás incolor e altamente inflamável, sendo ele produzido durante o craqueamento do petróleo e na gaseificação do carvão, a qual é uma das maiores fontes de matérias-primas da indústria petroquímica (Mendes *et al.*, 2007). Na Figura 1 está apresentada a unidade de repetição (mero) do polipropileno.

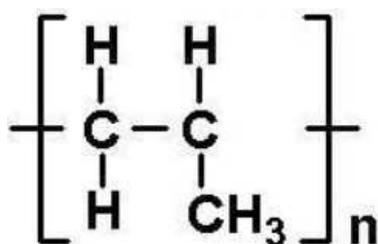


Figura 1 – Unidade de repetição do polipropileno (PP) (Correa, 2015).

De acordo com Fernandes (2013), dependendo do tipo de catalisador utilizado e o método de polimerização, o PP pode ser apresentado de três estruturas diferentes (Figura 2), onde o arranjo do radical metil (CH₃) ligado ao átomo de carbono diferem essas estruturas, como:

- Atático: radical aparece de forma aleatória na cadeia;
- Isotático: grande maioria dos radicais aparecem no mesmo lado da cadeia (PP comercial);
- Sindiotático: radical aparece em lados alternados da cadeia.

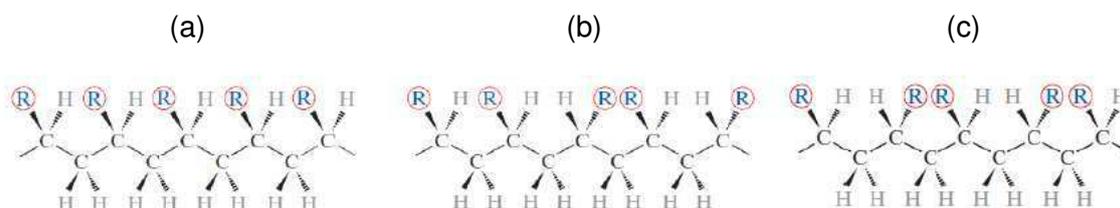


Figura 2 - Configuração molecular do PP, (a) PP Isotático, (b) PP Atático (c) PP Sindiotático (Callister JR, 2007).

Devido à cristalinidade ser entre 60 a 70%, o mesmo apresenta elevada resistência mecânica, dureza e rigidez, as quais não se alteram mesmo com temperaturas relativamente altas (Correa, 2015).

O PP, é o terceiro termoplástico mais consumido no mundo, o qual representa vendas de US\$ 11 bilhões, totalizando em torno de 1,646 milhão de toneladas de produção em 2013, isto de acordo com a Associação Brasileira da

Industria Química (ABIQUIM 2013), porém, no Brasil, desde 2010 o PP é produzido por uma única empresa, a Braskem.

Sendo considerado um *commodity*, o PP apresenta propriedades, as quais são variadas de acordo com sua massa molar e a distribuição das mesmas, além do tipo de configuração ou o arranjo dos monômeros na cadeia polimérica. Por ser um termoplástico, este polímero viabiliza o processamento mecânico, gerando oportunidades na área de reciclagem de resíduos industriais e subprodutos (Souza, 2015).

Algumas limitações do PP são sua resistência ao impacto e seu comportamento em fratura. Outra característica é que ocorre uma mudança no comportamento de fratura frágil para dúctil quando é testado na faixa de temperatura entre -40°C e 60°C , isto ocorre porque o PP se torna muito frágil quando está na temperatura abaixo de sua T_g (Wal, Mulder e Gaymans, 1998). Apesar disso, é o polímero ideal na busca de redução da quantidade de material virgem para sua composição e amplamente reciclável (Moore, 1996).

O polipropileno apresenta baixa resistência à luz UV, sofrendo degradação com facilidade quando exposto a esse tipo de fonte de radiação. Tendo em vista isso, são comumente empregados no polipropileno aditivos anti-UV, principalmente quando ele é empregado em aplicações externas e está exposto à radiação solar. Como também este material possui baixa resistência a agentes oxidantes, são empregados na formulação do polipropileno industrial aditivos anti-oxidantes (Mano e Mendes, 1999).

O polipropileno tem, em sua maioria, produtos que são processados por moldagem por injeção, sopro ou extrusão. O PP é disponível em chapas, tarugos e tubos, como também em frascos e filmes em várias dimensões para beneficiamento e aplicação em diversos segmentos industriais (Stuedner, Wiebeck e Clemesha, 2004; Miguel, 2010). Utiliza-se o PP também na aplicação de embalagem, tais como recipientes farmacêuticos, médicos e cosméticos moldados a sopro (Miguel, 2010). Além disso, são aplicados em peças de automóveis, aparelhos domésticos e elétricos, como carcaças de bateria, de lanterna, rotores de ventoinha, pás de ventiladores, capas protetoras de cabos elétricos, jogos magnéticos de TV, carretéis de bobinas, cartuchos para fusíveis,

como isoladores, entre outros (Steudner, Wiebeck e Clemesha, 2004; Hora, 2009).

2.2 Tecido de Big Bag

A indústria de rafia é pertencente ao grupo da terceira geração da cadeia produtiva do setor petroquímico. A primeira é formada pelas centrais de matérias-primas, a segunda é composta pelos produtores de resinas e a terceira geração são as indústrias de transformação que dão forma final ao polímero. A indústria de rafia utiliza como matéria-prima principal o polipropileno, resina que teve a sua introdução no mercado em 1954 e acabou se tornando uma das mais importantes resinas termoplásticas da atualidade (Holzschuh *et al.*, 2008).

O processo de produção da rafia em extrusoras planas tem como uma das suas principais características a obtenção de rafias com melhores propriedades mecânicas devido a etapa de estiragem associada no processamento. Esta estiragem é dada através de diferenças de velocidades periféricas entre grupos de cilindros colocados em sequência e que assim, promovem a distensão da rafia, tendo como consequência a diminuição de sua largura. Este processo é necessário, não apenas para a definição da largura final calculada, mas também para atingir as propriedades físicas necessárias ao bom desempenho do produto final a que se destina. As principais propriedades físicas desejadas para a rafia são a resistência à tração e o alongamento das mesmas, os quais podem variar em decorrência do grau de estiragem a que ela é submetida, após o processo de extrusão (Lobo, Vianna e Azevedo, 2016).

A embalagem de rafia, como também os tecidos de big bags, é constituída por diversas fitas de rafia com largura entre 2mm a 6mm. O processo de fabricação se inicia com o processamento do polipropileno numa extrusora, obtendo os monofilamentos, onde os quais são orientados, tracionados com velocidade controlada e em seguida enrolados em tubetes para, posteriormente, serem formados os tecidos nos teares. Este processo pode ser observado na Figura 3.



Figura 3 – Modelo de tear para fabricação de tecido de big bag.

Nos teares, a fita de urdume (filamentos dispostos na direção vertical) é disposta em um suporte “gaiola” e transpassada em diversas passagens no tear para compor o tecido. A fita de trama (filamentos dispostos na direção horizontal) é colocada em lançadeiras dentro do painel do tear, onde as lançadeiras formam o tecido tubular contínuo, o qual segue pela torre para ser enrolado na bobina pelo bobinador (Holzschuh *et al.*, 2008).



Figura 4 – Tecido de Big Bag bobinado e o produto acabado.

Após esta fase, já estruturado e denominado como tecido tubular (Figura 4), para o corpo do big bag ou da sacaria, ou como tecido plano, para confecção de tampas, fundos de big bags, o material passa para o setor de acabamento, onde é cortado, impresso, costurado e feito acabamento, para assim seguir destino ao cliente final como embalagem.

2.3 Blendas Poliméricas

Blendas poliméricas são misturas de dois ou mais polímeros, sem que haja uma ligação química tradicional, no entanto é observada uma interação intermolecular entre as macromoléculas de cada componente. Elas se apresentam como uma alternativa no desenvolvimento de polímeros, podendo atuar como plásticos de engenharia com importantes e diversas aplicações comerciais (Utracki, Walsh e Weiss, 1989).

As propriedades das blendas poliméricas são determinadas pela morfologia (tamanho, forma e distribuição) dos componentes da blenda. A morfologia da mistura depende da composição, das propriedades interfaciais, das condições de processamento e das propriedades reológicas dos componentes (De Boer *et al.*, 1999).

A mistura de diferentes tipos de polímeros produz blendas poliméricas miscíveis, parcialmente miscíveis ou imiscíveis (Figura 5). A miscibilidade relaciona-se com a capacidade de dois ou mais componentes se misturarem em nível molecular, resultando numa mistura homogênea. Uma forma simples de verificação da miscibilidade pode ser feita através do número e posição das T_g 's do material. A T_g de um polímero é a temperatura na qual a amostra passa de um estado vítreo para uma estrutura em que as cadeias têm maior mobilidade (Mothe e Azevedo, 2002).

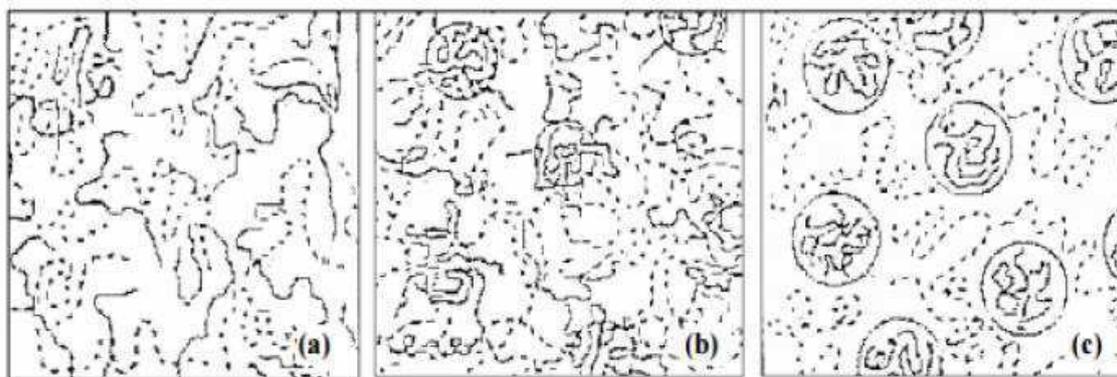


Figura 5 - Representação da morfologia de blendas poliméricas a) miscível, b) parcialmente miscível e c) imiscível (Pittol, 2016).

As blendas miscíveis é quando as cadeias de cada componente polimérico se misturam intimamente resultando em uma mistura homogênea em escala molecular, o grau de interação entre as fases existentes determina direta ou indiretamente o comportamento do material desenvolvido (Passador e Pessan, 2006). Esta blenda, apresenta uma única fase, com características dependentes da composição e fatores externos, como por exemplo a pressão e a temperatura, onde nelas as propriedades finais representam uma média das propriedades de ambos os componentes das blendas (Quental *et al.*, 2010).

A blenda polimérica imiscível pode apresentar diferentes tipos de morfologia de fases, podendo ser uma fase dispersa numa matriz contínua ou ambas as fases simultaneamente contínuas, a qual é conhecida como morfologia co-contínua (Passador e Pessan, 2006). Nas blendas a imiscibilidade leva à baixa adesão interfacial, sendo necessária a compatibilização, onde geralmente se faz com o uso de aditivos, modificações químicas ou a partir de misturas reativas (Munaro, 2007).

2.4 Sustentabilidade

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre as mudanças climáticas diante da crise social e ambiental, por meio das quais o mundo passava a partir da segunda metade do século XX. Em 1987, na Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), conhecida como Comissão de Brundtland (referência ao nome da presidente desta comissão), em preparação à Conferência das Nações Unidas, a “Rio 92”, foi escrito o relatório “Nosso Futuro Comum”. Esse relatório contém informações obtidas pela comissão ao longo de três anos de pesquisa e análise, destacando-se as questões sociais referentes ao uso da terra, sua ocupação, suprimento de água, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários, além de administração do crescimento urbano.

No relatório de Brundtland foi elaborada uma das definições mais difundidas do conceito de desenvolvimento sustentável: “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de atenderem suas próprias

necessidades”. Esse conceito foi firmado na Agenda 21, documento final da Conferência “Rio 92”, e incorporado em outras agendas mundiais de desenvolvimento e de direitos humanos (Pereira, 2016).

A importância do relatório “Nosso Futuro Comum” foi de chamar a atenção do mundo sobre a necessidade de se buscar maneiras de desenvolvimento econômico que se sustentem, sem a dramática redução dos recursos naturais nem com danos ao meio ambiente. Foram definidas três metas a serem cumpridas: desenvolvimento econômico, proteção ambiental e equidade social, sendo indispensáveis mudanças tecnológicas e sociais para o cumprimento destas (Barbosa, 2008; Gonçalves, 2005).

A questão ambiental tornou-se um dos grandes desafios a serem enfrentados pelas sociedades atuais que durante muito tempo, ou ignoraram ou “não desprenderam atenção suficiente às externalidades da atividade econômica danosas ao meio ambiente e, como consequência, vem enfrentando seus possíveis efeitos” (Irfi, 2011, p. 17). Entretanto, na atualidade, com uma maior consciência da necessidade de políticas ambientais alinhadas com o desenvolvimento e crescimento econômico, as sociedades buscam formas de neutralização dos impactos e harmonização entre as dimensões social, econômica e ambiental.

A sustentabilidade é uma característica de um sistema que permite a continuidade de suas atividades e do seu entorno por um período. O termo sustentabilidade não se refere apenas às preocupações ambientais, mas a todos os aspectos que se relacionam com o homem, como as questões econômicas, energéticas, sociais e culturais. Assim, ela também pode ser considerada a capacidade de interação do ser humano com o mundo (Correa e Heemann, 2016).

Para contribuir positivamente com a sustentabilidade, as embalagens devem ser fabricadas a partir de materiais oriundos de fontes ambientalmente corretas, com tecnologias limpas de produção, recuperáveis após a utilização, além de serem fabricadas, transportadas e recicladas utilizando energia renovável. A sustentabilidade de um produto/embalagem também depende do consumidor, uma vez que se não for corretamente utilizado ou descartado, a sua sustentabilidade é inexistente (Landim *et al.*, 2016).

2.5 Reciclagem de Polímeros

Não há uma única definição para o ato de reciclar, mas este processo pode ser considerado como a ação de coletar, reprocessar, comercializar e utilizar materiais antes considerados como lixo. Assim, estes materiais são desviados, sendo colocados, separados e processados para ser usados como matéria-prima na manufatura de bens. Acrescenta-se também que a reciclagem não pode ser encarada como a única solução de todos os problemas dos resíduos sólidos, mas sim uma parte de um sistema de gerenciamento de resíduos. Assim, a reciclagem permite fazer o ciclo, trazendo de volta à origem, sob forma de matéria-prima, aqueles materiais que não se degradam facilmente e que podem ser reprocessados, mantendo suas características (Maclaren e Yu, 1997). Ela depende de outras atividades, gerando um sistema que se realimenta, um ciclo.

As embalagens apresentam uma ampla variedade de formas e materiais que fazem parte do nosso cotidiano. Em tempos onde o consumo é alto, a competitividade é algo com que as empresas se deparam frequentemente, portanto criar e inovar são soluções fundamentais para se destacar nesse mercado. A inovação está envolvida, na maioria das vezes à resistência mecânica, associada com propriedades de barreira a gases e aromas, além de novos sistemas de fechamento, garantindo maior segurança e praticidade para o consumidor (Castro e Pouzada, 1991; Schimmelfening e Santos, 2009). Porém, ainda é baixo o investimento para as inovações realmente sustentáveis. As poucas indústrias que optam por embalagens sustentáveis, geralmente voltam-se para o uso de materiais reciclados, muitas vezes por estratégia de *marketing*, não se preocupando com a produção de embalagens que utilizam matérias primas sustentáveis, e com baixo tempo de degradação.

Pode-se classificar a reciclagem dos resíduos plásticos basicamente em quatro tipos, primária, secundária, terciária e a quaternária. A reciclagem primária e secundária é do tipo de reciclagem mecânica, onde os resíduos são moídos e fragmentados em pequenas partes e passam por uma etapa de lavagem com água para retirada de impurezas.

A reciclagem feita pelo processo de re-extrusão (reciclagem primária) faz-se pela reintrodução de resíduos e fragmentos de polímeros no ciclo para a fabricação de produtos de materiais similares, neste processo são utilizados plásticos com características semelhantes aos produtos originais (Rolim, 2000).

A reciclagem mecânica (reciclagem secundária) consiste na conversão dos descartes plásticos em grânulos usados na elaboração de outros produtos plásticos com exceção de embalagens alimentícias. É o método mais utilizado, porém só pode ser realizado em produtos com apenas um tipo de resina plástica. A maioria dos plásticos pode ser submetida à reciclagem mecânica, mas os que de fato são reciclados variam dependendo da área de utilização. A seleção dos materiais está relacionada com seu valor econômico e volume de material disponível para reciclagem (Coltro e Duarte, 2013).

Já a terciária, conhecida como reciclagem química, está relacionada à decomposição dos resíduos plásticos, através de processos químicos e térmicos, em petroquímicos básicos, ou seja, monômeros ou mistura de hidrocarbonetos os quais servem como matéria prima em refinarias, a fim de que se obtenha produtos nobres de elevada qualidade. E por fim, a reciclagem quaternária é a reciclagem energética, onde a destruição do resíduo plástico por combustão para obter uma energia térmica (Mano e Bonelli, 1995). Embora a reciclagem energética ainda não exista no Brasil, é uma alternativa ambientalmente correta, economicamente viável e socialmente recomendável, o que a torna uma técnica sustentável (Landim *et al.* 2016).

O principal consumidor de plástico reciclado na forma de grânulos é a indústria de artefatos plásticos, os quais costumam utilizar o material na produção de baldes, garrafas de água sanitária, cabides, conduítes e acessórios para automóveis. Já os principais consumidores do plástico filme pós-consumo reciclado são as empresas que fabricam artefatos plásticos, como conduítes e sacos de lixo (CEMPRE, 1997).

De acordo com Pinto (1995), os problemas mais comuns para a reciclagem dos resíduos pós-consumo estão relacionados à implantação de um sistema de coleta seletiva e a processos para a adequada separação de materiais plásticos do lixo. Logo, os problemas basicamente são a escassez de empresas interessadas em comprar o material separado, a dificuldade em separar corretamente os diferentes tipos de polímeros, como também a difícil

tarefa de garantir um fornecimento contínuo de matéria prima de boa qualidade aos compradores.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Polipropileno Virgem (PP_v)

Neste trabalho foram utilizados o Polipropileno H 103 e o H 503, fabricados pela Braskem. O Polipropileno H 103 apresenta densidade de 0,905 g/cm³, IF = 40 g/10 min (230°C/2,16 kg) e o Polipropileno H 503 apresenta densidade de 0,905 g/cm³, IF = 3,5 g/10 min (230°C/2,16 kg). As fichas técnicas do PP H 103 e a do PP H 503 encontram-se no Anexo I e II, respectivamente.

3.1.2 Resíduos de tecido de Big Bag (BB)

Os resíduos de tecidos de big bag, na forma de fitas de ráfia (Figura 6), foram cedidos por uma empresa que fabrica big bags situada em Campina Grande - PB.



Figura 6 – Resíduos de tecido de big bag antes de ser processado.

3.2 Metodologia

3.2.1 Preparação das amostras

Para obter uma granulometria adequada para ser alimentada na extrusora, primeiramente, o resíduo proveniente dos tecidos de big bag foi colocado em um Homogeneizador de alta rotação, modelo MH-50H da marca MH Equipamentos, usando 25g de material por um período de aproximadamente 5 segundos, conforme mostrado na Figura 7, e, em seguida, esse resíduo foi triturado em um moinho de facas obtendo a forma de grânulos.



Figura 7 – Homogeneizador com a câmara fechada e aberta.

Após isso, foram feitas misturas a frio, manualmente, para promover uma maior homogeneização do resíduo com cada tipo de polipropileno virgem (PP H103 e o PP H503), nas proporções escolhidas baseadas em práticas na indústria, apresentadas na Tabela 1, sendo em seguida feita a extrusão dos mesmos.

Tabela 1 – Composição da Mistura, PPv e PPv/BB.

Composições	PP_{Virgem} (%)	Big Bag (%)
PP_v	100	-
PP_v/BB	90	10
PP_v/BB	70	30
PP_v/BB	50	50

As composições foram obtidas utilizando uma extrusora dupla rosca corrotacional, interpenetrante, modular, com razão L/D de 40, modelo ZSK 18 mm, Werner-Pfleiderer da Coperion. Para todas as misturas, foram utilizadas as condições de processos de acordo com a Tabela 2. O material obtido foi granulado logo após sua extrusão e seco em estufa a vácuo a 80°C por um período de 24h.

Tabela 2 – Parâmetros de processamento utilizados para extrusão do PP virgem e resíduo.

Variáveis de Processamento							
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Temperatura (°C)	185	185	190	190	190	195	195
Taxa de Alimentação (Kg/h)	4						
Rotação da Rosca (rpm)	250						
Torque (%)	± 65						

O material extrusado foi moldado por injeção na forma de corpos de prova de impacto, tração e HDT segundo as normas da American Society for Testing Materials (ASTM) D256, D638 (Tipo I) e D648, respectivamente. Para moldagem dos corpos de prova foi utilizada uma injetora Arburg, Modelo Allrounder 207C Golden Edition, operando a 180°C na primeira zona, 190°C na segunda e terceira zona, 200°C na quarta zona e 210°C na última zona de aquecimento, com molde na temperatura de 20°C. As misturas e o PP virgem foram submetidas às mesmas condições operacionais do processo de injeção.

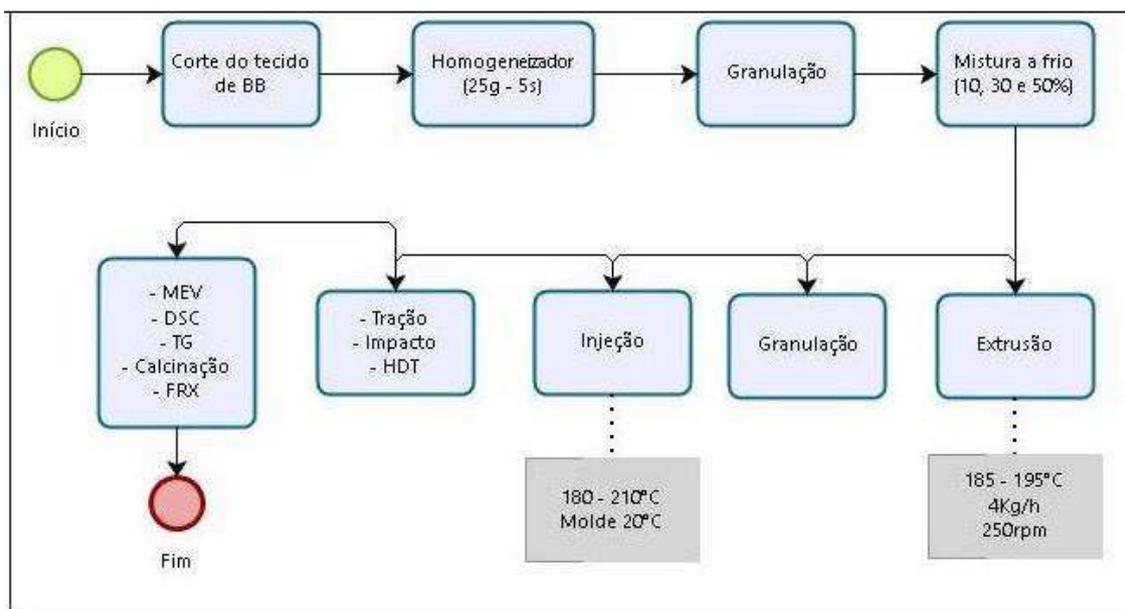


Figura 8 – Fluxograma das etapas de processo.

3.2.2 Caracterizações

3.2.2.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises por DSC foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG em um equipamento DSC-Q20 da TA Instruments, da temperatura ambiente até 300°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min e vazão do gás de 50 mL/min, utilizando-se atmosfera de nitrogênio empregando cerca de 5 mg de amostra.

3.2.2.2 Análise Termogravimétrica (TG)

As análises de TG foram realizadas em aparelho TGA 51H, pertencente à UFCG, empregando-se cerca de 5 mg de amostra, taxa de aquecimento de 10°C/min e vazão do gás de 100 mL/min, da temperatura ambiente até 500°C, cadinho aberto, utilizando-se atmosfera de nitrogênio. As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG.

3.2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises de MEV foram realizadas no equipamento Tescan Veja 3, a uma voltagem de 30 kV, sob alto vácuo. As imagens foram obtidas da superfície de fratura dos corpos de prova moldados por injeção e submetidos ao ensaio de impacto. As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Mecânica da UFCG.

3.2.2.4 Ensaio de Resistência Mecânica sob Tração

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG em um equipamento universal EMIC, modelo DL10000, usando uma célula de carga de 200 kgf, a velocidade de deformação de 50mm/min, operando em temperatura ambiente. Os resultados foram obtidos a partir de uma média de 6 corpos de prova injetados para cada composição.

3.2.2.5 Ensaio de Resistência ao Impacto

Os ensaios de resistência ao impacto IZOD foram realizados em corpos de prova entalhados, utilizando-se um equipamento Resil 5,5 da Ceast e pêndulo de 2,75 J, de acordo com a norma ASTM D 256, em temperatura ambiente. Os resultados foram obtidos a partir de uma média de 10 corpos de prova injetados para cada composição. Os corpos de prova foram entalhados a $2,54 \pm 0,1$ mm de profundidade antes de serem realizados ao ensaio de impacto. Os ensaios foram submetidos no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG.

3.2.2.6 Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)

A temperatura de deflexão térmica (HDT) foi obtida, em um equipamento Ceast, modelo HDT 6 VICAT, com uma tensão de 455 KPa, taxa de aquecimento de 120 °C/h (método A). A temperatura foi determinada após a amostra ter

defletido 0,25 mm. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Degradação de Materiais da UFCG.

3.2.2.7 Calcinação

A calcinação para a obtenção das cargas contidas nas fitas de rafia foi realizada numa mufla (modelo EDG3P-S) fabricada pela EDG Equipamentos. Foram colocadas numa mufla aproximadamente 58g de fitas de rafia picotadas em cadinhos de alumina e estes foram submetidos a uma taxa de aquecimento de 5°C/min da temperatura ambiente até 500°C. A temperatura foi mantida por um período de 120min antes da mufla ser desligada e deixada resfriar até a temperatura ambiente. A pesagem dos cadinhos foi realizada após 24h da calcinação. O pó residual foi então submetido à análise por Fluorescência de Raios X. Todas etapas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia dos Materiais da UFCG.

3.2.2.8 Fluorescência de Raios X

A análise química do resíduo de tecido de big bag, foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG, utilizando o método semi quantitativo, sob atmosfera de nitrogênio. O material submetido ao ensaio de caracterização foi primeiramente calcinado e o pó que restou foi quarteado e prensado em prensa manual em forma de pastilha, com diâmetro de cerca de 10mm. As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das matérias primas

4.1.1 Fluorescência de Raios-X (FRX)

Foi realizada uma calcinação do tecido de big bag, conforme reportado na metodologia e o resíduo calcinado foi submetido à FRX. A análise química semi quantitativa realizada por FRX para os resíduos de tecido de big bag, encontra-se na Tabela 3. As percentagens estão em peso dos óxidos, normalizados a 100%.

A partir da análise química, é possível observar a presença de vários óxidos na composição de cargas adicionadas na fabricação do tecido de big bag, sendo o óxido de cálcio (CaO) apresentado em maior teor, cerca de 87% da massa, seguido pelo dióxido de titânio (TiO₂), cerca de 4% e o óxido de magnésio (MgO), com cerca de 3,7% correspondente à massa.

Estes três aditivos representam mais de 95% da massa dos aditivos incorporados ao polipropileno virgem para a obtenção dos tecidos de big bags. Possivelmente estes aditivos, como os demais, são responsáveis pela atuação na embalagem com a coloração branca, resistência aos raios ultravioletas (anti-uv), nucleação, entre outras características, e, provavelmente, podem atuar como agentes externos na reciclagem desses tecidos implicando em mudanças nas propriedades do polipropileno puro.

Tabela 3 – Análise química por fluorescência de raios-x do resíduo de tecido de big bag.

Elementos presentes	Teores em %
CaO	87,81
TiO₂	4,13
MgO	3,69
SiO₂	1,15
ZnO	1,06
SO₃	0,93
Al₂O₃	0,83
K₂O	0,28
SrO	0,06
CuO	0,04
ZrO₂	0,02

4.1.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A partir das curvas de DSC, durante aquecimento (Figura 9) e resfriamento (Figura 10), ambos obtidos numa taxa de 10°C/min, pôde-se identificar as temperaturas de fusão e a de cristalização, bem como a entalpia de fusão, entalpia de cristalização e o grau de cristalinidade (Tabela 4) para as matérias primas, PP H103, PP H503 e o resíduo de tecido de big bag, a fim de verificar uma faixa de temperatura ideal para o processamento dos mesmos.

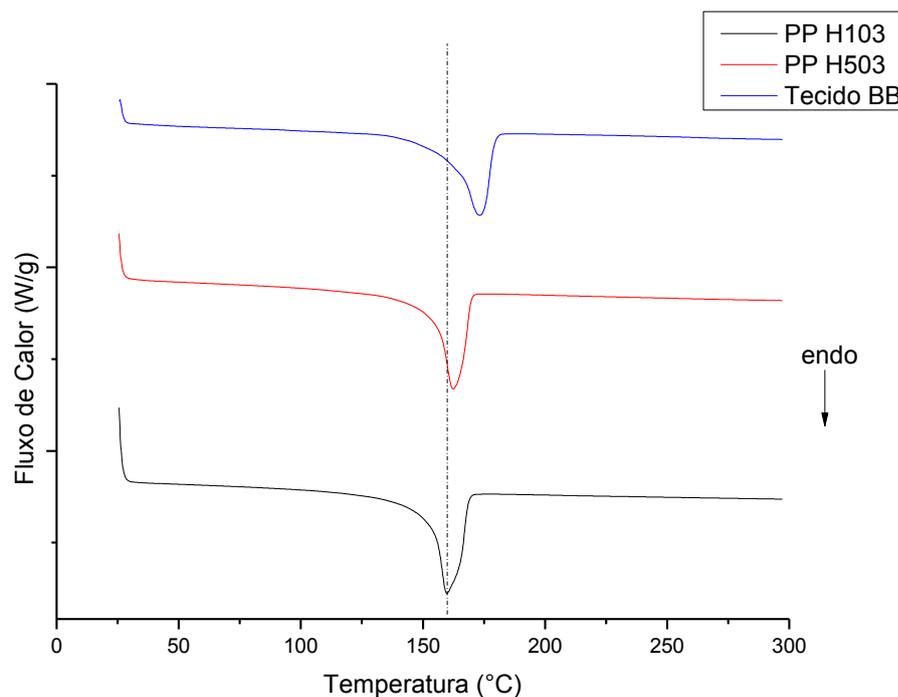


Figura 9 – Curvas DSC para o aquecimento do PP H103, PP H503 e tecido de big bag, a uma taxa de 10°C/min.

Na Figura 9, através das curvas de aquecimento, observa-se a presença de um pico endotérmico referente à mudança de fase, ou seja, fusão das entidades cristalinas do PP. As endotermas de fusão do PP H103 e do PP H503 foram observadas em temperaturas próximas, entretanto a fusão do resíduo de tecido de big bag ocorreu em temperaturas mais altas, possivelmente devido a formação de cristais maiores e/ou mais estáveis também por conta do estiramento efetuado em seu processo inicial de fabricação conduzindo a uma maior orientação, ou até mesmo pela presença de cargas.

Observa-se na Tabela 4 que os graus de cristalinidade das amostras apresentaram valores próximos, sendo um pouco menor para o PP H503, que por apresentar peso molecular maior, há uma maior dificuldade para o empacotamento e cristalização.

Tabela 4 – Parâmetros de fusão e cristalinidade do PP H103, PP H503 e tecido de big bag.

Amostras	Aquecimento			Resfriamento	
	T _m (°C)	X _c (%)	ΔH _m (J/g)	T _c (°C)	ΔH _c (J/g)
PP H103	160	34	46,33	117	50,94
PP H503	162	31	42,44	111	44,81
Tecido BB	173	35	45,24	120	44,99

T_m = Temperatura do pico de fusão; ΔH_m = Entalpia de fusão; X_c = Grau de cristalinidade, ΔH_F/ΔH_{F100%};

T_c = Temperatura de Cristalização; ΔH_c = Entalpia de cristalização; ΔH_{F100%} = Entalpia de fusão do PP 100% cristalino, 138 J/g. (Fonte: Libano, Vefisconte e Pacheco, 2011).

As curvas de DSC para o resfriamento estão apresentadas na Figura 10 e, a partir delas, pode-se verificar que os picos exotérmicos evidenciam uma mesma faixa de temperatura de cristalização para as amostras, havendo um pequeno deslocamento da amostra do PP H503 para uma temperatura menor (111°C), onde este por ter maior viscosidade, suas cadeias mais emaranhadas dificultam o empacotamento ordenado. Já o PP H103 e os resíduo de tecido de big bag, apresentaram temperatura de cristalização maiores, podendo este fato estar associado ao tamanho menor das cadeias, uma vez que este apresenta um maior índice de fluidez e o tecido de big bag já ter sido processado anteriormente favorecendo a diminuição do tamanho das cadeias. Este fato facilita o empacotamento visto que, cristais menores iniciam sua nucleação com maior facilidade, conforme reportado por Oliveira *et al.* (2012). Além disso, a presença de cargas ou impurezas no material reciclado, pode ter atuado como pontos de nucleação, permitindo uma temperatura de cristalização (120°C) maior do que a do PP H103.

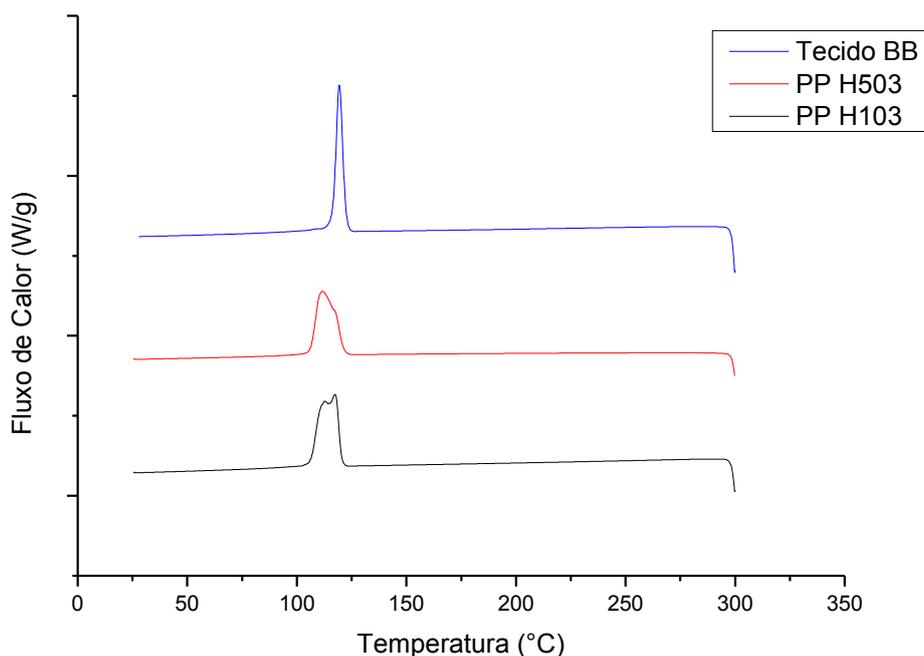


Figura 10 – Curvas DSC para o resfriamento do PP H103, PP H503 e tecido de big bag.

A presença de impurezas pode acarretar numa contribuição para maior cristalização desses materiais, onde estas atuam como pontos de ativação para iniciação de novos esferulitos, funcionando como núcleos individuais adicionais, acelerando o processo de cristalização. Em contrapartida, pode haver uma interferência na mobilidade das cadeias dificultando o processo de empacotamento e a capacidade das cadeias se ordenarem, de acordo com a presença e o grau de distribuição dessas impurezas na massa polimérica (Canevarolo Jr., 2003).

Tendo em vista os resultados obtidos por DSC, o PP H103, PP H503 e os resíduos provenientes de tecido de big bags podem ser submetidos às mesmas condições de processamento.

4.1.3 Termogravimetria (TG)

A estabilidade térmica das matérias primas de polipropileno H103, H503 e do resíduo de tecido de big bag, foi estudada por Termogravimetria e as curvas estão apresentadas na Figura 11.

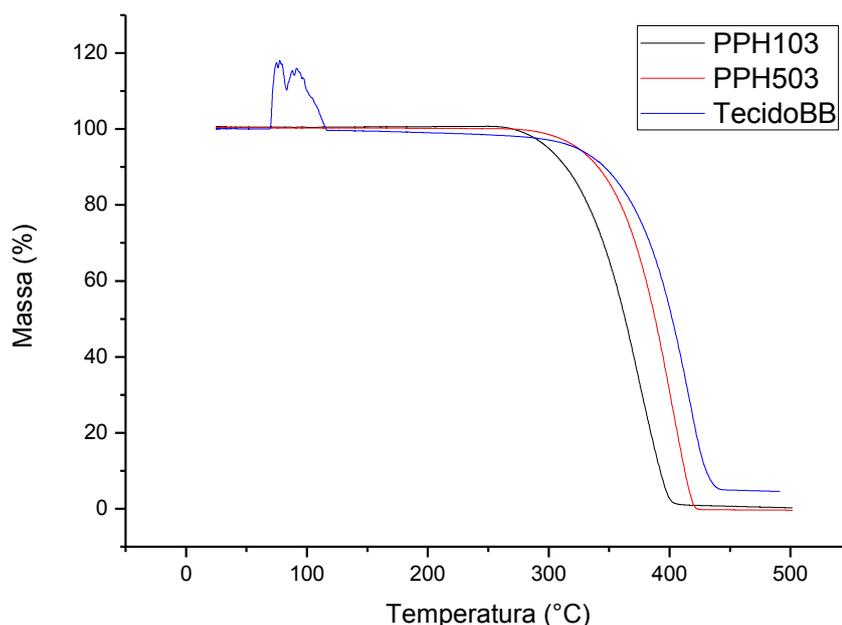


Figura 11 – Curvas TG do PP H103, PP H503 e do tecido de big bag.

A partir das curvas TG, pode-se observar que o PP H103, PP H503 e do tecido de big bag apresentaram características distintas umas das outras. O PP H103 sofre degradação a partir de uma faixa de temperatura de 270°C até cerca de 410°C, perdendo 98,8% de sua massa inicial. Já para o PP H503, a temperatura de início de degradação se eleva para 280°C atingindo o fim da perda de massa em torno de 425°C. Esse deslocamento de faixas de temperaturas de degradação, possivelmente está relacionado à diferença da viscosidade entre os dois tipos de polipropileno, onde o PP H503, por ser mais viscoso, apresenta um maior peso molecular, conseqüentemente maior emaranhamento das cadeias, sendo necessário um fornecimento de maior quantidade de energia para haver o rompimento das cadeias e conseqüentemente a degradação do polímero.

Para o tecido de big bag, observa-se um comportamento distinto. Aproximadamente em 70°C, aparece um pico intenso, característico de uma explosão, já que não há um comportamento na curva de um ganho de massa. Tal fato, pode estar relacionado a alguma reação das cargas ou impurezas contidas no material, visto que se trata de um material reciclado e submetido a

processamentos anteriores. Verifica-se também que a perda de massa do tecido de big bag ocorre numa faixa de temperatura de 300°C até cerca de 440°C, gerando em torno de 5% de massa residual. Isto pode ser atribuído à presença de cargas, confirmadas a partir da análise por FRX, que foram incorporadas no material durante seu processo de obtenção, como por exemplo anti UV, estabilizantes, pigmentos, etc., apresentando assim, um comportamento termicamente mais estável do que o PP H103 e o H503.

4.2 Análises dos corpos de prova

4.2.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas DSC do PP H103 e suas blendas com resíduos de tecido de big bags estão apresentadas na Figura 12, para aquecimento, e na Figura 13 para o resfriamento. Já as curvas DSC para o aquecimento e resfriamento do PP H503 e suas blendas, estão apresentadas na Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

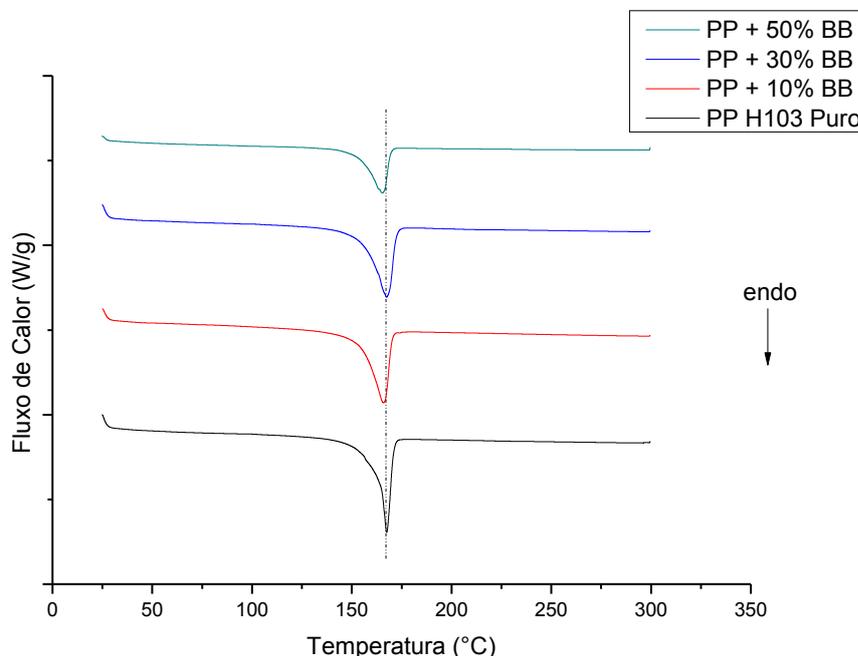


Figura 12 - Curvas DSC para o aquecimento do PP H103 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.

Como pode ser observado na Figura 12, tanto o PP H103 puro como as suas blendas apresentaram picos endotérmicos semelhantes e temperatura de pico de fusão em média de 166 °C. Na Figura 13, eles apresentaram picos exotérmicos referentes à cristalização do material com temperaturas de cristalização em média de 119°C, não havendo uma diferença considerável.

Na Tabela 5, percebe-se que tanto o PP H103 puro como suas blendas apresentaram temperaturas de fusão (T_m) e de cristalização (T_c) e grau de cristalinidade (X_c) bem próximos, indicando que para esses teores de carga não houve variações significativas nas transições térmicas e no grau de cristalinidade das blendas.

Tabela 5 – Parâmetros de fusão e de cristalinidade do PP H103 e de suas blendas.

Amostras	Aquecimento			Resfriamento	
	T_m (°C)	X_c (%)	ΔH_m (J/g)	T_c (°C)	ΔH_c (J/g)
PP H103 Puro	167	57	78,58	120	101,7
PP + 10%BB	166	60	82,64	120	102,4
PP + 30%BB	167	57	79,09	118	97,9
PP + 50% BB	165	54	74,65	117	94,21

T_m = Temperatura do pico de fusão; ΔH_m = Entalpia de fusão; X_c = Grau de cristalinidade, $\Delta H_F/\Delta H_{F100\%}$;

T_c = Temperatura de Cristalização; ΔH_c = Entalpia de cristalização; $\Delta H_{F100\%}$ = Entalpia de fusão do PP 100% cristalino, 138 J/g. (Fonte: Líbano, Vefisconte e Pacheco, 2011).

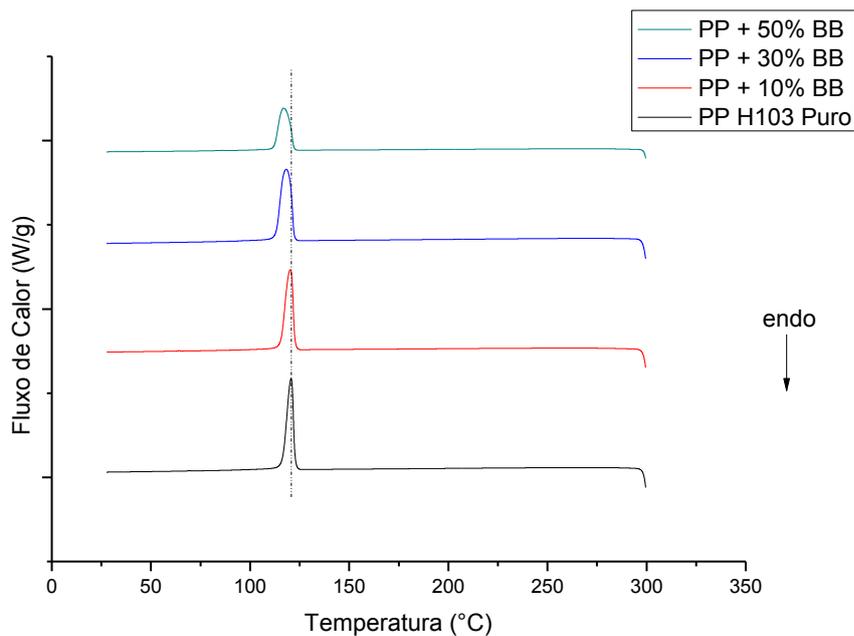


Figura 13 - Curvas DSC para o resfriamento do PP H103 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.

Observa-se a partir da Figura 14 que as curvas apresentaram também um comportamento semelhante das blendas com paradas com o PP H503 puro, com um pico endotérmico na mesma faixa de temperatura e temperatura de pico de fusão em média de 166°C. Os picos exotérmicos (Figura 15) característicos da cristalização também apresentaram comportamentos semelhantes com uma temperatura de cristalização em média de 117°C.

Verifica-se que à medida que se adiciona os resíduos de tecido de big bag numa matriz de PP virgem, o comportamento térmico, tanto a temperatura de fusão como a de cristalização, se mantém inalterado, fato este interessante pois na adição de até 50% de resíduo as propriedades térmicas são preservadas.

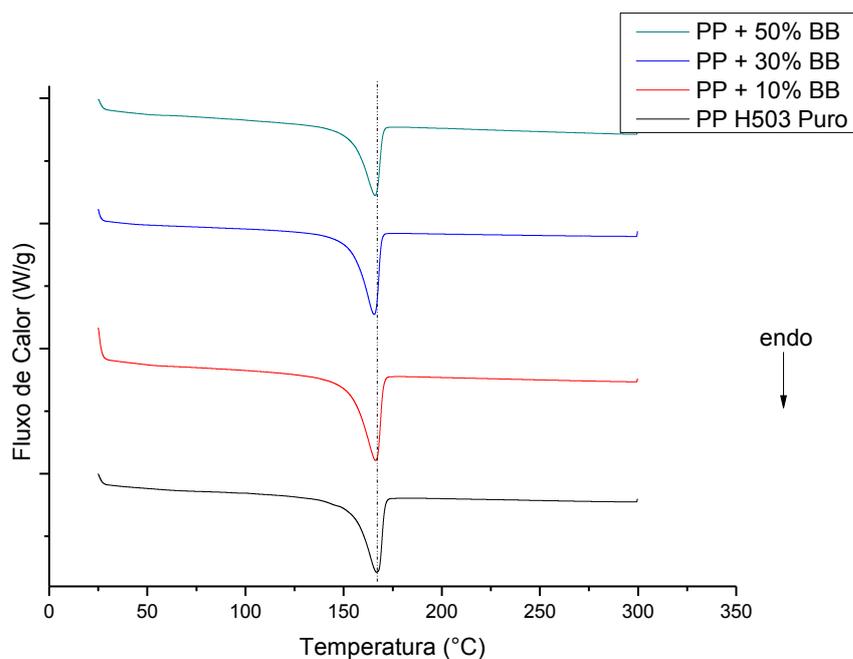


Figura 14 - Curvas DSC para o aquecimento do PP H503 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.

Tabela 6 – Parâmetros de fusão e de cristalinidade do PP H503 e de suas blendas.

Amostras	Aquecimento			Resfriamento	
	T_m (°C)	X_c (%)	ΔH_m (J/g)	T_c (°C)	ΔH_c (J/g)
PP H503 Puro	166	63	87,42	117	100,6
PP + 10% BB	166	68	94,39	117	107,7
PP + 30% BB	165	61	84,28	118	101,5
PP + 50% BB	166	56	77,49	117	96,51

T_m = Temperatura do pico de fusão; ΔH_m = Entalpia de fusão; X_c = Grau de cristalinidade, $\Delta H_F/\Delta H_{F100\%}$;

T_c = Temperatura de Cristalização; ΔH_c = Entalpia de cristalização; $\Delta H_{F100\%}$ = Entalpia de fusão do PP 100% cristalino, 138 J/g. (Fonte: Líbano, Vefisconte e Pacheco, 2011).

A partir da Tabela 6, observa-se que houve uma certa redução do grau de cristalinidade para a blenda com teor de 50% de resíduos de tecido de big bag, comparada ao PP H503 puro. Provavelmente, este aumento do teor de resíduo dificultou a mobilidade das cadeias dificultando a cristalização, em função também da alta viscosidade desta matriz.

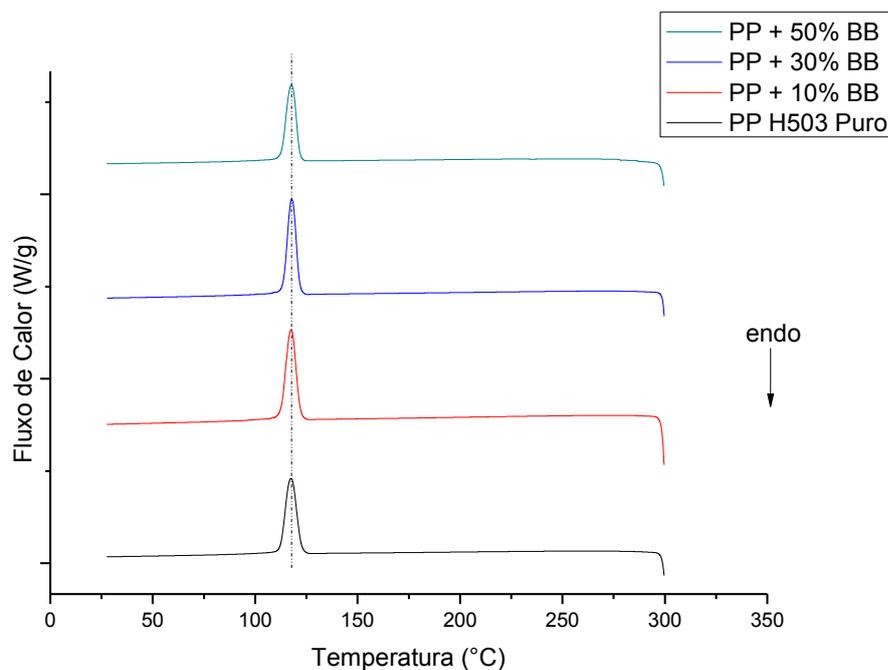


Figura 15 - Curvas DSC para o resfriamento do PP H503 puro e de suas blendas, a uma taxa de 10°C/min.

Comparando-se as Tabela 4, 5 e 6, percebe-se que os processos de extrusão e de injeção acarretaram no aumento do grau de cristalinidade do PP H103 em cerca de 40% e do PP H503 em torno de 50%, comparados com os respectivos PP's virgens. A presença de uma maior formação de cristais devido ao processo de extrusão/injeção é explicada pela ocorrência de quebras de algumas cadeias poliméricas, decorrente ao fato da exposição ao cisalhamento e às altas temperaturas envolvidas no sistema (Demori et al, 2013). Logo, com essa quebra das cadeias nos processos, o número de cadeias passa a ser maior e a massa molar numérica média diminui aumentando o número de pontas de cadeias capazes de iniciar a cristalização.

4.2.2 Termogravimetria (TG)

A análise da estabilidade térmica dos materiais misturados do PP após extrusão e injeção foi feita por Termogravimetria, onde suas curvas estão apresentadas tanto para o PP H103, o PP H503 e suas blendas, nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

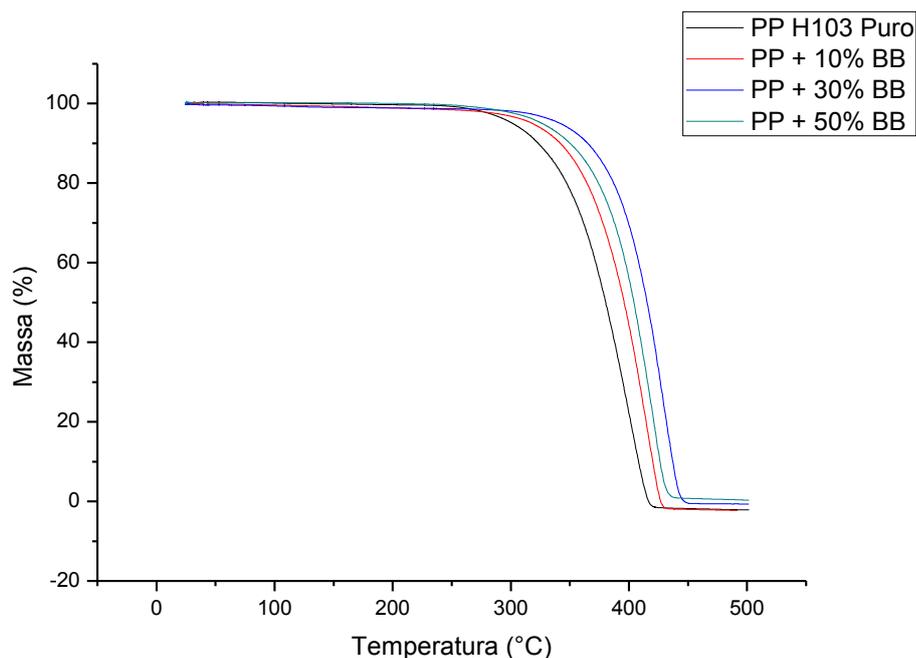


Figura 16 - Curvas TG do PP H103 puro e de suas blendas.

A partir da Figura 16, observa-se que as curvas TG apresentaram comportamentos distintos entre elas. Onde, tomando por referência o PP H103 puro, que começou a degradação a partir de aproximadamente 270°C até cerca de 420°C. Ao ser incorporado o tecido de big bag na matriz de PP, houve um aumento nesse intervalo de temperatura de degradação, onde a blenda com 10% de resíduo de tecido de big bag apresentou uma faixa de 280 a 430°C; a blenda com 30%, uma faixa de 300 a 450°C e, a blenda com 50% apresentou uma faixa de 290 a 440°C.

Tendo em vista isso, percebe-se que a incorporação dos resíduos de tecido de big bag na matriz de PP H103 tem contribuído para uma maior estabilidade térmica para os três percentuais, sendo maior para a blenda com 30% de resíduo. Este aumento de estabilidade, provavelmente está associado ao fato de o tecido de big bag apresentar cargas em sua formulação inicial, confirmado por Fluorescência de Raios-x e comprovado sua interferência também nas propriedades mecânicas.

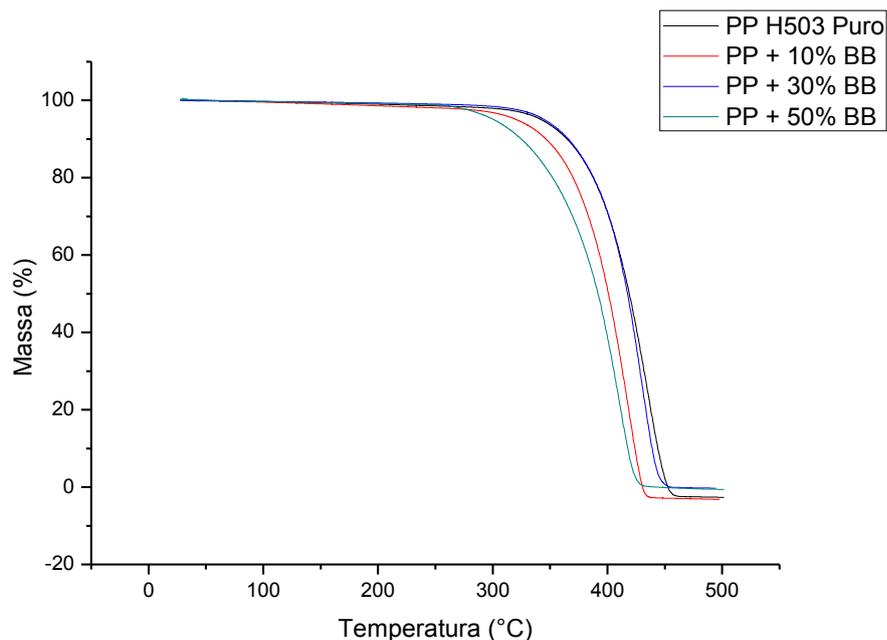


Figura 17 - Curvas TG do PP H503 puro e de suas blendas.

Nas curvas TG apresentadas na Figura 17, pode-se observar que as blendas apresentaram comportamento de degradação térmica também distintos ao do PP H503 puro, tomado por referência, onde o mesmo apresentou uma temperatura de início de degradação de aproximadamente 290°C até 450°C. Ao incorporar os resíduos de tecido de big bag, as temperaturas de início de degradação se mantiveram próximas, com exceção da blenda com 50% de resíduo, iniciando a degradação em 260°C e terminando em torno de 420°C. Provavelmente, o alto teor de material reciclado pode ter levado à uma perda de estabilidade térmica.

Analisando os dois tipos de PP, pode-se verificar que ao ser incorporado o resíduo de tecido de big bag em cada tipo de matriz, houve um aumento na faixa de degradação térmica para as blendas que possuem o PP H103 como matriz, enquanto que para a matriz com o PP H503 houve uma certa diminuição nessa faixa de temperatura. Tal fato, pode estar associado à diferença do peso molecular entre eles, onde PP H503 apresenta menor índice de fluidez, e mesmo grade de fabricação das fitas de rafia, que compõem o tecido de big bag. Logo, o PP H103, por apresentar um menor peso molecular, tem um melhoramento na

sua estabilidade térmica ao ser incorporado um resíduo com uma viscosidade maior, além da presença de cargas que este resíduo apresenta.

4.2.3 Ensaio de Resistência ao Impacto

Os resultados da resistência ao impacto Izod, com entalhe, do PP H103 e PP H503 puros e suas blendas com teores de 10, 30 e 50% de tecido de big bag estão representados na Figura 18.

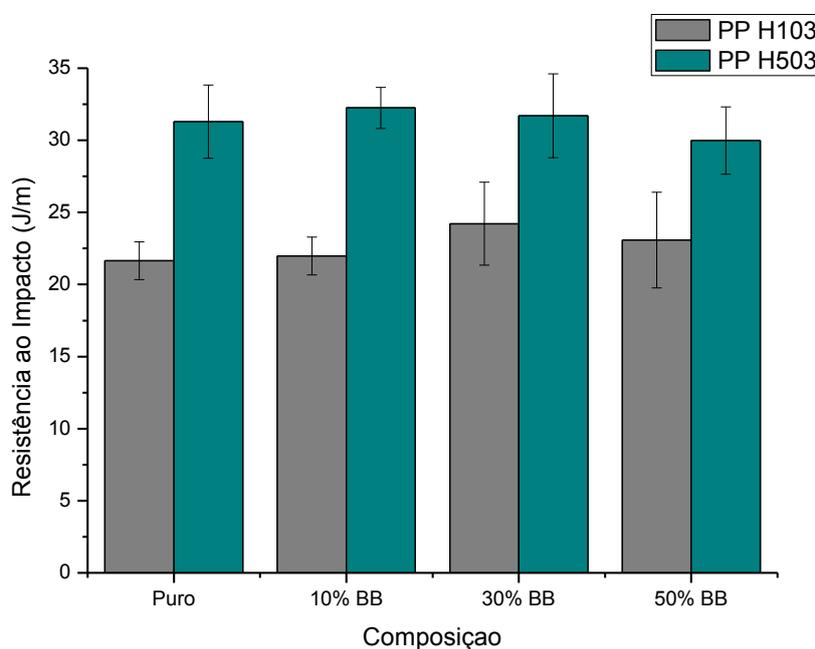


Figura 18 – Resistência ao Impacto do PP H103, PP H03 puros e de suas blendas.

Para o PP H103, é possível verificar que as blendas de PP com tecidos de big bag apresentaram valores bem semelhantes de resistência ao impacto quando comparados com o PP puro. No entanto, para as blendas com teores de 30 e 50% houve um aumento mais significativo no valor da resistência ao impacto, ou seja, sob adição de 50% de tecido de big bag a resistência ao impacto do PP H103 foi praticamente mantida.

Já para o PP H503, observa-se que os valores de resistência ao impacto das blendas com material reciclado também se mantiveram próximos quando

comparados com o PP H503 puro. Verificando que houve um pequeno aumento para as blendas com teores de 10 e 30%, mais acentuado para a de 10%. Já para a blenda com teor de 50% de reciclado houve uma pequena diminuição para o valor de resistência ao impacto, mostrando uma maior fragilidade na amostra.

Para o polipropileno reciclado obteve-se maior resistência ao impacto, estando ligado também ao fato de que quanto maior o módulo de elasticidade maior é a rigidez do material. Como observado por Machado (2002), para o polímero virgem, o peso molecular é constante e as cadeias se tornam restritas, enquanto no polímero reciclado, a distribuição molecular não é constante e geralmente a resistência ao impacto aumenta com o peso molecular, neste caso, em decorrência de provavelmente o material reciclado apresentar cargas em sua composição no seu processo de obtenção, obtendo valores de resistência ao impacto maiores do que o puro.

Ao comparar os diferentes tipos de polipropileno, H103 e H503, é possível observar que se obteve um maior valor de resistência ao impacto para o PP H503, tanto em relação ao polímero puro quanto para as blendas, em média de 30% maior que o PP H103. Como o PP H503 tem um menor valor de índice de fluidez, conseqüentemente maior viscosidade e maior peso molecular, permitindo um maior atrito entre as moléculas poliméricas durante o processamento, ou seja, maior será o emaranhamento das cadeias permitindo um maior poder de mistura, havendo uma maior dificuldade no rompimento das cadeias.

4.2.4 Ensaio de Resistência Mecânica sob Tração

Nas Tabelas 8 e 9, estão representados os valores médios das propriedades mecânicas obtidos no ensaio de tração para o PP H103, PP H503 puros bem como das blendas com teores de 10, 30 e 50% de resíduo de tecidos de big bag.

Tabela 7 – Valores médios das amostras submetidas a ensaio de tração para o PP H103 e de suas blendas.

Composições	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)	Módulo Elástico (MPa)
PP Puro	33,2 ± 0,6	15,2 ± 3,9	602,6 ± 17,8
PP + 10% BB	33,2 ± 0,4	21,3 ± 1,5	610,3 ± 3,5
PP + 30% BB	33,2 ± 0,3	20,6 ± 1,8	681,0 ± 6,1
PP + 50% BB	33,1 ± 0,2	22,1 ± 0,5	659,8 ± 7,6

A partir da Figura 19, observa-se que, embora os dois tipos de polímeros apresentem viscosidades diferentes, a resistência à tração se manteve semelhante, até mesmo com a incorporação do material reciclado proveniente dos resíduos de tecido de big bag, mostrando que nas misturas a incorporação de material reciclado não interferiu na resistência à tração.

Tabela 8 – Valores médios das amostras submetidas a ensaio de tração para o PP H503 e de suas blendas.

Composições	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)	Módulo Elástico (MPa)
PP Puro	34,5 ± 0,2	59,5 ± 2,5	578,4 ± 10,7
PP + 10% BB	33,3 ± 0,4	51,3 ± 3,5	691,7 ± 11,4
PP + 30% BB	32,9 ± 0,5	50,7 ± 3,6	648,9 ± 31,0
PP + 50% BB	33,0 ± 0,5	48,9 ± 7,7	677,5 ± 18,4

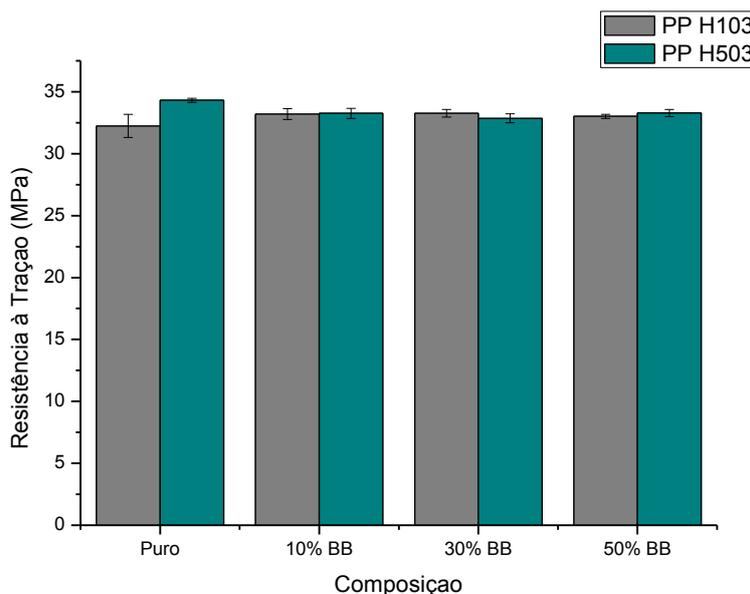


Figura 19 – Resistência à tração do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas.

É possível verificar, na Figura 20, comparando os polímeros puros, o PP H103 apresenta maior valor no módulo de elasticidade do que o PP H503, onde o primeiro, por ser menos viscoso, menor massa molar, apresenta um maior número cadeias com comprimento menores, conferindo ao material uma maior rigidez e menor flexibilidade. De acordo com Ramos (2013), um material com cadeias poliméricas menores, apresenta uma menor área de contato linear entre as cadeias que deslizam entre si no sentido da deformação recorrente da força de tração aplicada, permitindo uma menor capacidade de alongação deste material.

Observa-se ainda na Figura 20, que quando se incorpora o material reciclado há um aumento, em geral, no módulo de elasticidade para as blendas em comparação aos polímeros puros. A partir disso, pode-se compreender que este aumento no módulo de elasticidade, possivelmente, está associado à presença de cargas ou impurezas no material reciclado, aumentando, assim, a rigidez do material. Verifica-se também que se obteve maiores valores para as blendas do PP H503, com exceção para a composição de 30% de reciclado, visto que o PP H503 é mais viscoso, provavelmente, permitiu um maior poder de mistura e quebra de cadeias com a incorporação do material reciclado, enrijecendo mais que o PP H103.

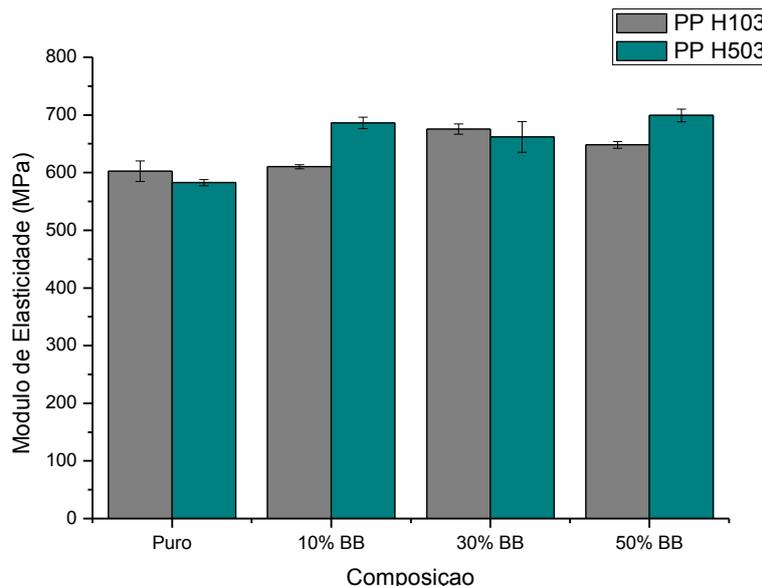


Figura 20 – Módulo de elasticidade do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas.

Na Figura 21, observa-se que o PP H503 puro apresenta um alongamento na ruptura de quase 4 vezes maior do que o PP H103 puro. Isto se deve ao fato da viscosidade ser maior para o PP H503, que apresenta menor índice de fluidez, com isso o maior emaranhamento das cadeias permite uma maior deformação das cadeias e alongamento até a ruptura no ensaio de tração. No entanto, à medida que se aumenta o teor de material reciclado no PP H503, há uma diminuição do alongamento na ruptura, em média de 15% menores que o polipropileno puro, comprovando juntamente com o módulo elástico, que a presença de cargas ou impurezas no material reciclado aumentam a rigidez do mesmo.

Para o PP H103, verifica-se um comportamento distinto, onde ao se incorporar o material reciclado houve um aumento no valor do alongamento na ruptura das blendas, em média de 28% maiores que o polímero puro, esse fato possivelmente pode estar ligado ao fato da sua distribuição de peso molecular, conforme citado por Rosário *et, al*. Entretanto são valores bem menores do que as blendas com o PP H503.

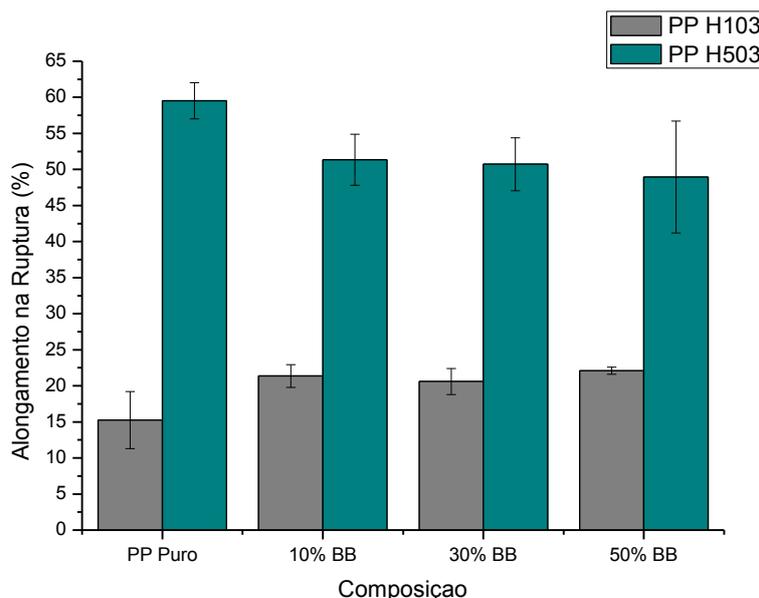


Figura 21 – Alongamento na ruptura do PP H103, PP H503 puros e de suas blends.

Tais resultados obtidos no ensaio de tração mostram que a incorporação dos resíduos de tecido de big bag numa matriz polimérica virgem, apresentam valores representativos que podem ser considerados viáveis a sua utilização na formulação de obtenção de produtos.

Outro fato importante a ser analisado é que o PP H 103 por ter menor peso molecular, menos viscoso, é utilizado para processos de injeção, como diz na ficha técnica, já o PP H 503 por ter maior peso molecular é utilizado, inclusive, na fabricação de fitas de ráfia. Com isso, é possível verificar um aumento no alongamento na ruptura para o PP H103 com a incorporação dos resíduos de tecido de big bag (fabricados com PP mais viscoso) e uma pequena diminuição no alongamento na ruptura para o PP H 503, provavelmente por ser do mesmo grade que os resíduos de tecidos de big bags, no entanto os valores ainda são próximos do polímero virgem e consideráveis.

4.2.5 Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)

No intuito de avaliar as propriedades termomecânicas do PP H103 e do PP H503 puros como também das blendas de PP com 10, 30 e 50% de resíduos de tecido de big bag, foram obtidas medidas de temperatura de deflexão térmica, como mostrado na Figura 22.

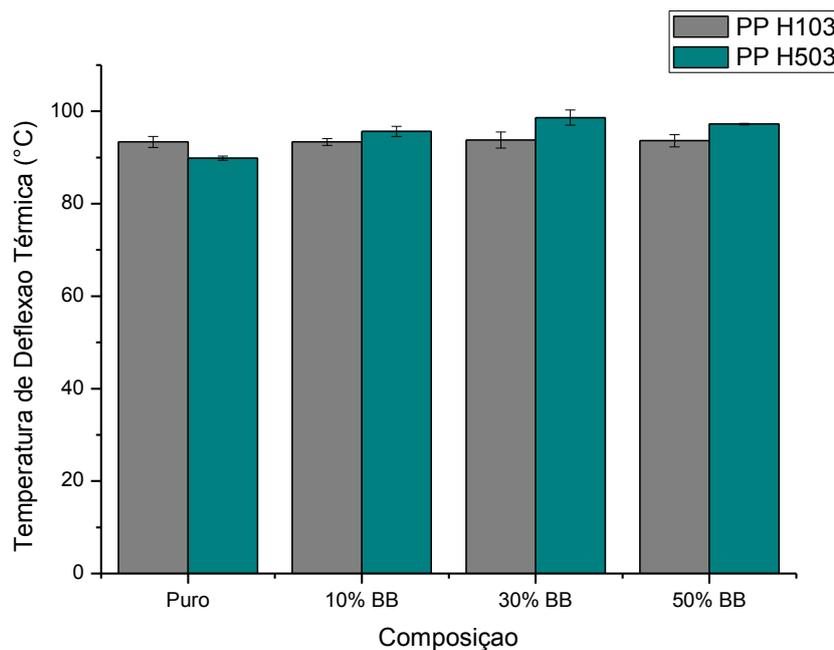


Figura 22 – Temperatura de Deflexão Térmica do PP H103, PP H503 puros e de suas blendas.

Para o PP H103, pode-se observar que independente do aumento do teor de material reciclado nas blendas, não interferiu de forma negativa no valor de HDT, quando comparados com o valor obtido para o PP puro, mantendo-se em média a mesma temperatura de deflexão térmica, cerca de 93°C, para todas as composições.

Já para o PP H503, é possível notar que a presença de material reciclado permitiu um aumento na temperatura de deflexão térmica, onde houve um aumento de 89°C do PP H503 puro para 95°C para a blenda com 10% de reciclado. À medida que aumentou se aumentou o teor de material reciclado,

houve uma elevação na temperatura de deflexão térmica, sendo maior para a composição da blenda de PP com 30% de resíduo de tecido de big bag.

Este aumento na temperatura de deflexão térmica pode estar ligado a um aumento na rigidez do material, visto que necessita de uma maior energia para movimentar as cadeias. Logo, por se tratar da incorporação de um material reciclado, possivelmente, a presença de aditivos, incorporados no processo de obtenção do tecido de big bag, tenha contribuído para tal rigidez do material.

De acordo com Jafelice (2013), a temperatura de deflexão térmica é aquela na qual é observado um decréscimo pronunciado das propriedades mecânicas de um corpo de prova, ou seja, quanto mais elevada a HDT, maior a resistência térmica do material. Sendo assim, a incorporação do reciclado (10, 30 e 50%) na matriz de PP virgem não implicou uma perda de resistência térmica das blendas.

4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As fotomicrografias obtidas por MEV foram realizadas na superfície de fratura dos corpos de prova submetidos ao ensaio de impacto, a fim de se observar a microestrutura e correlacioná-la com as propriedades obtidas.

Nas Figuras 23 e 24, estão apresentadas as fotomicrografias do PP H103 e PP H503, respectivamente e, suas misturas com teores de 10, 30 e 50% de resíduos de tecido de big bag.

A partir das Figuras 23 e 24, pode-se observar que tanto o PP H103 puro e PP H503 puro, como as suas blendas apresentaram características de fratura semelhantes com um comportamento de fratura dúctil, como pode ser visto por meio do embranquecimento na morfologia e superfície não lisa. Aparentemente, a presença das cargas favorece uma maior rigidez destas misturas, comprovado no ensaio de tração, onde o módulo elástico para as misturas foi maior do que o PP puro.

Outro fato observado é que à medida que se aumentou o teor de resíduo de tecido de big bag aumentou-se também a quantidade de aglomerados ou partículas soltas que, possivelmente, estão relacionados à quantidade de

aditivos ou impurezas presentes na mistura, os quais foram confirmados a partir da caracterização do resíduo por Fluorescência de Raios-x. A presença deles confirma sua influência no comportamento mecânico, com aspecto mais rígido.

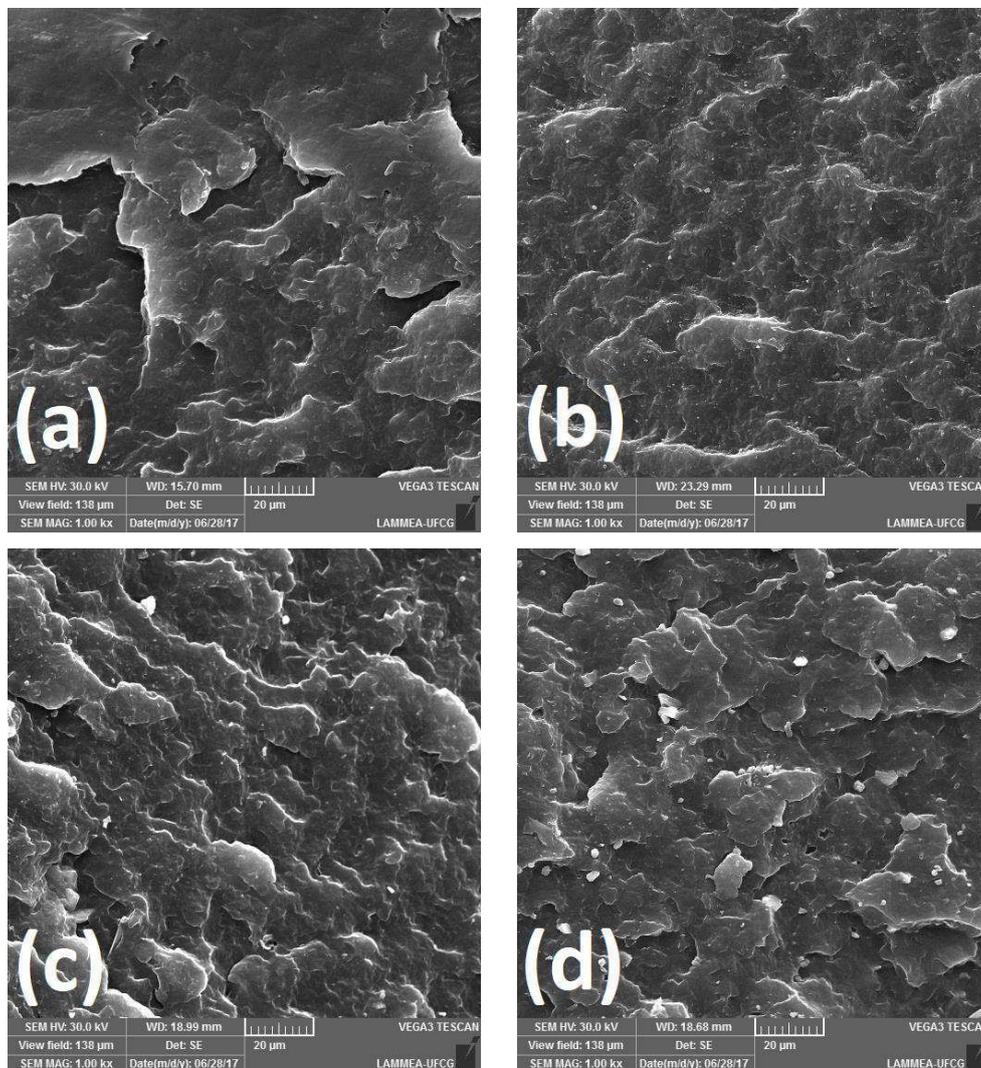


Figura 23 - Fotomicrografias de MEV do (a) PP H103 puro e de suas blendas com teores de (b) 10%, (c) 30% e (d) 50% de resíduos de tecido de big bag.

Comparando-se as fotomicrografias de MEV do PP H103 e PP H503 e suas blendas, é possível verificar que para ambos o comportamento de fratura foi parecido e apresentaram um aspecto de fratura dúctil, não lisa, característico do polipropileno.

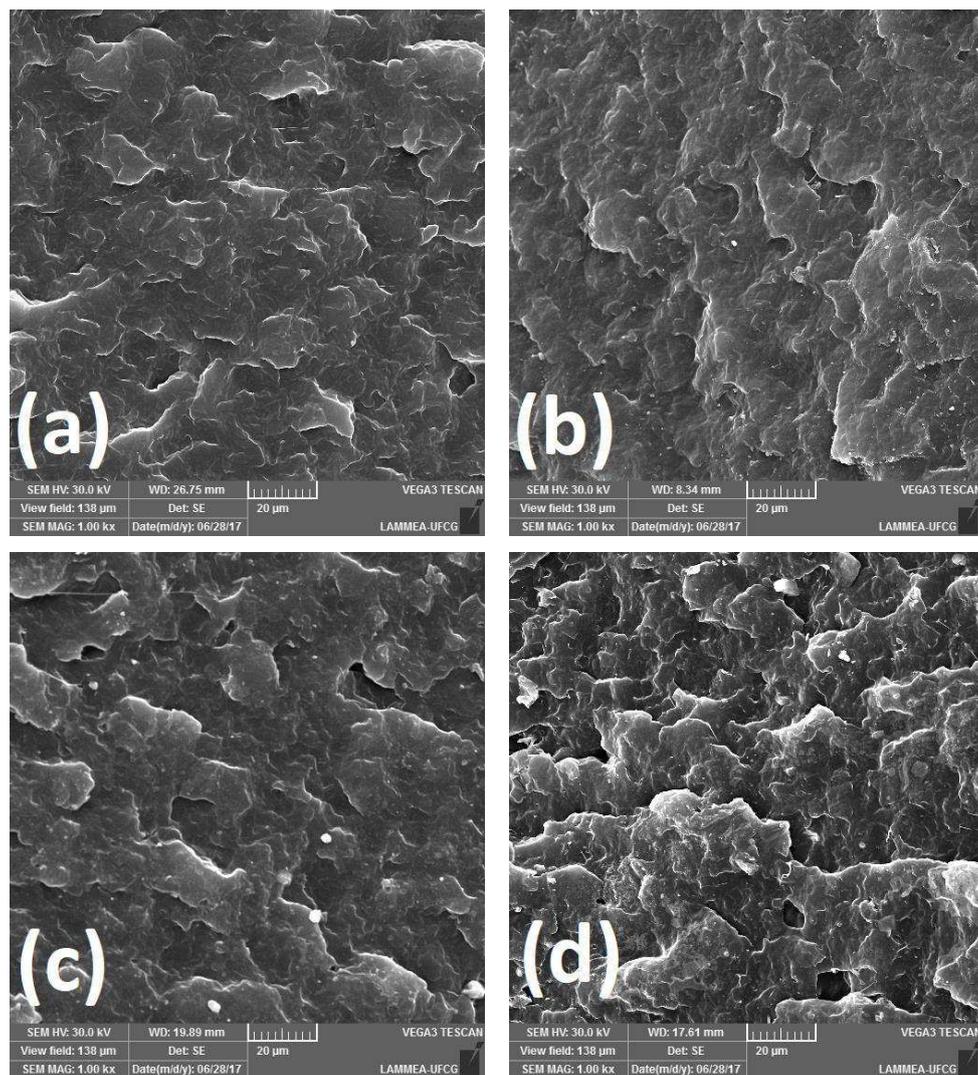


Figura 24 – Fotomicrografias de MEV do (a) PP H503 puro e de suas blendas com teores de (b) 10%, (c) 30% e (d) 50% de resíduos de tecido de big bag.

5 CONCLUSÕES

A partir da pesquisa desenvolvida com o polipropileno e resíduos de tecido de Big Bag, pôde-se concluir:

- Por Fluorescência de Raios-x, a presença das cargas no resíduo: óxido de cálcio (CaO), dióxido de titânio (TiO₂), óxido de magnésio (MgO), entre outros.
- Por DSC, as misturas obtidas apresentaram temperaturas de fusão e de cristalização próximas aos dos polímeros puros.
- Por TG, uma maior estabilidade térmica para a matriz de PP H103 foi observada a partir da presença do resíduo de tecido de Big Bag. Já para o PP H503, ao incorporar os resíduos, os materiais foram termicamente mais instáveis.
- Nos ensaios mecânicos, verificou-se que a resistência ao impacto das misturas se manteve próxima. Entretanto, a resistência ao impacto do PP H503 e suas blendas apresentou valores superiores, em média de 30%, do que o PP H103.
- Por ensaio de tração, observou-se que os resultados de resistência à tração não se alteraram com a variação do tipo de PP e nem com a presença dos resíduos de tecido de Big Bag.
- Por HDT, percebeu-se a mesma faixa de HDT para o PP H103 e suas blendas. Para o PP H503 e suas misturas, houve um aumento na HDT.
- Por MEV, observou-se que as misturas com PP H103 e PP H503 apresentaram comportamento semelhante de fratura dúctil, característico do PP.

Como conclusão final da pesquisa, a reciclagem dos resíduos de tecido de big bag se torna viável, visto que, além de evitar o seu lançamento no meio ambiente e a consequente contaminação do mesmo, há também um valor agregado na economia de matéria prima e energia utilizada para produzir novos produtos. A mistura com 30% de resíduo apresentou algumas propriedades melhoradas e próximas àquelas dos polímeros puro, além da economia de 30% de matéria prima.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Fazer caracterização para conhecer o índice de fluidez do resíduo de tecido de big bag.
- Estudar a utilização de agentes compatibilizantes para as misturas;
- Estudar o comportamento a partir de outros percentuais de resíduos de tecido de big bag.
- Analisar a morfologia das misturas por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) para verificar a compatibilidade delas.
- Estudar a degradação das misturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas>> Acesso em Fevereiro de 2017.

ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. Disponível em: < <http://www.abiquim.org.br/pdf/indQuimica/AIndustriaQuimica-SobreSetor.pdf> >. Acesso em Fevereiro de 2017.

American Society for Testing Materials - ASTM - Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.

American Society for Testing Materials - ASTM - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

American Society for Testing Materials - ASTM - Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position.

Barbosa, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, vol.1(4). 2008.

BATTISTELLE, R., VIOLA, N.M., BEZERRA, B.S., VILARELLI, I. D. Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. **Revista Matéria**. V. 19 n° 1, p.7-15, 2014.

CALLISTER JR., W.D. **Materials Science and Engineering**. New York : Wiley and Sons, 2007.

CANEVAROLO JR., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Editora Artliber. São Carlos – SP. 2003.

CASTRO, A. G., POUZADA, A. S. *As embalagens para a indústria alimentar*. Portugal: Instituto Piaget. 1991.

COLTRO, L., DUARTE, L. C. Reciclagem de embalagens plásticas flexíveis: contribuição da identificação correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 23(1), 128-134. 2013

CORREA, M. E. R. M., HEEMANN, A. Proposta de Substituição de Copos Plásticos Descartáveis em Fábrica de Grande Porte. **Artigos**. Edição 4, p. 73-79. 2016.

CORREA, P.M. **Estudo Comparativo da Influência da Adição de PET e PP Pós-Consumo na Produção do Concreto Estrutural**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2015.

DAMIN, K.V.S, NUREMBERG R., SILVA, L., MENDES, F.B. Estudo da Aplicação da Fibra do Caule do Zea Mays nas Propriedades do Polipropileno. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. v.17, p. 62-73, 2016.

DE BOER, A.P.; VAN DAM, J.; VAN LENT, B. J. J.; VEENSTRA, H. “Co-continuous morphology in Polymer Blends with SEBS block copolymers”. **Polymer**, 40, p 6661-6672, 1999.

DEMORI, R. et al; Mistura polipropileno/poliestireno: um exemplo da relação processamento-estrutura-propriedade no ensino de polímeros. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, vol 23 (1), p. 91-96. 2013.

FARIA, P. C., WISBECK, E., DIAS, L. P. Biodegradação de Polipropileno Reciclado (ppr) e de Poli (tereftalado de etileno) reciclado (petr) po *Pleurotus ostreatus*. **Revista Matéria**, v. 20, nº 02. p 452-459, 2015.

FERNANDES, M.V.F. **Produção de Composto Polimérico a Partir de Polímeros Reciclados: Resíduos de Espuma Flexível de Poliuretano e Polipropileno Reciclado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Presbiteriana de Mackenzie. 2013. São Paulo, Brasil.

FERNANDES, B.L., DOMINGUES, A.J. Caracterização Mecânica de Polipropileno Reciclado para a Indústria Automotiva. **Polímeros**, vol. 17, nº 2, p. 85-87, 2007.

Gonçalves, D. B. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, ano V(51). 2005.

HOLZSCHUH, G. G. **Controle de Qualidade na Indústria de Ráfia Padronização e Otimização dos Processos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul – RS. 2009.

HOLZSCHUH, G.G., KIPPER, L.M., CROSSETI, G.L., FERRÃO, M.F. Otimização dos Processos na Indústria de Ráfia: com Enfoque no Mapeamento

dos Processos e na Geração de Resíduos. **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. 2008.

HORA, J.D. **Polipropileno Aditivado com Talco para Melhoria de suas Propriedades Mecânicas**. Departamento de Tecnologia de Produção. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. São Paulo – SP. 2009.

Irffi, G. D.(2011). **Ensaio sobre a relação entre emissão de CO₂ e a renda global**. 119 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE. 2011.

JAFELICE, D. A. **Caracterização de Compósitos de Polipropileno Reciclado e Fibra de Coco**. Dissertação de Mestrado. Universidade Presbiteriana de Mackenzie. São Paulo, 2013.

LANDIM, A. P. M., BERNARDO, C. O., MARTINS, I. B. A., FRANCISCO, M. R., SANTOS, M. B., MELO, N. R. Sustentabilidade Quanto às Embalagens de Alimentos no Brasil. **Polímeros**, vol 26, p. 82-92. 2016.

LIBANO, E. V. D. G., VISCONTE, L. L. Y., PACHECO, E. B.A.V. Propriedades Térmicas de Compósitos de Polipropileno e Bentonita Organofílica. **Revista Polímeros**. 2011.

LOBO, R. P., VIANNA, J. D., AZEVEDO, J. B. *Influência da Adição de Carbonato de Cálcio Precipitado e Encapsulado nas Propriedades Mecânicas de Ráfias Estiradas*. II Workshop de Gestão, Tecnologia Industrial e Modelagem Computacional. Faculdade SENAI CIMATEC. 2016.

MACHADO, J. C. V., *Reologia e Escoamento de Fluidos: ênfase na indústria do petróleo*, 1. ed. – Engenho Novo: Editora Inter-ciencia, 2002.

MACLAREN, V. W., YU, C.C. Solid Waste Recycling Behavior of Industrial-Commercial-Institutional Establishments. **Growth and Change**. Vol 28, winter, p. 93-109. 1997.

MANO, E.; MENDES, L.C. **Introdução à Polímeros**. Ed. Blucher, São Paulo, 1999.

MANO, E. B., BONELLI, C. M. C. A Reciclagem de Plásticos Pós-Consumidos. **Revista de Química Industrial**. N 698, p. 18-22. 1995.

McNALLY, T. McSHANE, P. NALLY, G.M., MURPHY, W.R., COOK, M. MILLER, A. Rheology, phase morphology, mechanical, impact and thermal properties of polypropylene/metallocene catalyzed ethylene 1-octene copolymer blends. **Polymer**. V. 43, p. 3785 – 3793, 2002.

MENDES, ROSSINI, SIMON, LAHR, PACIONI. Relatório de Ensaio de Tração com Materiais Poliméricos. Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Campinas, 2007.

MIGUEL, J.J.P.M. **Estudo Comparativo das Propriedades Térmicas e Mecânicas do Polipropileno Reforçado com Óxido de Zinco, Carbonato de Cálcio e Talco**. Dissertação de Mestrado. Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador – BA. 2010.

MOORE, E.P. Polypropylene Handbook. Hanser. New York. 1996.

MOTHE, C. G.; AZEVEDO, A. D. *Análise térmica de materiais*. São Paulo: Comercial, 2002.

MUNARO, M. **Desenvolvimento de Blendas de Polietileno com Desempenho Aperfeiçoado para Utilização no Setor Elétrico**. Dissertação de Doutorado. Universidade do Paraná. Curitiba – PR. 2007.

OLIVEIRA, R. V.B, FERREIRA, C. I., PEIXOTO, L. J. F., BIANCHI, O., SILVA, P. A., DEMORI, R., SILVA, R. P., VERONESE, V. B. Mistura Polipropileno/Poliestireno: Um Exemplo da Relação Processamento-Estrutura-Propriedade no Ensino de Polímeros. **Revista Polímeros**. 2012.

PASSADOR, F.R., PESSAN, L. A. Estado de Mistura e Dispersão de Fase Borrachosa em Blendas PVC/NBR. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. V.16, n. 3, p. 174-181. 2006.

PEREIRA, N. C. A Prática da Sustentabilidade no Instituto Presbiteriano Mackenzie. Projeto de Pesquisa. Fundo Mackenzie de Pesquisa. São Paulo – SP. 2016.

PINTO, A. G. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. p. 181-192. 1995.

PITTOL, L. C. **Funcionalização do Compósito PP/EPDM/Talco com Polipropileno Graftizado com Anidrido Maleico para Promover Adesão em Substratos Polares**. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2016.

QUENTAL, A. C., CARVALHO, F. P., TADA, E. S., FELISBERTI, M. I. Blendas de PHB e seus copolímeros: miscibilidade e compatibilidade. **Química nova**, v.33, n. 2, p. 438-446, 2010.

RAMOS, R. R. F. **Desenvolvimento de Compósitos de Polipropileno (PP) com Sabugo de Milho (SM) Proveniente de Resíduos Agrícolas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2013.

RODRIGUES, A. **Estudo da Compatibilização de Compósitos de Polipropileno e Farinha Madeira com Polipropileno Enxertado com Ácido Acrílico e Anidrido Maleico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR. 2011.

ROCKETTO, L. B., ZENI, M., BRANDALISE, B. M. Utilização de Elastômeros como Modificadores de Impacto em Poliamidas. **Scientia Cum Industria**, v. 4, n 3, p 135-147, 2016.

ROLIM, M. A., **A reciclagem de resíduos sólidos pósconsumo em oito empresas do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

ROSÁRIO, F., PACHEKOSKI, W. M., SILVEIRA, A. P. J., JÚNIOR, S. F. S. H. S., CASARIN, S. A. Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado. **Revista Polímeros**.

SCHIMMELFENIG, C., SANTOS, D. M., BERNIERI, E. Inovação de embalagens. **Revista de Administração e Ciências Contábeis do IDEAU**, 4(9), 1-15. 2009.

SOUZA, S. G. B. **Reciclagem Primária de Não Tecidos de Polipropileno**. Trabalho de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2015.

STEUDNER, S.H., WIEBECK, H.L., CLEMESHA, M.D.R. **Aproveitamento de Resíduos de Rizicultura (casca de arroz) em Compósitos a Base de Arroz**. Dissertação de Mestrado. EPUSP, São Paulo – SP. 2004.

ULTRACKI, L. A., WALSH, D. J., WEISS, R. A. Multiphase Polymers: Blends and Ionomers. In: **Polymer Alloys, Blends and Ionomers**. Washington: American Chemical Society, 1989. P. 2-3.

WAL, A.V.D., MULDER, J.J., GAYMANS, R.J. Fractures of polypropylene: 2. The Effect of Crystallinity. **Polymer**. V. 39, p. 5477 – 5481. 1998.

ANEXOS

Anexo I – Ficha Técnica do PP H103



Folha de Dados

Rev. 5 – Maio/07

H 103

Polipropileno H 103

Subfamília:

Homopolímero

Descrição:

H 103 é uma resina de polipropileno de alto índice de fluidez, aditivada para uso geral. Indicada para moldagem por injeção. O H 103 apresenta excelente processabilidade, bom balanço rigidez/impacto e baixa transferência de odor e sabor.

Aplicações:

Peças de parede fina e elevada razão de fluxo
Embalagens para alimentos e cosméticos
Brinquedos e eletrodomésticos
Tampas com lacre

Processo:

Moldagem por Injeção

Propriedades de Controle:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230° C/2,16kg)	D-1238-L	g/10 min	40

Propriedades Típica^a:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade(23°C)	D-792A	g/cm3	0,905
Módulo de Flexão	D-790	GPa	1,47
Resistência a Tração no Escoamento	D-638	MPa	34
Alongamento no Escoamento	D-638	%	12
Dureza Rockwell	D-785-A	Escala R	96
Resistência ao Impacto IZOD a 23°C	D-256-A	J/m	26
Resistência ao Impacto IZOD a - 20°C	D-256-A	J/m	-
Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) a 1820kPa	D-648	°C	55
Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) a 455kPa	D-648	°C	98
Temperatura de Amolecimento Vicat - 1kg	D-1525	°C	156

a) Ensaios em placa moldada por injeção de acordo com a classificação ASTM D-4101

Observações Finais:

- Esta resina atende à regulamentação para polímeros de olefinas do 21 CFR, seção 177.1520 do FDA Food and Drugs Administration. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
- As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
- Em algumas aplicações, a Braskem tem desenvolvido resinas tailor-made para alcançar características específicas.
- Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
- Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ - Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 9003-07-0.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
- A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
- As resinas Braskem não contêm aditivos compostos por metais ou outras substâncias que tenham o objetivo de promover a oxidação. Tais aditivos e a decomposição e fragmentação de resinas causada pela ação de oxidação comprometem a aprovação da resina com relação aos requisitos da Resolução 105/99 da ANVISA. O uso destes aditivos implica a perda das garantias de desempenho descritas neste documento.

Anexo II – Ficha Técnica do PP H503



Folha de Dados

Revisão 14 (Abril/15)

Polipropileno H 503

Subfamília:

Homopolímero

Descrição:

O H 503 é uma resina de Polipropileno de baixo índice de fluidez, aditivada para uso geral. Indicada para moldagem por injeção, rafia, filmes biorientados e extrusão geral. O H 503 apresenta excelente processabilidade com boa estabilidade do fundido, bom balanço rigidez/impacto e baixa transferência de odor e sabor.

Aplicações:

Tampas *flip-top* e com dobradiças integradas; Peças de parede espessa; Eletrodomésticos; Compostos; Monofilamento para cordas, cabos de amarração, redes de pesca, cerdas para escovas e vassouras; sacarias industriais; cortinas e coberturas para aviário e agricultura.

Processo:

Moldagem por Injeção, Extrusão de Fibras, Extrusão de Rafia.

Propriedades de Controle:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230°C/2,16 kg)	D 1238	g/10 min	3,5

Propriedades Típicas:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm ³	0,905
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	1300
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	35
Alongamento no Escoamento	D 638	%	11
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	97
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	30
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	98
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	55
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	155

a) Ensaios em corpo de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101

Observações Finais:

- Esta resina atende à regulamentação FDA (*Food and Drug Administration*) para polímeros olefinicos do CFR 21 seção 177.1520, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
- As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
- Em algumas aplicações a Braskem tem desenvolvido resinas *tailor-made* para alcançar características específicas.
- Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
- Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ – Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 9003-07-0.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
- A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
- Esta resina não contém a substância Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.