

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DÉBORA NATHÁLIA FERNANDES FLORINDO

OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS
NATURAIS DE BAGAÇO DE MALTE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

PONTA GROSSA

2017

DÉBORA NATHÁLIA FERNANDES FLORINDO

**OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS
NATURAIS DE BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Juliana de Paula Martins

PONTA GROSSA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS NATURAIS DE BAGAÇO DE MALTE

por

DÉBORA NATHÁLIA FERNANDES FLORINDO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado dia 01 de novembro de 2017 ao curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. Os candidatos foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a Juliana de Paula Martins
Prof.(a) Orientador(a)

Prof^a. Ms^a Sandra Mara Kaminski Tramontin
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do curso de
Engenharia Química

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre me dar forças e colocar tantas pessoas especiais em meu caminho.

Aos meus pais Meire e Luiz, minha irmã Dianna e meu noivo e futuro esposo Guilherme, pelo apoio emocional e financeiro, mesmo a distância, por acreditarem em meu potencial .

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Juliana de Paula Martins, pela orientação, compreensão e incentivo para realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas, pela amizade, companheirismo e paciência durante tanto tempo.

Aos Prof^a. Ms Sandra Mara Kaminski Tramontin, Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares e Prof. Ms Maurício de Castro, pela ajuda, apoio e paciência durante a realização deste trabalho, e aos demais professores que durante a graduação cederam seu tempo e conhecimento, despertando cada vez mais minha admiração pela Engenharia Química.

A microcervejaria Shultz Bier por conceder uma das matérias primas necessárias a execução do trabalho, o Bagaço de Malte.

E aos demais, que os nomes talvez não estejam citados, mas que acreditaram que esse sonho se tornaria realidade.

“Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!”
Augusto Cury

RESUMO

FLORINDO, Débora Nathália Fernandes. **Obtenção de Compósitos Poliméricos com Fibras Naturais de Bagaço de Malte.** 2017. 49 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

O desenvolvimento de materiais obtidos de fontes renováveis tem sido fonte de pesquisa que visa suprir uma necessidade de redução dos problemas ambientais ao redor do mundo, causado principalmente pela utilização e descarte de matérias primas de fontes não renováveis. O uso do petróleo, através do craqueamento da nafta para a produção de polímeros vem gerando um grande impacto ambiental, além de seu alto custo. A incorporação de fibras naturais em polímeros vem apresentando potencial de aplicação em diversas áreas industriais, principalmente devido a seu baixo custo e suas propriedades mecânicas e térmicas. Desta maneira, desenvolveu-se a possibilidade de desenvolvimento de compósitos poliméricos com incorporação do resíduo bagaço de malte, um resíduo da indústria cervejeira, com grande potencial lignocelulósico e de baixo valor agregado. As fibras de bagaço de malte foram secas, moidas e peneiradas, a fim de se tornarem homogêneas, e então foram produzidos os corpos de prova com proporções de 5 e 15% de bagaço para análise mecânica. Foram realizados ensaios de tração e flexão, onde foram observados uma diminuição das propriedades mecânicas analisadas conforme o aumento da proporção de fibra, o que é contrário a estudos utilizando este tipo de fibra. Tal resultado pode ser justificado pela não realização de algum tratamento químico prévio na fibra ou não uso de algum agente compatibilizante, e também pela possível variação da concentração celulose e lignina na fibra. Assim sendo, as fibras de bagaço de malte não funcionam como reforço da matriz termoplástica, porém podem ser aplicada em materiais que visam apenas a diminuição do consumo da resina.

Palavras-chave: Bagaço de malte; Compósitos poliméricos; Polipropileno.

ABSTRACT

FLORINDO, Débora Nathália Fernandes. **Obtaining Polymer Composites with Natural Malt Bagasse Fibers**. 2017. 49 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Federal Technology University of Parana. Ponta Grossa, 2017.

The development of materials obtained from renewable sources has been a source of research aimed at meeting a need to reduce environmental problems around the world, mainly caused by the use and disposal of raw materials from non-renewable sources. The use of petroleum, through the cracking of the naphtha for the production of polymers has been generating a great environmental impact, besides its high cost. The incorporation of natural fibers into polymers has shown potential application in several industrial areas, mainly due to its low cost and its mechanical and thermal properties. In this way, the possibility of developing polymer composites with the incorporation of the residue malt bagasse, a residue of the brewing industry, with high lignocellulosic potential and low value added was developed. The malt bagasse fibers were dried, milled and sieved in order to become homogeneous, and then the specimens were prepared with ratios of 5 and 15% bagasse for mechanical analysis. Tensile and bending tests were performed, where a decrease in the mechanical properties was observed as the fiber ratio increased, which is contrary to studies using this type of fiber. This result can be justified by the non-performance of some previous chemical treatment in the fiber or non-use of some compatibilizing agent, and also by the possible variation of the cellulose and lignin concentration in the fiber. Thus, malt bag fibers do not function as a thermoplastic matrix reinforcement, but can be applied in materials that aim only to decrease resin consumption.

Keywords: Malt Bagasse; Polymer composites; Polypropylene.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Polimerização do PP	15
Figura 2: Identificação e simbologia de plásticos recicláveis	17
Figura 3: Etapas genéricas da produção da cerveja.....	20
Figura 4: Combinações possíveis em compósitos.....	21
Figura 5: Lâminas com reforços tipo: (a) unidirecional, (b) bidirecional balanceado, (c) fibras picadas e (d) manta contínua, submetidos a esforços de tração uniaxial longitudinais	22
Figura 6: Bagaço de malte úmido	26
Figura 7: Moinho de facas.....	27
Figura 8: Agitador Eletromagnético.....	28
Figura 9: Ultrapicnometro.....	29
Figura 10:Aparência da fibra de bagaço de malte após peneiramento e seleção da granulometria de 0,250 mm	32
Figura 11: Fibras de Bagaço de Malte mercerizadas (a) 0,25 mol/L NaOH; (b) 0,1 mol/L NaOH	33
Figura 12: Curvas de DTG (a) e TGA (b) para fibra de bagaço de malte	34
Figura 13: MEV fibras de bagaço de malte: (a) in natura 50x; (b) in natura 500x; (c) mercerizadas 0,1mol/L NaOH 50x; (d) mercerizadas 0,1 mol/L NaOH 500x; (e) mercerizadas 0,25mol/L NaOH 50x; (f) mercerizadas 0,25 mol/L NaOH 500x.....	36
Figura 14: Equipamento utilizado para ensaio de Resistência a Tração	37
Figura 15: Gráficos dos valores do ensaio de Resistência a Flexão (a) Tensão Máxima; (b) Tensão Escoamento; (c) Módulo Elástico	38
Figura 16: Aparência dos corpos de prova após ensaio de tração.Amostras com 0% de Malte (a); Amostras com 5% de Malte (b) e Amostras com 15% de Malte (c).....	39
Figura 17: Equipamento utilizado no ensaio Resistência a Flexão	40
Figura 18: Gráficos dos valores do ensaio de Resistência a Flexão (a) Tensão Máxima; (b) Módulo Elástico; (c) Deflexão.....	41
Figura 19: Corpo de prova após ensaio de flexão	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Química das Fibras lignocelulósicas	23
Tabela 2: Mesh e diâmetro das partículas	27
Tabela 3: Composições preparadas	29
Tabela 4: Perfil de Temperatura de Injeção PP	30
Tabela 5: Perfil de Temperatura de Injeção PP + 5% Malte	30
Tabela 6: Perfil de Temperatura de Injeção PP + 15% Malte	30
Tabela 7: Densidade Bagaço de Malte	33
Tabela 8: Dados dos Ensaios Mecânicos de Resistência a Tração.....	37
Tabela 9: Dados dos Ensaios Mecânicos de Resistência a Flexão	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Principais setores consumidores de transformados plásticos.....	16
Gráfico 2: Distribuição das Microcervejarias no Brasil	19

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

PP	Polipropileno
PE	Polietileno
cm	centímetro
g	grama
MPa	Mega Pascal
TGA	Termogravimetria
DTG	Derivada Termogravimétrica

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
ASTM	American Society for Testing and Materials

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	14
2.1	POLÍMEROS	14
2.1.1	Polipropileno	14
2.1.2	Produção de Resinas Plásticas	15
2.2	RECICLAGEM	16
2.3	BAGAÇO DE MALTE	18
2.4	COMPÓSITOS	21
2.4.1	Fibras Naturais	22
2.5	ADESÃO E INTERFACE REFORÇO-MATRIZ	24
2.5.1	Tratamento Alcalino - Mercerização	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	PROCESSAMENTO DAS FIBRAS DE BAGAÇO DE MALTE	26
3.1.1	Tratamento alcalino – Mercerização	28
3.2	PROCESSAMENTO E OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS	29
3.3	ANÁLISES TÉRMICAS DAS FIBRAS	30
3.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	31
3.5	ANÁLISES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS	31
3.5.1	Resistência a tração	31
3.5.2	Resistência a Flexão em três pontos	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	PROCESSAMENTO DAS FIBRAS	32
4.1.1	Tratamento alcalino	32
4.1.2	Caracterização das Fibras	33
4.2	ANÁLISE TÉRMICA DAS FIBRAS	34

4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	35
4.4 ANÁLISES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS.....	37
4.4.1 Resistência a Tração.....	37
4.4.2 Resistência a Flexão.....	39
5 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44
ANEXO A – Ficha Técnica do PP - Braskem.....	48

1 INTRODUÇÃO

A maioria das resinas termoplásticas são produzidas a partir do Petróleo, uma matéria prima não renovável e com grande potencial poluidor. A produção mundial dessas resinas é de aproximadamente 260 milhões de toneladas por ano, sendo o Brasil responsável pela produção de 6,3 milhões de toneladas. Felizmente, o volume de material reciclado vem crescendo. No Brasil, em 2014, 681 mil toneladas foram retiradas do ambiente e destinadas a reciclagem, gerando ganhos econômicos e ambientais.

A partir do século XX, com o crescimento acelerado da industrialização e utilização da tecnologia houve um aumento no consumo e no uso dos recursos naturais, fomentado principalmente pelo desenvolvimento dos materiais poliméricos, que trouxe como principal consequência o desequilíbrio do ecossistema. A preocupação mundial com o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis tem ganhado interesse dos pesquisadores e da sociedade em geral, visando a redução do impacto ambiental e suas consequências, como aquecimento global.

O Brasil apresenta elevado potencial no desenvolvimento e produção de recursos renováveis, como produtos agrícolas e resíduos lignocelulósicos, neste sentido, estudos envolvendo a adição de fibras naturais em matrizes sintéticas poliméricas tem interessado pesquisadores, devido fatores como custos inferiores, biodegradabilidade e principalmente sua origem de fontes naturais, quando comparados a fibras sintéticas, podendo em muitos casos substituir as mesmas sem prejuízos técnicos.

Estudos realizados com fibras naturais como reforço de matriz polimérica utilizam fibras retiradas de farelo de madeira, cana de açúcar, juta, casca do coco, folhas de bananeira e folhas de sisal, em substituição a fibras sintéticas, como a fibra de vidro, aramida e carbono, apresentaram resultados satisfatórios na avaliação das propriedades térmicas e mecânicas, onde o Brasil destaca-se mundialmente pela produção de compósitos utilizando fibras vegetais.

O bagaço de malte possui as propriedades observadas em fibras naturais utilizadas como reforços. Essa biomassa é um subproduto do processo de fabricação de cerveja, que não possui um destino adequado, e que devido ao baixo custo e abundância é geralmente utilizada para a produção de ração animal.

Dentre os estudos publicados sobre o enriquecimento do material polimérico com fibras naturais, a ausência de publicações quanto aos compósitos utilizando bagaço de malte como reforços permite a discussão da viabilidade e da aplicabilidade de tal composição, abrindo

então espaço para condução do trabalho presente, onde almeja-se investigar a viabilidade de sua aplicação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma mistura polimérica de polipropileno com incorporação de resíduo sólido industrial bagaço de malte.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Processar mecanicamente as partículas do resíduo bagaço de malte;
- Caracterizar termicamente essas partículas através de termogravimetria;
- Confeccionar corpos de prova de acordo com norma ASTM D3641 com diferentes proporções de resíduo e polímero;
- Caracterizar os compósitos através de análises de propriedades mecânicas.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 POLÍMEROS

Polímeros são materiais constituídos de macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais, compostas por muitas unidades de repetição, denominadas meros, ligadas por ligação covalente. Os polímeros são baseados em átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e outros elementos não metálicos (PADILHA, 2007). Podem ser divididos em três classes: plásticos, borrachas e fibras, a depender do tipo de monômero e do número de meros por cadeia (CANEVAROLO JÚNIOR, 2002).

Os polímeros plásticos possuem alta massa molecular, e encontram-se em estado sólido na forma de produto acabado. Estes podem ser subdivididos de acordo com seu comportamento mecânico em:

- Termoplásticos: quando expostos a um aumento de temperatura e pressão, possuem a capacidade de amolecer e fluir, solidificando-se quando retirado do processo. Estas aplicações de pressão e temperatura podem ser repetidas sem perdas de propriedades, sendo uma transformação física reversível, e correspondem a 80% dos materiais consumidos. Exemplos: Polietileno (PE), poliamida (NYLON).

- Termorrígidos: quando expostos a aquecimento amolecem rapidamente, e sofrem uma transformação química irreversível, tornando-se rígidos, devido a formação de ligações cruzadas entre as cadeias, onde para a quebra dessas ligações é necessário um nível de energia tão alto que é suficiente para destruir a cadeia polimérica. Aquecimentos posteriores não alteram mais seu estado físico. Exemplos: Resinas epoxídicas, poliuretanos, poliésteres.

- Elastômeros: também conhecidos como borrachas, são estruturalmente similares aos termoplásticos, são materiais conformáveis plasticamente, que podem ser deformados pelo menos duas vezes o seu comprimento, retornando ao tamanho original quando o esfoço é retirado. Exemplos: borracha natural, neopreno (PADILHA, 2007; CANEVAROLO JÚNIOR, 2002).

2.1.1 Polipropileno

O Polipropileno (PP) é um polímero termoplástico pertencente a família das poliolefinas sendo obtido pela polimerização do monômero propileno (ou propeno) e assim como outros polímeros apresenta densidade que varia de acordo com seu grau de cristalinidade,

estando entre $0,86\text{g/cm}^3$ na fase amorfa de e $0,936\text{g/cm}^3$ na fase cristalina. O PP homopolímero é um termoplástico semicristalino obtido da polimerização do monômero na presença de catalizadores (Ziegler-Natta ou metalocêntricos). A Figura 1 apresenta o esquema de polimerização do PP.

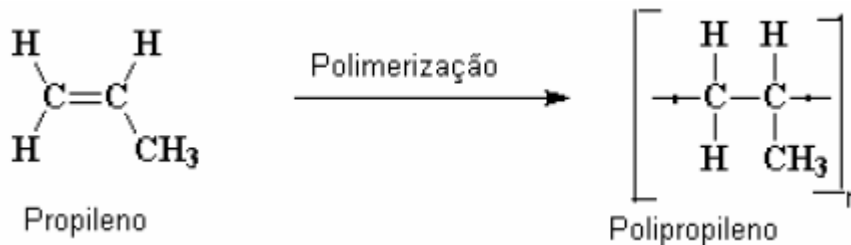


Figura 1: Polimerização do PP

Fonte: Adaptado de Canevarolo (2006)

O PP apresenta um médio índice de fluidez e é indicado para processos de moldagem por injeção e extrusão. É resistente a maioria dos solventes orgânicos e apresenta boa resistência térmica quando comparado a outros termoplásticos. É muito utilizado para aplicações domésticas, tampas com lacre, monofilamento para cordas e redes de pesca (BRASKEM, 2015).

A Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) indica que o PP é a resina termoplástica mais consumida no país, com 19,4% do consumo total, sendo sua principal aplicação na indústria de alimentos (ABIPLAST, 2015).

2.1.2 Produção de Resinas Plásticas

O petróleo e o gás natural são as principais fontes de matérias prima para a produção de plástico, porém apenas 4% da produção mundial de petróleo se destina à indústria de plástico (ABIPLAST, 2015). A produção das resinas plásticas ocorre por meio do processo de destilação fracionada do “óleo cru” extraído nas refinarias. A fração correspondente a obtenção dos monômeros é a nafta, que é sujeita a um processo de craqueamento térmico, que corresponde a um aquecimento na presença de catalisadores, dando origem a diversas substâncias (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Estima-se que, atualmente, a produção mundial de resinas termoplásticas é de aproximadamente 260 milhões de toneladas. A China representa 26% da produção total, seguida da Europa, com 20%, a América Latina representa apenas 5% da produção mundial,

sendo o Brasil responsável pela produção de 6,3 milhões de toneladas ao ano (ABIPLAST, 2015). O Gráfico 1 apresenta os principais setores consumidores de transformados plásticos:

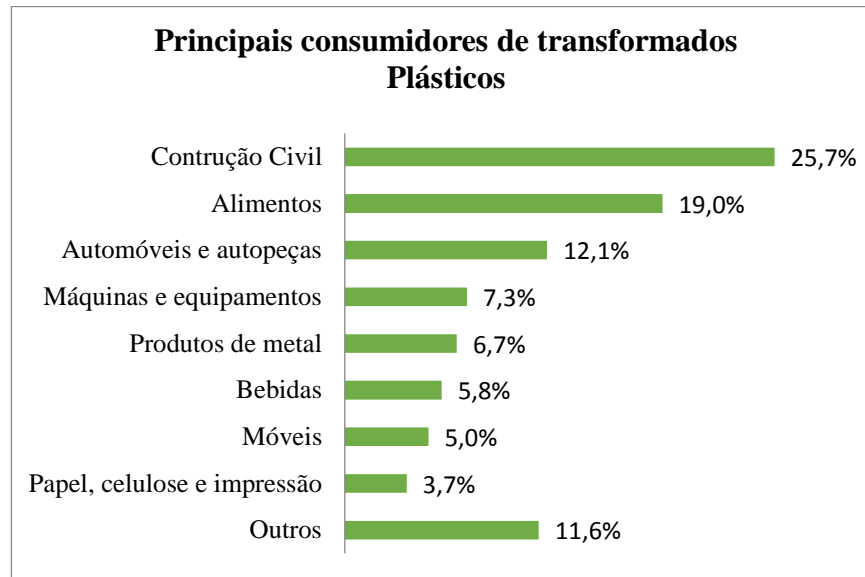


Gráfico 1: Principais setores consumidores de transformados plásticos

Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2015, p. 34).

A ABIPLAST (2015, p. 24) relata que: “O consumo brasileiro per capita de plásticos é de aproximadamente 35 kg/habitante, enquanto países como Japão e Estados Unidos este consumo é de 100kg/habitante”.

2.2 RECICLAGEM

Os produtos plásticos são produtos 100% recicláveis, e com objetivo de facilitar a separação, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece símbolos que identificam os diversos tipos de resinas termoplásticas, visando auxiliar na separação e posterior reciclagem dos materiais de acordo com a sua composição. A Figura 2 apresenta esta identificação.



Figura 2: Identificação e simbologia de plásticos recicláveis

Fonte: Norma ABNT NBR 13230 (2008)

Mano et al (2005, p. 127), relata que “a degradação dos plásticos está associada a mudanças em suas propriedades, causadas por reações químicas envolvendo cisões de ligações na cadeia principal da macromolécula”. Onde essas reações podem ser iniciadas por diversos fatores, tais como, presença de água, luz, pigmentos, temperatura, oxigênio, entre outros.

A reciclagem busca soluções para o descarte dos resíduos pós consumo, e é resultado de diversas atividades, como coleta, separação e processamento, onde materiais aparentemente sem valor são utilizados como matéria prima para a produção de bens (MANO et al, 2005).

A reciclagem é classificada em três grupos:

- Reciclagem mecânica: associada a reutilização de um resíduo para obtenção de outro artefato plástico, por meio de processos de moldagem como, extrusão, injeção, sopro e termoformação, e geralmente envolvem aplicação de calor e pressão, e se aplica a tecnicamente todos os plásticos. (DA SILVA SPINACÉ e DE PAOLO, 2005).
- Reciclagem química: associada a reações de solvólise, definida como reação entre substâncias dissolvidas e moléculas do solvente para formar novas substâncias, pirólise, definida como transformação por aquecimento de uma mistura ou de um composto orgânico em outras substâncias, e degradação termoxidativa, que consistem basicamente na quebra de ligações presentes nas cadeias poliméricas.
- Reciclagem energética: associada ao aproveitamento do valor calorífico do resíduo plástico após sua incineração, para a geração de vapor ou energia elétrica, sendo uma opção quando a reciclagem mecânica não é viável, por motivos técnicos ou econômicos. (COLTRO et al, 2008), (MANO et al, 2005).

A reciclagem apresenta benefícios ambientais como redução no consumo de água e energia elétrica, além de benefícios econômicos. Para cada tonelada de plásticos reciclados no Brasil, estima-se uma economia de R\$1164 por tonelada, sendo que em 2014 foram retiradas do meio ambiente, apenas no Brasil, cerca de 681 mil toneladas de resíduos plásticos pós-consumo, que produziram mais de 615 mil toneladas de materiais plásticos reciclados (ABIPLAST, 2015).

O Brasil produz em média 387 quilos de resíduos por habitante por ano, quantidade similar à de países como Croácia e Hungria e maior que a de nações como México, Japão, ou Coreia do Sul. Em relação a destinação do lixo, o Brasil está mais parecido com a Nigéria, onde apenas 40% vai para o local adequado, enquanto os demais países citados trabalham com taxas de aproximadamente 96% (ESTADÃO, 2016). O número de municípios com coleta seletiva vem crescendo ao longo das décadas, passando de 81 em 1994 para 766 em 2012, porém este valor representa apenas 14% dos municípios brasileiros, e deste total 86% estão localizados nas regiões Sul e Sudeste (CEMPRE, 2013).

O Brasil é líder mundial de recuperação de latas de alumínio, com 98% de reciclagem, consequência do preço atrativo que é o dobro do preço do PET, cinco vezes o preço do papel branco, oito vezes o preço do vidro e 14 vezes o do papelão (FOLHA, 2016). Porém há uma demanda reprimida da reciclagem devido a baixa oferta do material e em relação aos preços do material reciclado, antes mais barato, agora se equiparam ao preço da matéria prima virgem (CEMPRE, 2013).

2.3 BAGAÇO DE MALTE

No Brasil, o setor de bebidas é liderado pela produção de refrigerantes, seguida da produção de cervejas. E mesmo não sendo um setor de trabalho intensivo tem apresentado elevados valores referentes a indústria de transformação (CERVIERI JÚNIOR., 2014).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria da cerveja, CervBrasil (2015), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de cerveja, com a produção de 14 bilhões de litros em 2014, atrás apenas da China e Estados Unidos, porém, é apenas o vigéssimo sétimo em relação ao consumo, com 66,9 litros por pessoa, o maior consumidor é a República Checa, com 147,1 litros por pessoa.

O mercado cervejeiro nacional é bastante amplo, porém, 96% da produção nacional pertence a quatro grandes fabricantes: Ambev, Brasil Kirin, Grupo Petrópolis e Heineken (CervBrasil, 2015). Ainda assim, as microcervejarias vêm ganhando mercado, principalmente

em escala regional. Atualmente o Brasil conta com cerca de duzentas microcervejarias (CERVIERI JÚNIOR, 2014). O Gráfico 2 apresenta a distribuição regional destes empreendimentos:

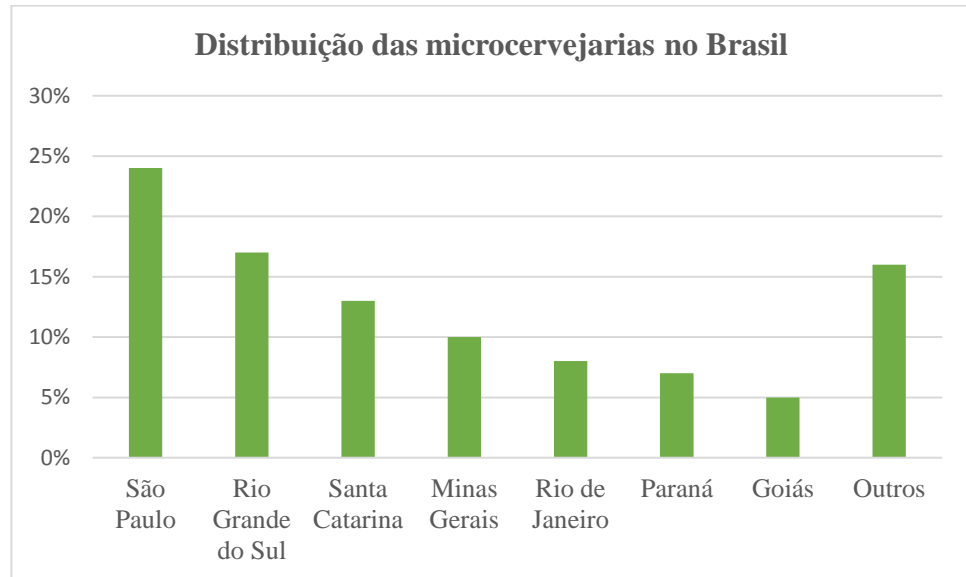


Gráfico 2: Distribuição das Microcervejarias no Brasil

Fonte: Adaptado de CERVESIA (2011)

A maior referência em microcervejarias encontra-se no estado de São Paulo. O Paraná ocupa a sexta posição, com uma representatividade de 7%. Na cidade de Ponta Grossa, estão instaladas unidades de produção da Heineken e Ambev, e ainda cerca de 5 microcervejarias (G1, 2015).

A produção de cerveja é realizada a partir do malte, um produto resultante da germinação parcial dos grãos da cevada, onde ocorre a fermentação da cevada, que consiste na conversão em álcool dos açúcares presentes nos grãos de cevada. A Figura 3 apresenta as etapas gerais de produção da cerveja (RIBEIRO; SANTOS, 2005) :

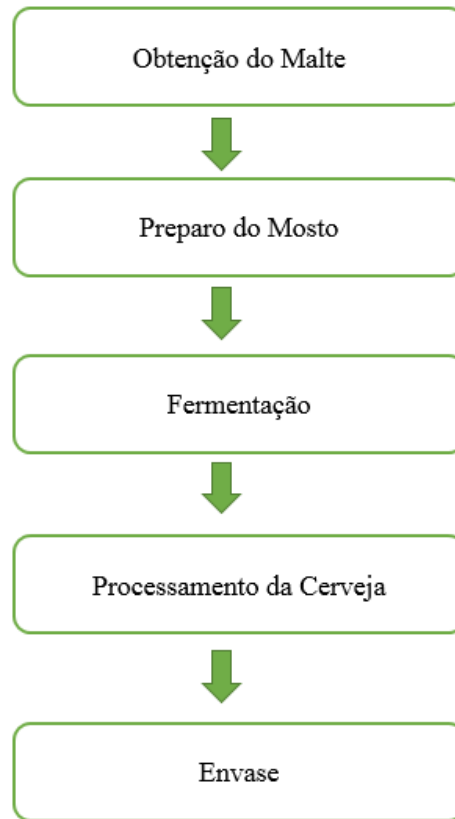


Figura 3: Etapas genéricas da produção da cerveja

Fonte: RIBEIRO; SANTOS, (2005)

O mosto é uma mistura líquida açucarada obtida no início do processo de produção da cerveja por meio da adição de água ao malte, juntamente com calor e lúpulo. O processo de obtenção do mosto consiste basicamente em um cozimento. Após seu preparo o mosto recebe uma levedura e é colocado em tanques para fermentação, onde passa por um processo de maturação. Ao final desta etapa é realizada a filtração, para remoção das partículas sólidas, e então a cerveja é envasada (CERVIERI JÚNIOR, 2014).

Segundo Cervieri Júnior, Osmar et al.:

“A legislação brasileira permite que parte do malte seja substituída por outras fontes de carboidratos fermentáveis, denominadas adjuntos cervejeiros, em uma proporção de até 45% em peso. A lei considera adjuntos cervejeiros os cereais aptos ao consumo humano e os amidos e açúcares de origem vegetal, sendo o milho e o arroz os mais empregados pelas cervejarias brasileiras (CERVIERI JÚNIOR, Osmar et al., 2014, p.108).”

O bagaço de malte é o principal subproduto do processo de produção das cervejarias, formado pela parte sólida obtida da filtração do mosto antes da fervura, tratando-se de um material lignocelulósico, rico em fibras e proteínas que contém, em geral, 17% de celulose, 28% de lignina e 28% de hemicelulose, e esta composição pode variar de acordo com os adjuntos adicionados (MELLO et al, 2013). O volume de bagaço é bastante significativo, para

cada 100 litros de cerveja produzidos são gerados entre 14 e 20 kg de bagaço de malte (CORDEIRO et al, 2012).

Atualmente o bagaço de malte é destinado principalmente para produção de ração animal, devido sua alta concentração de nutrientes e seu baixo custo, mas esta aplicação ainda é insuficiente para consumir todo o resíduo gerado, sendo, na maioria das vezes descartado e tornando-se um poluente ao meio ambiente.

2.4 COMPÓSITOS

A característica básica destes tipos de materiais é combinar, a nível micro ou macroscópico, pelo menos duas fases distintas, denominadas matriz e reforço. A combinação de diferentes materiais permite obter propriedades especiais, não apresentadas isoladamente por nenhum dos seus constituintes. A Figura 4 apresenta as possíveis combinações de matrizes para a obtenção de um compósito (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

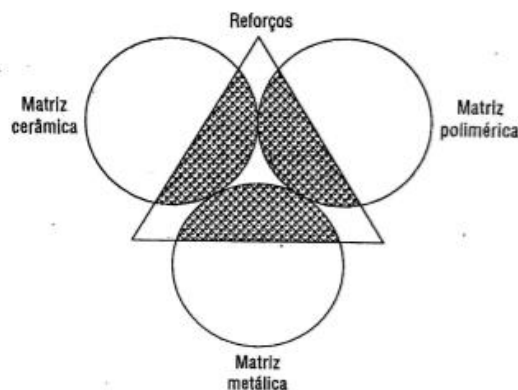


Figura 4: Combinações possíveis em compósitos

Fonte: LEVY NETO; PARDINI (2006)

Os reforços dos compósitos podem apresentar-se em forma de fibras ou partículas. No caso de reforços na forma de fibras, segundo Ribeiro (2014, p. 30) “a configuração geométrica da fibra também irá influenciar, ou seja, pequeno diâmetro e grande comprimento permitem alto valor na relação superfície/volume e por consequência a área interfacial fibra/matriz disponíveis para transferência de tensões será maior”.

Os compósitos reforçados com fibras se dividem de acordo com a orientação do reforço, podendo ser (a) unidirecional, (b) bidirecional balanceado, (c) fibras picadas e (d) manta contínua, conforme apresentado na Figura 5.

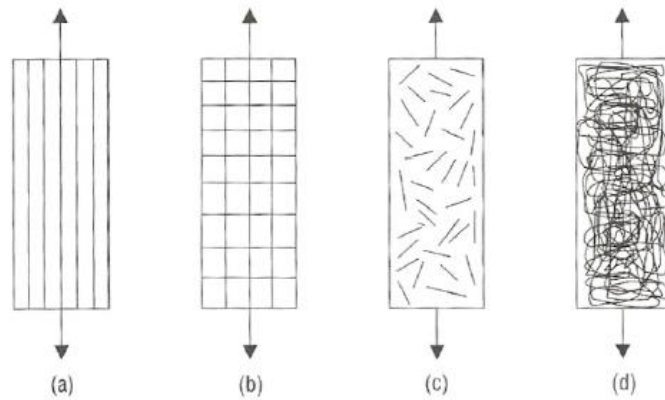


Figura 5: Lâminas com reforços tipo: (a) unidirecional, (b) bidirecional balanceado, (c) fibras picadas e (d) manta contínua, submetidos a esforços de tração uniaxial longitudinal

Fonte: LEVY NETO; PARDINI (2006)

Embora os polímeros termorrígidos sejam responsáveis pela maior demanda de matrizes para compósitos, os polímeros termoplásticos tem se mantido como uma alternativa, devido algumas características como resistência ao impacto, tolerância a danos e maior tenacidade em relação aos termorrígidos. As propriedades mecânicas das matrizes termoplásticas são influenciadas principalmente pelo grau de cristalinidade e orientação da rede, fatores que estão diretamente relacionados as condições de processamento (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

2.4.1 Fibras Naturais

As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas “*in natura*” ou após algum beneficiamento, geralmente simples, e podem ser divididas de acordo com a sua origem, podendo ser de origem animal, vegetal e mineral. A utilização de fibras naturais de origem vegetal tem despertado o interesse de pesquisadores e recebido destaque em virtude da variedade de plantas disponíveis na biodiversidade, e por serem uma fonte de recursos naturais renováveis, que podem ser usados no desenvolvimento de materiais biodegradáveis. Devido sua grande extensão territorial e ampla biodiversidade, o Brasil destaca-se pela disponibilidade desse tipo de recurso, e a utilização adequada destes pode ajudar a minimizar problemas ambientais e energéticos, podendo gerar produtos com relevantes aplicações na indústria (MARENGO; VERCELHEZE; MALI; 2013). As principais fibras nativas vegetais brasileiras que vem sendo estudadas e testadas em compósitos são: sisal, coco, juta, rami, curauá, fibra de bagaço de cana de açúcar e soja (MARINELLI et al, 2008).

Fibras vegetais são constituídas principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, e a composição química destas fibras dependem de fatores como condições de cultivo, idade da planta, local e condições de extração. A Tabela 1 apresenta a composição química de algumas das principais fibras utilizadas como reforço em compósitos poliméricos:

Tabela 1: Composição Química das Fibras lignocelulósicas

Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Sisal	47-62	21-24	7-9
Coco Verde	32-43	0,15-0,25	40-45
Juta	41-48	18-22	21-24
Curaua	73	20	1,5
Bagaço de Cana	32-48	27-32	19-24

Fonte: Adaptado de BENINI (2011, p. 22)

Ishizaki et al (2006, p. 182) relata que:

“Em compósitos polímero-fibra celulósica, a matriz polimérica é responsável pela distribuição da tensão aplicada ao compósito e sua escolha é limitada principalmente pela temperatura necessária ao processamento, já que as fibras lignocelulósicas degradam em temperaturas elevadas. Desse modo, a temperatura de processamento deve ser tal que permita a obtenção de misturas homogêneas, sem ocorrência de degradação de fibra.”

As principais vantagens apresentadas pelas fibras naturais de origem vegetal em comparação com fibras sintéticas são: baixo custo; baixa massa específica; baixa maciez e abrasividade; baixo consumo de energia em sua produção; recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis (FURLAN, DUARTE, MAULER; 2012). E entre as principais desvantagens estão: baixas temperaturas de processamento, usualmente não superiores a 200°C, o que pode afetar negativamente no processamento dos compósitos; seções transversais e geometrias não uniformes; elevada variabilidade nas propriedades mecânicas e baixa estabilidade dimensional; sofrem influências referentes aos efeitos do ambiente, como umidade e temperatura (RIBEIRO, 2014).

As fibras de origem vegetal vem sendo utilizadas como uma alternativa as fibras sintéticas, por serem menos abrasivas que as fibras sintéticas frequentemente utilizadas, como por exemplo a fibra de vidro, e assim provocam um menor desgaste dos equipamentos envolvidos nos processos de processamento das mesmas (SILVA et al, 2009). O espectro de aplicações de compósitos é significativamente amplo, e apresenta diferentes graus de importância nos distintos segmentos industriais, e vem ganhando destaque principalmente na

indústria automobilística e na construção civil, onde o baixo custo apresenta-se como fator predominante, associado ainda ao desempenho estrutural (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Atualmente, o desempenho estrutural dos compósitos sintéticos, em muitos aspectos, ainda supera o dos compósitos naturais. Porém, Levy Neto e Pardini (2006, p. 06) relata que:

“Com a crescente necessidade de se resguardar o meio ambiente das inúmeras agressões oriundas dos processos industriais, bem como minimizar a dependência de recursos não renováveis como o petróleo, e assim, efetivamente promover o desenvolvimento sustentável, o uso de matérias primas de origem vegetal, e portanto renováveis, vem crescendo nos últimos anos”.

2.5 ADESÃO E INTERFACE REFORÇO-MATRIZ

O termo adesão é utilizado para especificar a atração entre substâncias, esta atração refere-se as forças atrativas entre átomos e superfícies. A adesão, no contexto dos compósitos estruturais, está relacionada a alguns fatores:

- Presença de grupos funcionais na fibra;
- Orientação, arranjo atômico, cristalinidade e propriedades químicas do reforço;
- Arranjo geométrico do reforço;
- Conformação molecular e constituição química da matriz (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Segundo Ribeiro a presença de grupos hidrofílicos conferem polaridade as fibras naturais, enquanto as matrizes utilizadas são de polímeros sintéticos. Alguns tratamentos vem sendo utilizados em compósitos com reforços de fibras naturais a fim de melhorar esta adesão, tratamentos como mercerização, tratamento com ácidos, permanganato e peróxido. Ou ainda a partir da adição de agentes de acoplamento ou adesão, estes agentes tem como objetivo interagir com a fibra por ligações covalentes ou interações do tipo ácido-base (RIBEIRO, 2014). O PP é uma matriz que de baixa receptividade que apresenta uma baixa tensão superficial, baixa polaridade e pouca disponibilidade de moléculas para a realização de ligações química. Uma superfície sólida de alta energia é mais propensa a boa adesão, particularmente, se o polímero contém grupos polares funcionais (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

2.5.1 Tratamento Alcalino - Mercerização

Mercerização é o tratamento de fibras de celulose que tem como objetivo limpar a superfície da fibra, removendo parcialmente os constituintes amorfos solúveis em meio alcalino (BENINI, 2011). A merceirização resulta em uma alta adsorção, pois aumenta a área superficial

da fibra, isso ocorre devido a conformação das cadeias de celulose, onde celulose I é transformada em celulose II, produzindo mudanças na resistência da fibra, onde a quantidade de material menos ordenado aumenta, enquanto a cristalina diminui nas fibras (GURGEL, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item serão apresentados os métodos seguidos para a realização do projeto. Os laboratórios utilizados foram o de Operações Unitárias (H-002), de Química Orgânica (H-005), de Vegetais (D-002) e de Ensaio Mecânicos Destrutivos e Não-destrutivos (J1-020), localizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Ponta Grossa. Os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Polímeros Biodegradáveis (Biocycle) do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) Campus São Carlos.

O polímero utilizado no trabalho foi o homopolímero polipropileno H101, cedido pela empresa Braskem, com densidade $0,905\text{g/cm}^3$ e índice de fluidez $10\text{g}/10\text{min}$. A ficha técnica encontra-se no ANEXO A.

3.1 PROCESSAMENTO DAS FIBRAS DE BAGAÇO DE MALTE

Para a realização desta pesquisa foi avaliado o resíduo bagaço de malte como reforço na forma de fibras, o qual foi cedido pela empresa Schultz Bier Microcervejaria, localizada na região de Ponta Grossa/PR. A Figura 6 apresenta o bagaço de malte utilizado.



Figura 6: Bagaço de malte úmido

Fonte: Autoria Própria (2017)

No preparo do reforço, o bagaço de malte foi seco em estufa com circulação e renovação de ar a 45°C durante 24 horas, no Laboratório de Química Orgânica. Em seguida foi triturado em um macro moinho de facas no Laboratório de Vegetais, para a obtenção de partículas em tamanhos menores. A Figura 7 apresenta o moinho utilizado.



Figura 7: Moinho de facas

Fonte: Autoria Própria (2017)

Após serem trituradas, as fibras foram peneiradas com o auxílio de um agitador eletromagnético com peneiras redondas (Bertel – AAKER) por um intervalo de tempo de 10 minutos, de forma que fossem selecionados três tamanhos diferentes de partícula. Esta seleção granulométrica será realizada a partir do número de aberturas por polegadas linear das peneiras escolhidas (mesh), conforme apresentado na Tabela 2, mas somente as fibras que ficaram retidas na peneira de 60 mesh foram selecionadas para a manufatura dos compósitos. A escolha da granulometria deu-se pela quantidade de material disponível, visto a necessidade de uma quantia razoável para o processamento dos compósitos.

Tabela 2: Mesh e diâmetro das partículas

Mesh	20	42	60
Diâmetro médio das partículas (mm)	0,841	0,355	0,250

Fonte: Autoria própria

A Figura 8 apresenta o agitador eletromagnético utilizado no ensaio.



Figura 8: Agitador Eletromagnético

Fonte: Aatoria Própria (2017)

3.1.1 Tratamento alcalino – Mercerização

Após a seleção granulométrica, 50 gramas de fibras foram submersas em uma solução alcalina de NaOH 0,25mol/L e 50 gramas em uma solução em NaOH 0,1 mol/L, onde permaneceram sob agitação constante por 30 minutos em temperatura ambiente. Após o tempo de tratamento as soluções fibras-NaOH foram filtradas e as fibras foram lavadas com água destilada. Em seguida, as fibras foram novamente secas em estufa a 40°C por 24 horas. Onde após a secagem foram avaliadas sua integração ou não aos corpos de prova.

3.1.2 Caracterização das Fibras

As fibras no tamanho desejado para o precessamento foram submetidas a uma análise para determinação de sua densidade em um Ultrapicnometro marca Quntachrome, que são projetados para medir o volume real de materiais sólidos empregando o princípio de Arquimedes de deslocamento de fluido (gás) e técnica de expansão de gás, onde um gás é usado como fluido de deslocamento, pois penetra melhor nos poros do material. São recomendados a utilização de gases com comportamento ideal, como hélio ou nitrogênio. Foram realizadas cinco leituras da densidade. A Figura 9 apresenta o equipamento utilizado.



Figura 9: Ultrapicnometro

Fonte: Autoria própria (2017)

3.2 PROCESSAMENTO E OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

Foram preparados corpos de prova através do processo de injeção com concentrações de fibra de bagaço de malte, 5% e 15% em peso, e também foi processado o polipropileno puro, nas mesmas condições, conforme apresentados na Tabela 3:

Tabela 3: Composições preparadas

Bagaço de malte	PP
0%	100%
5%	95%
15%	85%

Fonte: Autoria Própria

Para o processamento das misturas foi utilizada uma injetora modelo ROMI Prática 130, com razão de aspecto $L/D = 24$ mm, a uma velocidade de 5 rpm em todas as regiões, com perfis de temperatura, nas respectivas temperaturas apresentadas nas Tabelas 4, 5 e 6. Foram padronizadas de acordo com a norma ASTM D3641, para posterior análise mecânica de tração e flexão.

A Tabela 4 apresenta as temperaturas de injeção do PP.

Tabela 4: Perfil de Temperatura de Injeção PP

Região	Bico	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Temperatura (°C)	220	210	205	160

Fonte: Autoria Própria (2017)

A Tabela 5 apresenta as temperatura de injeção do PP com 5% de fibra de Bagaço de Malte.

Tabela 5: Perfil de Temperatura de Injeção PP + 5% Malte

Região	Bico	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Temperatura (°C)	220	205	205	160

Fonte: Autoria própria (2017)

A Tabela 6 apresenta as temperatura de injeção do PP com 15% de fibra de Bagaço de Malte.

Tabela 6: Perfil de Temperatura de Injeção PP + 15% Malte

Região	Bico	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Temperatura (°C)	200	205	205	160

Fonte: Autoria própria (2017)

3.3 ANÁLISES TÉRMICAS DAS FIBRAS

A análise termogravimétrica (TGA) é um processo destrutivo no qual se monitora a variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas.

As amostras das fibras “*in natura*” foram analisadas no Calorímetro de Varredura Setaram Modelo Labsys-EVO, onde foram obtidas as curvas DTG e TGA das fibras, operando sob fluxo de nitrogênio, em uma faixa de temperatura de 40 a 250°C com uma razão de aquecimento de 5°C.min⁻¹, e foi utilizado um porta amostra de alumina.

3.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As amostras das fibras “*in natura*” e mercerizadas foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) marca TESCAM, modelo Vega 3 LMU, operando com uma sonda marca Oxford, utilizando detector de elétrons secundários através da deposição de ouro paládio nas amostras, disponível no laboratório de Preparações Metalográficas, Departamento de Engenharia Mecânica, Ponta Grossa/PR.

3.5 ANÁLISES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS

Os compósitos obtidos foram analisados em uma máquina universal de ensaios mecânicos marca EMIC, modelo DL 10000 BF, no Laboratório de Ensaios Destrutivos e Não Destrutivos.

3.5.1 Resistência a tração

Foram utilizados seis corpos de prova para cada concentração, com velocidade de 50mm/min e célula de carga de 100 kN normalizadas através da norma ASTM D638.

As propriedades mecânicas de resistência a tração, alongamento e módulo de elasticidade em tração foram analisadas e puderam ser comparadas com outras fibras naturais utilizadas como reforços descritas na literatura.

3.5.2 Resistência a Flexão em três pontos

Foram analisados cinco corpos de prova para cada concentração, com dimensões de acordo com a norma ASTM D790, com velocidade de 50 mm/min e carga de 100 kN. As propriedades mecânicas de resistência a flexão e módulo elástico foram avaliados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROCESSAMENTO DAS FIBRAS

O preparo das fibras foi realizado de forma que a umidade presente no resíduo fosse eliminada a fim de evitar a proliferação de microorganismos e evitar a continuação da fermentação do mesmo. No recebimento do resíduo notava-se um considerável teor de água em virtude de seu processamento, a filtração da cerveja. A remoção da umidade foi garantida pela verificação da não variação da massa após um intervalo de tempo de 24 horas. Após sua secagem completa o mesmo foi triturado e peneirado. A Figura 10 apresenta a granulometria de 0,250 mm, escolhida como reforço.



Figura 10: Aparência da fibra de bagaço de malte após peneiramento e seleção da granulometria de 0,250 mm

Fonte: Autoria própria (2017)

4.1.1 Tratamento alcalino

As fibras naturais apresentam comportamentos diferentes quando submetidos a tratamentos químicos devido as modificações superficiais, principalmente porque o método de mercerização provoca a quebra de ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, originando assim superfícies mais rugosas, com maior área de contato.

O tratamento alcalino teve por objetivo avaliar o comportamento da fibra quando submetido a uma solução química. Durante o processo de tratamento alcalino foi possível perceber a liberação de um odor semelhante a saponificação de óleos vegetais, e após a secagem

as fibras adquiriram uma consistência enrijecida, agrupando-se de maneira a perceber que a granulometria havia sido alterada, principalmente na concentração de 0,25 mol/l. A Figura 11 apresenta a aparência das fibras após a mercerização.



Figura 11: Fibras de Bagaço de Malte mercerizadas (a) 0,25 mol/L NaOH; (b) 0,1 mol/L NaOH

Fonte: Autoria própria (2017)

Visto que o objetivo era a avaliação da produção de um compósito com menor gasto de energia possível, e devido tal comportamento da fibra de bagaço de malte e optou-se pela utilização apenas das fibras *in natura* para o processamento dos compósitos.

4.1.2 Caracterização das Fibras

Foram realizados cinco ensaios para determinação da densidade do Bagaço de Malte *in natura*. O peso do material utilizado foi de 3,1866 gramas, a uma temperatura de 23°C, em uma célula de tamanho pequeno, de 20,4647 cm³. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos:

Tabela 7: Densidade Bagaço de Malte

Ensaio	Volume célula (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
1	2,2669	1,4057
2	2,2796	1,3979
3	2,2811	1,3969
4	2,2851	1,3945
5	2,2898	1,3920
Média	2,2811	1,3969

Fonte: Autoria própria (2017)

Pode-se observar que a média de densidade obtida foi de $1,3969\text{g/cm}^3$, apresentando um desvio padrão de $0,1257\%$. Este valor é inferior a quase todos os polímeros termoplástico, que apresentam densidade entre $0,9$ e $1,2\text{g/cm}^3$, exceto o Politereftalato de Etileno (PET) que apresenta a densidade entre $1,2$ e $1,4\text{g/cm}^3$. Essa densidade elevada em relação aos polímeros pode influenciar na incorporação das fibras no compósito, dependendo da escolha de proporção massa/massa ou massa/volume. E é preciso observar também que a fibra pode absorver água por ser um composto natural, logo grandes concentrações de fibra poderiam influenciar negativamente os compósitos.

4.2 ANÁLISE TÉRMICA DAS FIBRAS

As curvas de DTG e TGA das Figuras 12 (a) e (b) apresentam a perda de massa referente a degradação térmica da fibra de bagaço de malte. As análises foram realizadas apenas até a temperatura de 250°C , visto que a degradação do PP é inferior a este valor, aproximadamente 180 a 200°C , logo a temperatura de processamento não foi um problema, visto que a matriz degradaria antes da fibra, porém não foi possível observar todos os picos que poderiam ser apresentados.

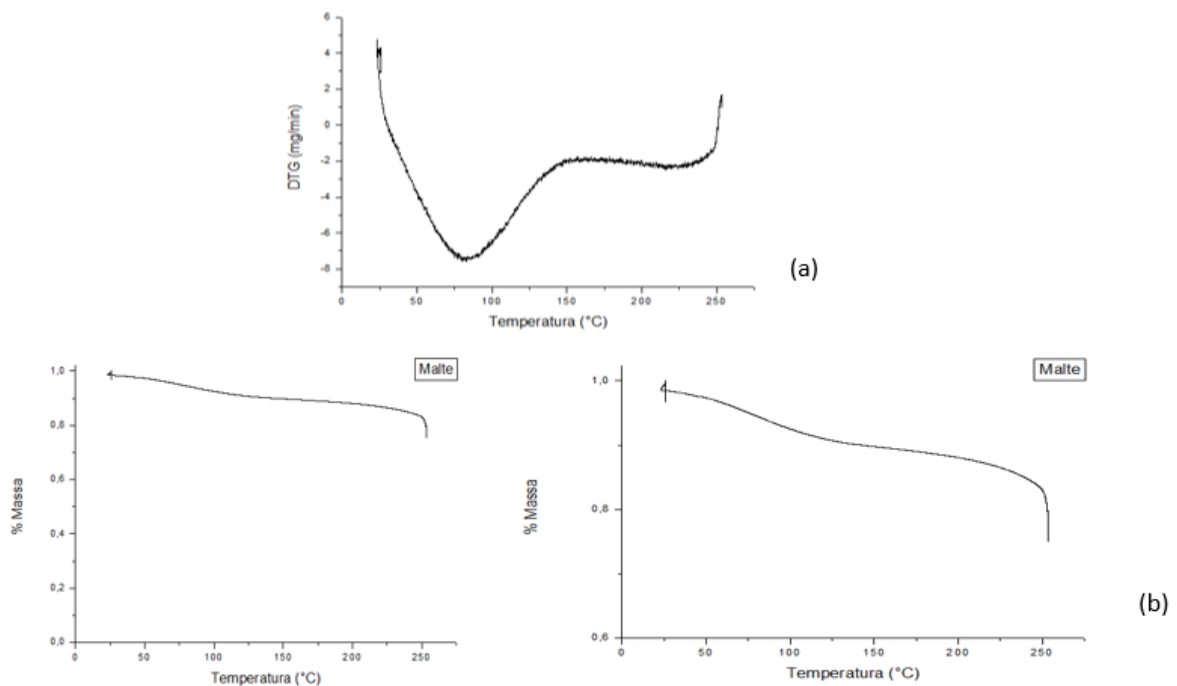


Figura 12: Curvas de DTG (a) e TGA (b) para fibra de bagaço de malte

Fonte: Autoria própria (2017)

Pode-se observar o primeiro pico endotérmico na temperatura de 72,04°C, referente a perda de umidade da fibra. O comportamento térmico de fibras naturais “*in natura*” apresentam características semelhantes, visto que a composição é basicamente a mesma, celulose, lignina e hemicelulose, variando apenas suas concentrações.

Na análise de TGA, pode-se observar que a porcentagem de perda de massa é praticamente estável até 200°C, e apenas a partir de 240°C começa a sofrer uma queda significativa. O esperado é que a degradação completa ocorresse em torno dos 400°C. Benini avaliou a degradação das fibras de coco e bagaço de cana de açúcar em compósitos, obtendo temperaturas de degradação de 426°C para ambas as fibras (BENINI, 2011).

Ainda não existem publicações referentes a degradação térmica do bagaço de malte ou compósitos desenvolvidos com esta fibra, porém o comportamento térmico inicial se mostrou bastante favorável a compatibilização com polímeros termoplásticos devido a temperatura de processamento dos mesmos.

4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As análises por MEV tiveram como objetivo determinar as características das fibras *in natura* e tratadas quimicamente quanto a morfologia e aspecto superficial, avaliando também o efeito do tratamento químico sobre a superfície das mesmas e avaliar. Foram testadas a realização de análises dos compósitos, porém devido uma limitação do equipamento de captar a superfície do material, tornando assim muito difícil a diferenciação das imagens do PP natural e dos compósitos, não foram realizadas essas análises.

As micrografias das fibras de bagaço de malte *in natura*, mercerizadas e do PP estão dispostas na Figura 13.

É possível observar nas imagens da fibra *in natura*, Figura 13 (a) e (b), que apesar da classificação granulométrica existem variações nos tamanhos das fibras. O que se observa também é uma camada lisa superficial, que representa a casca das fibras, associada a ceras e extrativos, além de constituintes como lignina e hemicelulose. Com o tratamento de merceirização de 0,1 mol/L, Figuras 13 (c) e (d), observa-se uma maior adesão das fibras, com uma superfície rugosa devido a remoção da lignina. Com a merceirização de 0,25 mol/L, Figuras 13(e) é possível observar uma grande adesão das fibras, e na Figura 13 (f) é possível observar a formação de “pits”, que são pequenos orifícios distribuídos ao longo das fibras naturais, responsáveis por transportar água e alimento a fibra (BENINI, 2007). Os pits ajudam

na adesão entre a fibra e a matriz polimérica, e estão presentes na maioria das fibras naturais, porém permanecem cobertas pela camada superficial das fibras.

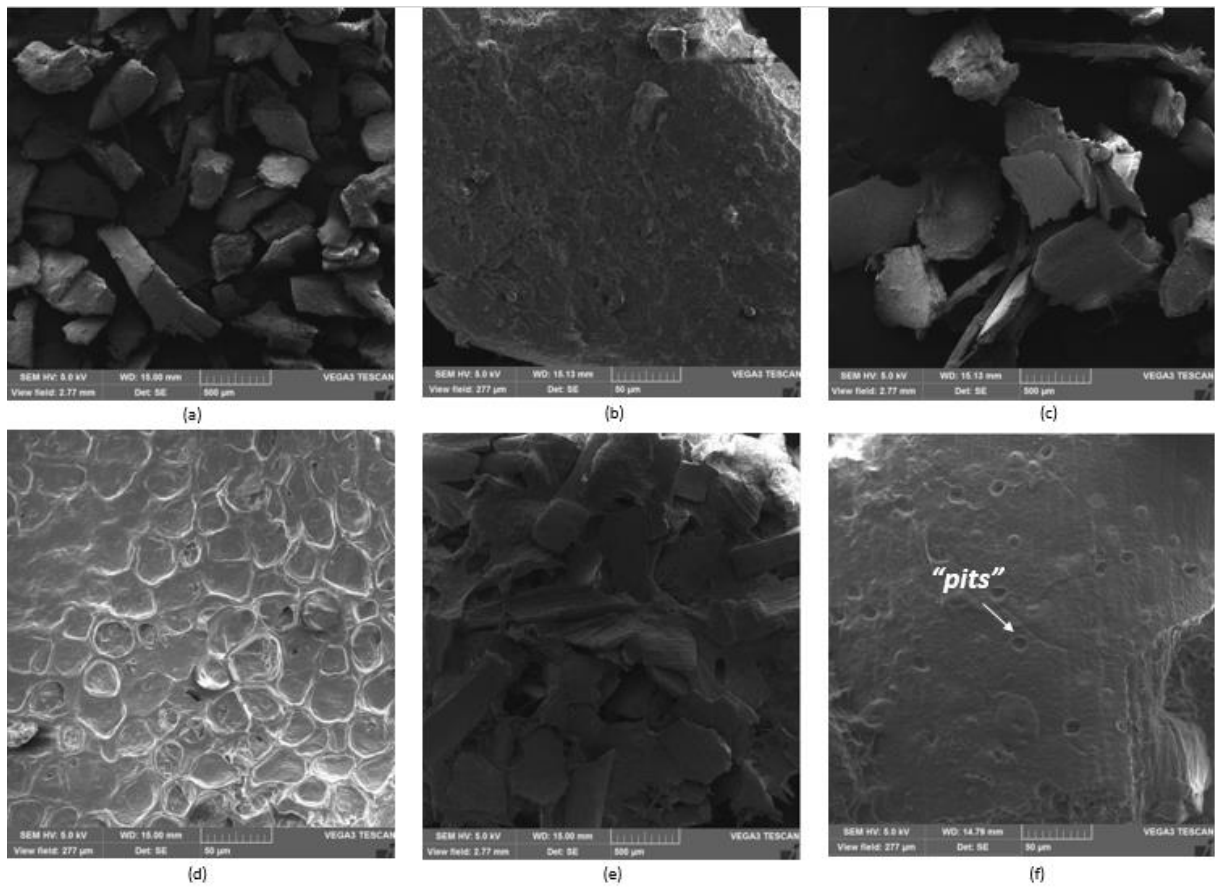


Figura 13: MEV fibras de bagaço de malte: (a) in natura 50x; (b) in natura 500x; (c) mercerizadas 0,1mol/L NaOH 50x; (d) mercerizadas 0,1 mol/L NaOH 500x; (e) mercerizadas 0,25mol/L NaOH 50x; (f) mercerizadas 0,25 mol/L NaOH 500x

Fonte: Autoria própria (2017)

Em geral as fibras naturais apresentam características e propriedades específicas, e a morfologia é responsável, tanto pela adesão da fibra com o polímero, quanto pelas propriedades térmicas e mecânicas desta fibra. A merceirização pode facilitar a adesão fibra-matriz polimérica ou causar alterações na morfologia da fibra.

4.4 ANÁLISES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS

4.4.1 Resistência a Tração

Os testes foram realizados com seis corpos de prova para cada concentração de malte e também para o PP puro. A Figura 14 ilustra o arranjo do equipamento utilizado para realização do ensaio de resistência a tração.

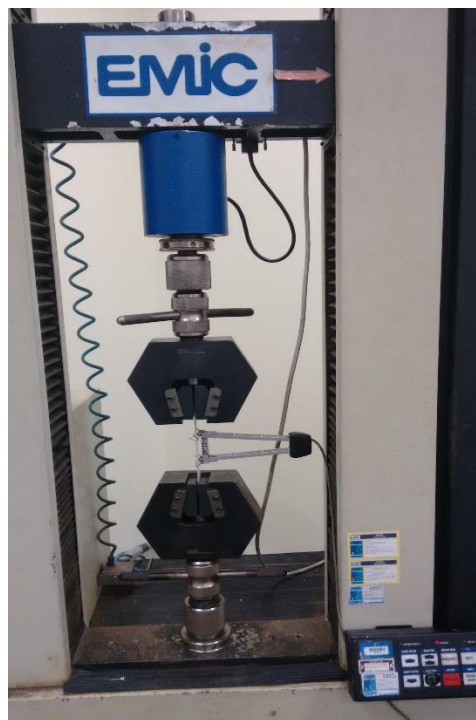


Figura 14: Equipamento utilizado para ensaio de Resistência a Tração

Fonte: Autoria própria (2017)

Os principais dados dos ensaios mecânicos são Tensão Máxima, Módulo de Elasticidade Tensão de Escoamento, que são apresentados pela Tabela 8.

Tabela 8: Dados dos Ensaio Mecânicos de Resistência a Tração

	Tensão Máxima (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
PP	39,97 +/- 0,3439	7,035 +/- 0,2025	724,4 +/- 14,44
5%	35,82 +/- 0,9527	6,98 +/- 0,6154	673,2 +/- 52,92
15%	30,48 +/- 1,374	7,061 +/- 1,050	693,9 +/- 28,65

Fonte: Autoria própria (2017)

Os testes mostram que todos os fatores analisados foram reduzidos com a incorporação das fibras de bagaço de malte, tornando-os assim menores quando comparados ao PP natural com o aumento do volume de fibras adicionado, o que é contrário a pesquisas realizadas no segmento de incorporação de fibras naturais a resinas termoplásticas, que apresentam um aumento dessa resistência. Benini avaliou a adição de fibras de coco e bagaço de cana em compósitos, obtendo um aumento na resistência a tração conforme aumento da concentração de fibras, o mesmo utilizou concentrações de 10, 20 e 30% de fibras, porém obteve uma redução na ductilidade no material, mas um aumento do módulo elástico, o que mostrou-se satisfatório (BENINI, 2011).

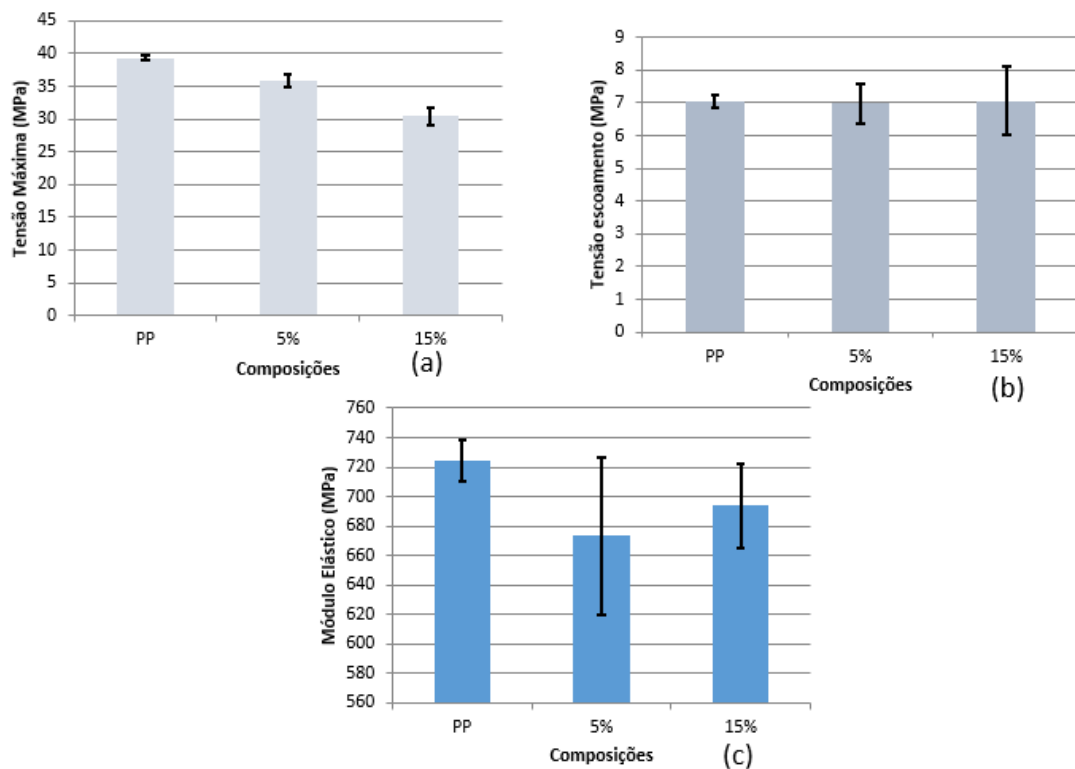


Figura 15: Gráficos dos valores do ensaio de Resistência a Flexão (a) Tensão Máxima; (b) Tensão Escoamento; (c) Módulo Elástico

Fonte: Autoria própria (2017)

É possível observar também um grande desvio padrão no Módulo elástico, o que pode ser associado ao comportamento das rupturas dos corpos de prova após os ensaios. Para o PP sem adição de fibras os corpos de prova 1 e 6 tiveram uma ruptura irregular, o que pode ser justificada pelo ajuste das garras serem feitas manualmente, os demais corpos de prova com

adição de bagaço de malte apresentaram visualmente aspecto de ruptura semelhante, porém também um alto desvio padrão módulo de elástico. A Figura 16 apresenta os corpos de prova após ensaio de tração.

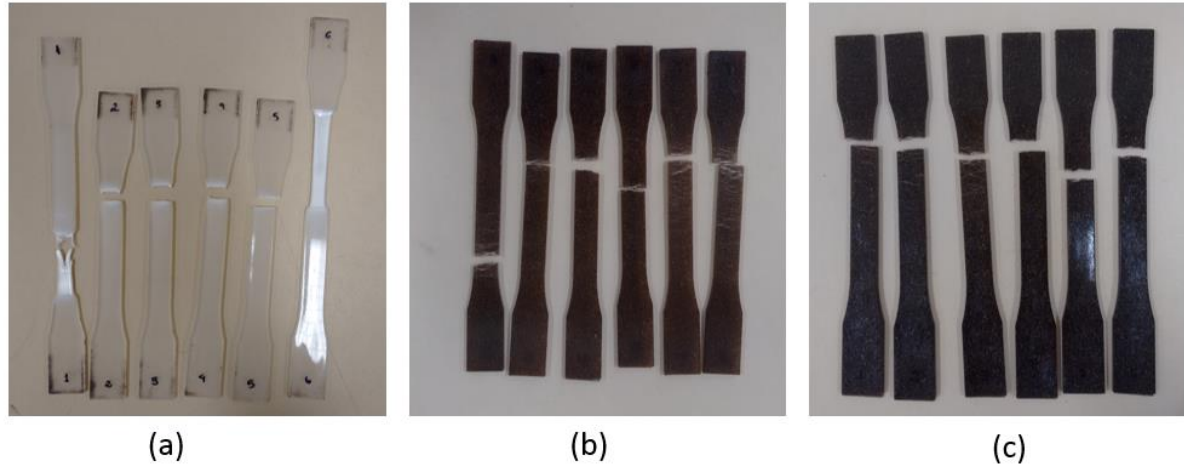


Figura 16: Aparência dos corpos de prova após ensaio de tração. Amostras com 0% de Malte (a); Amostras com 5% de Malte (b) e Amostras com 15% de Malte (c)

Fonte: Autoria própria (2017)

Os corpos de prova de PP adicionados de fibras apresentaram aspectos de ruptura de resinas termofixas, com rachaduras nas rupturas. Foi possível observar também um aumento da porosidade conforme o aumento da concentração da fibra, o que pode ser justificada pela característica higroscópica da fibra. Tais resultados podem ser associados as concentrações diferentes de celulose e demais componentes da fibra e também a não realização de tratamentos químicos na fibra ou adição de agentes plastificantes.

4.4.2 Resistência a Flexão

Os testes foram realizados com cinco corpos de prova para cada concentração de malte e também para o PP puro. A Figura 17 apresenta o arranjo do equipamento utilizados para a realização do ensaio de resistência a flexão.



Figura 17: Equipamento utilizado no ensaio Resistência a Flexão

Fonte: Autoria própria (2017)

Os principais dados dos ensaios mecânicos são Tensão Máxima, Módulo de Elasticidade e Deflexão, que são apresentados pela Tabela 9.

Tabela 9: Dados dos Ensaio Mecânicos de Resistência a Flexão

	Tensão Máxima (MPa)	Deflexão (mm)	Módulo Elástico (MPa)
PP	71,5 +/- 0	9,386 +/- 1,203	2883 +/- 397,8
5%	61,12 +/- 2,654	8,908 +/- 0,7868	2606 +/- 583,7
15%	12,32 +/- 0,5483	7,385 +/- 0,7929	144,3 +/- 16,20

Fonte: Autoria própria (2017)

Durante o ensaio de flexão o mesmo foi conduzido até que os corpos de prova atingissem um ângulo de 90°, então o ensaio era parado manualmente, visto que o corpo de prova após este ângulo poderia escapar dos apoios.

Analisando os dados obtidos foi possível verificar que, assim como no ensaio de resistência a tração, houve uma redução das propriedades mecânicas com o aumento da concentração de bagaço de malte, apresentados na Figura 18, porém foi possível observar uma diferença na tensão máxima e principalmente no módulo elástico, de quase 300%, quando comparamos os dois ensaios com as mesmas concentrações de fibras. Isso pode ser justificado pelo arranjo do ensaio, uma vez que no ensaio de tração o corpo de prova é fixado a garras metálicas e é utilizado um extensômetro, aparelho secundário, para medição da deformação, ou

seja, apresenta uma maior confiabilidade de resultados, enquanto no ensaio de flexão o corpo de prova fica apenas posicionado sobre apoios.

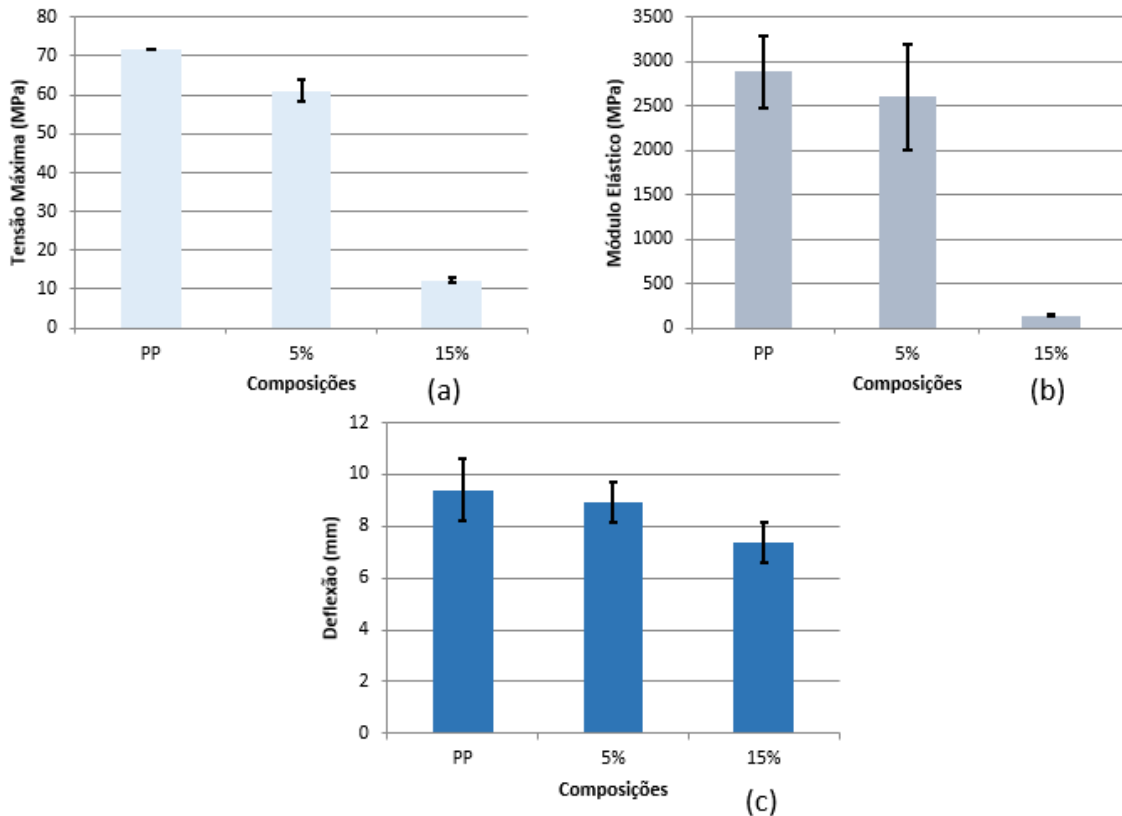


Figura 18: Gráficos dos valores do ensaio de Resistência a Flexão (a) Tensão Máxima; (b) Módulo Elástico; (c) Deflexão

Fonte: Autoria própria (2017)

Verificou-se também que o material tornou-se mais rígido, sofrendo uma deformação irreversível. Na concentração de 15% de malte os compósitos sofreram uma fratura por tração, comportamento característico de resinas termorrígidas, ou seja, uma falha na região tracionada que em alguns casos levou os corpos de prova a ruptura, conforme indicado na Figura 19.



Figura 19: Corpo de prova após ensaio de flexão

Fonte: Autoria própria (2017)

Um fator que pode explicar a trinca na região tracionada são a concentração das fibras na região, que podem alterar e aglomerar a orientação das mesmas, pois fibras com orientação perpendicular a tensão aplicada atuam diminuindo a resistência mecânica do compósito, enquanto fibras paralelamente orientadas observa-se o deslocamento das mesmas (SILVA, 2003). Tais resultados ressaltam a importância de observação da concentração da fibra e do aspecto das mesmas (razão entre comprimento e diâmetro da fibra), o que pode melhorar a adesão e o comportamento interfacial, que são fatores significativos no comportamento mecânico dos compósitos.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise inicial da incorporação do resíduo natural bagaço de malte na composição de compósitos poliméricos. Além disso, permitiu sugestões para possíveis futuros trabalhos.

Diante do trabalho exposto, pode-se concluir que as fibras de bagaço de malte apresentam comportamento térmico semelhante as demais fibras naturais, visto que sua composição é semelhante, porém apresenta uma densidade superior a maioria das resinas termoplásticas, o que requer atenção na escolha da proporção de fibra utilizada.

O tratamento alcalino apresentou resultados que não favorecem a incorporação da fibra a matriz polimérica, visto a grande remoção da camada superficial de lignina e hemicelulose, que acaba apresentando uma grande rugosidade e adesão entre as próprias fibras.

Desta forma pode-se concluir que a fibra não apresenta resultados significativos na utilização como reforço das propriedades mecânicas da maneira que foi utilizada, *in natura*, o que é observado para estudos de fibras de mesma características, visto que ocorrem uma diminuição de todas as propriedades analisadas a proporção que a concentração do bagaço de malte é elevada. Logo, sugere-se que em futuros trabalhos sejam realizados outro tipo tratamento químico da fibra, como tratamento ácido, a fim de melhorar sua estrutura, avaliar o uso de algum agente compatibilizante, para melhor adesão fibra-resina e avaliação de diferentes proporções e tamanhos de partículas da fibra.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Os plásticos**. 2016. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>>. Acesso em: 26/08/2016.

ABIPLAST. **Perfil 2015**. Disponível em:<http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015.pdf> . Acesso em: 13/08/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13230: **Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - identificação e simbologia**. Rio de Janeiro. 2008.

BENINI, Kelly C. C. de C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra de casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

BRASKEN. **Folha de dados Polipropileno H 301**. 2015. Disponível em:

CEMPRE. **Review 2013**. Disponível em: < <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 14/10/2016.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Artliber, 2002. 183 p.

CERVERI JÚNIOR, Osmar et al. O setor de bebidas no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 40, p. 93-129, set. 2014. Disponível em:<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf>. Acesso em: 05/09/2016.

CERVESIA. Soluções em tecnologia cervejeira e gestão de processos. Matthias R. Reinold. 2011. Disponível em: < <http://www.cervesia.com.br/dados-estatisticos/609-o-mercado-cervejeiro-brasileiro-atual-potencial-de-crescimento.html> >. Acesso em: 06/09/2016.

COLTRO, Leda. et al. Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 119-125, 2008.

CORDEIRO, Luana G. Et al. Caracterização do Bagaço de Malte Oriundo de Cervejarias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 20-22, 2012.

DA SILVA SPINACÉ, Márcia A.; DE PAOLI, Marco A.. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

ESTADÃO. **Brasil produz lixo como primeiro mundo, mas faz descarte como nações pobres**. 2016. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/ambiente-se/brasil-produz-lixo-como-primeiro-mundo-mas-faz-descarte-como-nacoes-pobres/>>. Acesso em: 15/08/2017.

FOLHA. **Brasil é campeão mundial na reciclagem de latas de alumínio**. 2016. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2016/06/1784363-brasil-e-campeao-mundial-na-reciclagem-de-latas-de-aluminio.shtml>>. Acesso em 16/08/2017.

FURLAN, Luciano G. et al. Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1499-1501, 2012.

FURLAN, Luciano G.; DUARTE, Ueiler L.; MAULER, Raquel Santos. Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1499-1501, 2012.

G1. **Encontro reúne cervejarias de Ponta Grossa e da região durante dois dias**. Set. 2015. Disponível em:<<http://g1.globo.com/pr/campos-gerais-sul/noticia/2015/09/encontro-reune-cervejarias-de-ponta-grossa-e-da-regiao-durante-dois-dias.html>>. Acesso em: 08/09/2016.

GURGEL, Lenado V. A. **Merceirização e modificação química de celulose e bagaço de cana de açúcar com anidrido succínico e trietilenotetramina: Preparação de novos materiais quelantes para a adsorção de Pb (II), Cd (II), Cr (VI) e Cu (II)**. 2007. 203f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

ISHIZAKI, Marina H. et al. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006.

LEVY NETO, Flamínio; PARDINI, Luiz C.. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 2006. 313 p.

MANO, Eloisa B. MENDES, Luíz C. **Identificação de Plásticos, Borrachas e Fibras**. São Paulo: Edgar Blucher, 2000. 224 p.

MANO, Eloisa B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1991. 197 p.

MANO, Eloisa B.; PACHECO, Élen B. A. V.; BONELLI, Cláudia M. C. . **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 1. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2005. xiv, 182 p.

MARENCO, Vitor A.; VERCELHEZE, Ana E. S.; MALI, Suzana. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. S1, 2013.

MARINELLI, Alessandra L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MELLO, Léa. R. P. F. et al. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. **Anais do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia**, Londrina: UEL, 2013.p. 191-194.

PADILHA, Angelo F. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 2007. 349 p.

PIATTI, Tania M.; RODRIGUES, Reinaldo A. F.. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. **Conversando sobre Ciências em Alagoas**, Maceió, v.1, n.1, p. 1-55, 2005. Disponível em: <<http://www.usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos->

tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em: 28/08/2016.

RIBEIRO, Kairin C. **Obtenção de compostos de polipropileno com pectina cítrica**. 2014. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

SANTOS, Eder M. et al. Determinação do Parâmetro de Solubilidade de Poliuretanos de PBLH. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 64-69, 2000.

SILVA, Rafael et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SILVA, Rosana V. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais, 2003. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ANEXO A – Ficha Técnica do PP - Braskem

Polipropileno H 301

Subfamília:

Homopolímero

Descrição:

O H 301 é um polipropileno de médio índice de fluidez, com distribuição normal de peso molecular e aditivado para uso geral. É indicado para processos de moldagem por injeção e extrusão de fibras. Este produto apresenta excelente processabilidade com boa estabilidade do fundido, bom balanço rigidez/impacto e baixa transferência de odor e sabor.

Aplicações:

Utilidades domésticas; Tampas com lacre ou *flip-top*; Tampas injetadas para uso geral; Monofilamento para cordas, redes de pesca.

Processo:

Moldagem por Injeção

Propriedades de Controle:

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

Propriedades Típicas^{a)}:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm ³	0,905
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	1350
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	34
Alongamento no Escoamento	D 638	%	11
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	98
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	25
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	103
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	53
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	153

a) Ensaios em corpo de prova moldado por injeção conforme ASTM D-4031.

Observações Finais:

- Esta resina atende à regulamentação FDA (Food and Drug Administration) para polímeros destinados ao CFR 21 seção 177.1530, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes não 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 íntimo com o corpo humano.
- Esta resina não contém a substância Bifenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.