

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**GLAYCE CASSARO PEREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HIPS/BAGAÇO DE CANA E  
CONFECÇÃO DE MANUAL OPERACIONAL PARA APLICAÇÃO NA  
INDÚSTRIA DE PET SHOP**

**VOLTA REDONDA  
2016**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HIPS/BAGAÇO DE CANA E  
CONFECÇÃO DE MANUAL OPERACIONAL PARA APLICAÇÃO NA  
INDÚSTRIA DE PET SHOP**

Dissertação apresentada ao Mestrado profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro, na área de Processamento e Caracterização de Materiais Reciclados e Compósitos, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos.

Aluna:

Glauce Cassaro Pereira

Orientador:

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

**VOLTA REDONDA**

**2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

P436c Pereira, Glayce Cassaro.  
Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana e confecção de manual operacional para aplicação na indústria de Pet Shop. / Glayce Cassaro Pereira - Volta Redonda: UniFOA, 2016.

72 p. : II

Orientador(a): Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em  
Materiais, 2016

1. Materiais - dissertação. 2. Compósito. 3. Poliestireno. 4. Bagaço de cana de açúcar. I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Aluno: Glayce Cassaro Pereira**

**CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HIPS/BAGAÇO DE CANA E  
CONFEÇÃO DE MANUAL OPERACIONAL PARA APLICAÇÃO NA  
INDÚSTRIA DE PET SHOP**

Orientador:

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Banca Examinadora



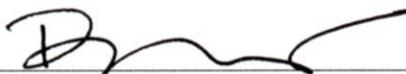
---

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro



---

Profa. Dra. Cristina de Carvalho Ares Elisei



---

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela oportunidade de mais uma conquista em minha vida.

Agradeço aos meus pais Maria Helena Cassaro dos Santos e Sérgio Luiz Pereira dos Santos por me apoiarem e me incentivarem a continuar, mesmo depois de tudo que passamos.

Ao meu amor e companheiro de vida Cláudio Nunes Nascimento, pelo apoio, compreensão e por sempre estar presente em todas as horas.

Ao meu filho Cauã Cassaro Pereira Nunes, que trouxe um novo sentido pra minha vida, me dando novo ânimo para seguir em frente.

À minha família que de alguma forma contribuíram pra mais essa conquista.

Aos colaboradores técnicos e professores que me ajudaram nos ensaios.

Aos colegas e professores do MEMAT, sempre empenhados e dispostos a ajudar.

E principalmente ao meu orientador professor Dr. Sérgio Roberto Montoro, pela paciência, compreensão e dedicação, que sem ele nada seria possível.

PEREIRA, G. C., **CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HIPS/BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PET SHOP**. 2016. 53f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda – RJ.

## RESUMO

Nos últimos anos houve um grande avanço tecnológico no desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais. Esse aumento do interesse das indústrias e grupos de pesquisa em desenvolver e utilizar materiais feitos a partir de matérias primas renováveis, se deu principalmente pelo grande apelo mundial para a utilização de produtos naturais e pela preservação do meio ambiente. As fibras de bagaço de cana têm sido muito estudadas para a utilização de reforço em polímeros. O presente trabalho visou a caracterização de compósitos reforçados com bagaço de cana de açúcar em matriz de poliestireno de alto impacto (HIPS), tendo como objetivo uma possível substituição dos materiais utilizados atualmente na indústria de produtos para *pet shop* (para animais). Todos os compósitos foram gentilmente cedidos pela UNESP – Campus de Guaratinguetá. Foram caracterizadas três famílias de compósitos, nas proporções de 10, 20 e 30% (m/m). Os compósitos foram caracterizados pelas técnicas de picnometria de hélio, dureza Shore A, resistência ao impacto e índice de fluidez. A partir das análises de picnometria de hélio, verificou-se que a adição da fibra de bagaço ao HIPS não acarretou um aumento na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao HIPS puro. Os resultados da dureza Shore A indicaram que a adição da fibra de bagaço ao HIPS não acarretou alterações nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao HIPS puro. Com os resultados de resistência ao impacto foi possível constatar que a adição da fibra de bagaço ao HIPS acarretou uma diminuição na resistência ao impacto, quando comparados ao HIPS puro. Dessa forma, com a adição de fibras de bagaço no HIPS obteve-se um material com até 30% menos polímero e com propriedades mecânicas viáveis para determinadas aplicações do HIPS, em que o custo e a dureza Shore A são mais importantes que a resistência ao impacto. A partir das análises para a determinação do índice de

fluidez, a inserção de 20% de fibras de bagaço não ocasionou uma redução considerável no IF do HIPS, tornando-se assim, viável. E mesmo com a inserção de 30% de fibras de bagaço, a redução do IF do HIPS ainda pode ser considerada viável, dependendo do tipo de peça que será injetada.

**PALAVRAS-CHAVE:** compósito; poliestireno; bagaço de cana de açúcar; pet shop.

PEREIRA, G. C, **CHARACTERIZATION OF COMPOSITE HIPS / SUGAR CANE MARC FOR POSSIBLE APPLICATION IN THE PET SHOP INDUSTRY.** 2016. 53f. Dissertation (Professional Master of Materials) – Fundação Oswaldo Aranha Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda - RJ.

### **ABSTRACT**

In recent years there has been a major technological breakthrough in the development of composite materials reinforced with natural fibers. This increased interest research groups and industries to develop and use materials made from renewable raw materials was mainly the great worldwide appeal for the use of natural products and the preservation of the environment. The sugarcane bagasse fibers have been studied for the use of reinforcement in polymers. This study aimed to characterize composites reinforced with sugar cane bagasse in high impact polystyrene matrix (HIPS), aiming a possible replacement of the materials currently used in products industry for pet shop (for animals). All composites were kindly provided by UNESP - Guaratinguetá. Three families of composites were characterized in the proportions of 10, 20 and 30% (m / m). The composites were characterized by helium pycnometer techniques, Shore A hardness, impact resistance and melt index. From the analysis of helium pycnometer, it was found that the addition of bagasse fiber to HIPS did not cause an increase in density of the processed composites compared to pure HIPS. The Shore A hardness results indicated that the addition of the HIPS pulp fiber did not cause changes in hardness values of the composite compared to pure HIPS. With the impact strength results it was found that the addition of the HIPS bagasse fiber caused a decrease in impact resistance compared to pure HIPS. Thus, with the addition bagasse fibers in HIPS was obtained a material with up to 30% less polymer and viable mechanical properties for certain applications of HIPS, where the cost and Shore A hardness are more important than the resistance to impact. From the analysis to determine the flow rate, the inclusion of 20% bagasse fibers did not cause a considerable reduction in IF HIPS if torando-thus its viability. And even with the inclusion of 30% bagasse fibers,

reduction of HIPS IF it can still be considered feasible, depending on the type of piece to be injected.

**KEYWORDS:** composite; polystyrene; bagasse from sugar cane; pet shop.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Sistema de classificação de compósitos com relação á matriz .....	17
<b>Figura 2</b> – Estrutura química do poliestireno .....	20
<b>Figura 3</b> – Principais tipos de Compósitos .....	22
<b>Figura 4</b> – Associação dos componentes da parede celular de fibra vegetal em vista (a) transversal; (b) longitudinal .....	24
<b>Figura 5</b> – Fibras de bagaço (a) após extração; (b) moída; (c) mercerizada; (d) branqueadas .....	31
<b>Figura 6</b> – Mercado Brasileiro em constante crescimento .....	32
<b>Figura 7</b> – Faturamento do Mercado Pet Brasileiro em 2015 .....	33
<b>Figura 8</b> – (a) Máquina PANTEC para ensaio de impacto Izod; (b) detalhe na colocação do CDP de impacto e (c) detalhe do CDP rompido após a realização do ensaio de impacto .....	35
<b>Figura 9</b> – Analisador de Densidade Real, marca Quantachrome Instruments, modelo Ultra Foam 1200e .....	37
<b>Figura 10</b> – Durômetro portátil, marca CV Instrument Limited, modelo CV Shore Durometers – Analogue .....	38
<b>Figura 11</b> - Gráfico Tensão x Deformação para o HIPS e para os compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar .....	41
<b>Figura 12</b> – Resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/ Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar .....	42
<b>Figura 13</b> – Resultados de Dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar .....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos ....	19
<b>Tabela 2</b> – Relação de dureza .....	38
<b>Tabela 3</b> – Resultados da resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar .....	40
<b>Tabela 4</b> – Alongamento total do HIPS puro e dos compósitos com fibras de bagaço de cana, obtido no trabalho realizado por BENINI (2011) .....	41
<b>Tabela 5</b> – Tabela comparativa dos resultados das massas específicas dos compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar .....	43
<b>Tabela 6</b> – Resultados de Dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar .....	43
<b>Tabela 7</b> – Resultados dos valores de índice de fluidez .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**CD** – Compact Disc

**CDP** – Corpo de Prova

**DMT** – Departamento de Materiais e Tecnologia

**EEL** – Escola de Engenharia de Lorena

**FEG** – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

**HIPS** – High-Impactic Poly Styrene (Poliestireno de Alto Impacto)

**IF** – Índice de Fluidez

**ISO** – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

**MEV** – Microscopia Eletrônica de Varredura

**MFI** – Índice de Fluidez

**PE** – Polietileno

**PET** – Politereftalato de etileno

**PP** – Polipropileno

**PS** – Poliestireno

**PSAI** – Poliestireno de alto impacto

**PVC** – Policloreto de vinila

**UNESP** – Universidade Estadual Paulista

**USP** – Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1. Objetivo e Justificativa .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	16
2.1 Compósitos .....	16
2.1.1. Matriz .....	17
2.1.1.1. Polímeros .....	17
2.1.1.2. Compósitos com matrizes Poliméricas .....	18
2.1.2. Reforços .....	21
2.1.2.1. Fibras Naturais .....	23
2.1.2.2. Bagaço de Cana de Açúcar .....	26
2.1.2.3. Compósitos de Fibras Naturais .....	27
2.1.2.4. Tratamento Químico das Fibras Naturais .....	30
2.2. Aplicação no Setor Pet .....	31
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
3.1. Materiais .....	34
3.1.1. Compósitos .....	34
3.2. Métodos .....	34
3.2.1. Resistência ao Impacto .....	34
3.2.2. Picnometria de Hélio .....	36
3.2.3. Dureza de Shore A .....	37
3.2.4. Índice de Fluidez .....	39
<b>4. RESULTADOS</b> .....	40
4.1. Resistência ao Impacto .....	40
4.2. Picnometria de Hélio .....	42
4.3. Dureza de Shore A .....	43
4.4. Índice de Fluidez .....	44
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	48
<b>7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

O interesse por produtos com menor impacto ambiental vem crescendo nos últimos anos e com isso favorecendo o desenvolvimento de novas tecnologias. Sendo assim, os materiais plásticos sintéticos têm sido alvo de estudos, pela dificuldade na sua reciclagem, por não serem biodegradáveis, e por gerarem grande acúmulo deste tipo de material em lixões, depósitos, e na própria natureza (MARINELLI et al, 2008).

Com o intuito de garantir à preservação ambiental, no que diz respeito a compósitos poliméricos, várias pesquisas e trabalhos já foram e estão sendo realizadas, favorecendo um melhor padrão de vida da sociedade em geral. As Fibras Naturais vêm se destacando nas pesquisas nesta área, por atenderem a busca por aplicação de modificadores naturais (BALZER, 2007).

Joshi et al (2004), compararam o ciclo de vida de dois compósitos, um com fibras de vidros e o outro com diferentes fibras naturais, e a conclusão foi que as fibras naturais são ambientalmente superiores em se tratando de aspectos ambientais. Para se obter o mesmo desempenho que os compósitos com fibras sintéticas, é necessário uma maior quantidade de fibras naturais, e esse fato pode contribuir para a redução da poluição associada à quantidade de polímero. No final do ciclo de vida, esse material pode ser incinerado, favorecendo o fornecimento de energia e de créditos de carbono.

Dentre as fibras naturais que podem ser utilizadas para esta aplicação estão: rami, juta, fibra de coco, sisal, fibra de bagaço de cana-de-açúcar, entre outras (PAULA, 2011).

O bagaço de cana é o subproduto produzido em maior escala na agroindústria brasileira, com sobras anuais estimadas em torno de 90 milhões de toneladas (base seca) (PAIVA et al, 1999).

No presente trabalho a matriz polimérica utilizada foi o poliestireno de alto impacto (do inglês *High-Impactic Poly Styrene* - HIPS), que é um termoplástico muito utilizado em componentes industriais, como peças internas e externas de aparelhos eletrônicos, guarda-chuvas, microcomputadores e toda a linha branca de eletrodomésticos. Entretanto, esse polímero é ainda pouco estudado como matriz de compósitos reforçados com fibras naturais. Dentro deste contexto, o presente

trabalho visa à caracterização de compósitos reforçados com bagaço de cana de açúcar em matriz de HIPS, tendo como objetivo uma possível substituição dos materiais utilizados atualmente na indústria de produtos para animais de estimação.

### **1.1. Objetivo e Justificativa**

O objetivo principal desse trabalho é avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos HIPS-bagaço, visando à substituição dos materiais utilizados atualmente na indústria de produtos para pet shop (animais), introduzindo assim o mercado pet, no ramo de reciclados, reduzindo o impacto ambiental.

Desta forma, foram necessárias as seguintes etapas de caracterização:

- confecção de corpos-de-prova para os ensaios mecânicos de resistência ao impacto;
- Pícnometria de Hélio para determinação da massa específica dos compósitos;
- determinação da Dureza Shore A;
- determinação do Índice de Fluidez;

Além disso, por se tratar de um mestrado profissional será confeccionado um manual (produto) contendo os principais parâmetros que um HIPS reforçado tem que ter para ser aplicado na confecção da casinha para cães.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Compósitos

A adição de cargas reforçantes é uma prática antiga na indústria com o principal objetivo de redução de custos. O fato de poder alterar as propriedades dos materiais com a adição de cargas corretas e em concentrações apropriadas, vem gerando uma nova classe de materiais e conseqüentemente uma nova visão dessa antiga técnica. Estes materiais são denominados compósitos (PAULA, 2011).

Um compósito pode ser considerado um material multifase que exhibe uma combinação de propriedades, possibilitando assim, desempenho melhor desse material frente a cada fase da sua composição, caso essas fossem empregadas individualmente (VERA, 2012).

Segundo FONSECA (2005), compósitos são materiais resultantes da mistura ou combinação de dois ou mais constituintes, que se diferem na forma e composição química e que são essencialmente insolúveis um no outro, com a finalidade de se obter qualidades superiores aos seus constituintes individualmente. Sendo assim, os constituintes do compósito, separadamente, mantêm suas características, mas, quando misturados, são capazes de formar um composto que apresenta propriedades impossíveis de se obter com apenas um deles.

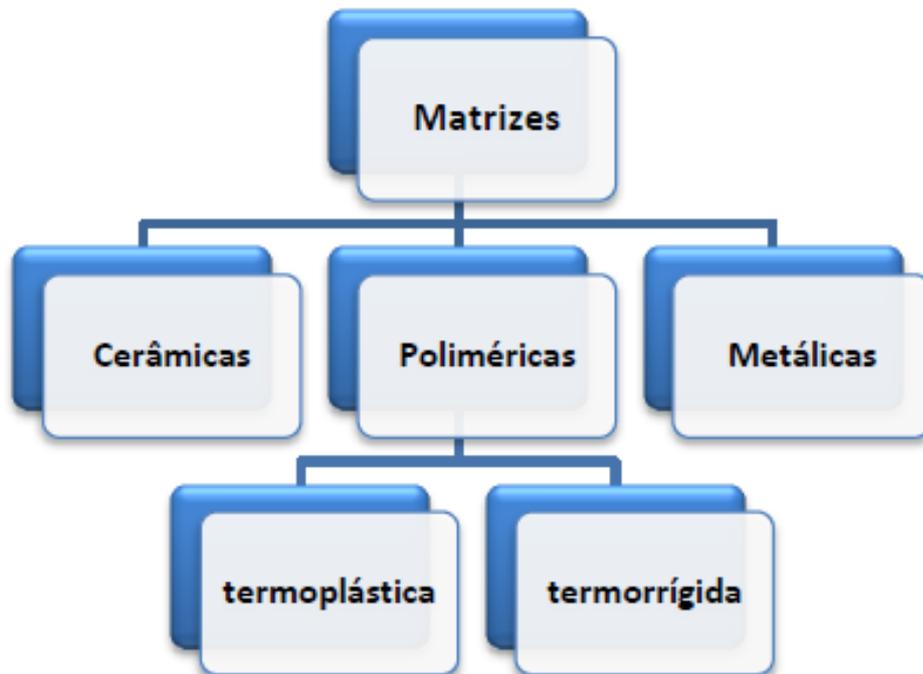
Os compósitos representam um caso de particular importância na classe dos materiais de engenharia, correspondendo a materiais heterogêneos, com pelo menos duas fases distintas, chamada reforço e a outra chamada matriz. O reforço é uma das fases descontínua e é quem fornece a principal resistência ao esforço. Já a matriz, é a fase contínua, que corresponde ao meio de transferência desse esforço. Assim, as distribuições e interação existentes entre as propriedades dos constituinte influenciam fortemente nas propriedades dos compósitos. O objetivo de ter um compósito, combinando reforço e matriz é ter como resultado um material específico para cada tipo de aplicação desejada (RAMIRES, 2010.)

Os compósitos são produzidos de forma a obter combinações de propriedades como resistência ao impacto, tenacidade, baixa densidade, dureza, condução, resistência a altas temperaturas e corrosão (ZANGIACOMI, 2006).

### 2.1.1. Matrizes

O fato da matriz, preencher os espaços vazios existentes entre os materiais e reforços e mantê-los em suas posições relativas, é o que confere estrutura ao material compósito. Há uma grande diversidade de materiais que podem ser empregados como matriz no preparo de compósitos (SANTOS, 2012). Estes materiais utilizados como matriz podem ser classificados de acordo com o esquema representado na Figura 1.

**Figura 1.** Sistema de classificação de compósitos com relação à matriz.



Fonte: MATTHEWS; RAWLIN, 1994.

#### 2.1.1.1. Polímeros

A palavra polímero vem de origem grega, onde poli significa muitos e mero, unidades de repetição, ou seja, são materiais compostos por macromoléculas, onde a repetição de uma unidade básica chamada mero, formam suas cadeias. (SAKAHARA, 2012).

Materiais poliméricos são considerados indispensáveis à vida moderna, no entanto, devido ao contínuo desenvolvimento de novas tecnologias, torna-se cada vez mais difícil encontrar um polímero que possua todas as características necessárias para uma determinada aplicação, seja devido as propriedades mecânicas, formas de obtenção ou custo. Assim, os polímeros são cada vez mais utilizados como matrizes no desenvolvimento de compósitos. Devido às vantagens dos polímeros em relação aos demais materiais, como as cerâmicas e os metais, na facilidade de processamento, baixo custo, elevada aplicabilidade e ao mesmo tempo versatilidade, os compósitos com matrizes poliméricas desenvolveram-se rapidamente e logo foram aceitos tanto pelas indústrias como pelo mercado consumidor (RAMIRES, 2010).

#### **2.1.1.2. Compósitos com Matriz Polimérica**

Compósitos com matrizes poliméricas possuem diversas aplicações, desde a indústria automotiva, naval e aeroespacial, passando por aplicações militares, dentre outras (SURESH et al, 2011).

Segundo GONÇALVES (2010), há dois tipos de matrizes utilizadas em compósitos poliméricos que são nomeados como termorrígidos e termoplásticos. A principal diferença entre cada um está no comportamento destes materiais quando aquecidos.

Os termoplásticos são polímeros que têm como característica poderem ser moldados várias vezes, pois quando submetidos ao aquecimento, a uma certa temperatura se tornam-se fluidos e depois havendo um decréscimo na temperatura, se solidificam. Por outro lado, os termorrígidos não são capazes de se tornarem fluidos, pois, durante o processo de cura que é normalmente exotérmico, sofrem reações químicas irreversíveis com a formação de uma grande quantidade de ações cruzadas entre as cadeias macromoleculares, tornando-se rígido, infusível e insolúvel (GONÇALVES, 2010).

A Tabela 1 apresenta as principais características dos polímeros termoplásticos e termorrígidos.

**Tabela 1** – Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.

<b>Termoplásticos</b>	<b>Termorrígidos</b>
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento.
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso limitada à Tg e Tm.	
Baixa estabilidade térmica e dimensional.	Alta resistência térmica e dimensional

**Fonte:** PAULA, 2011.

As resinas termofixas são fornecidas na forma de um líquido viscoso que, após a adição de produtos químicos apropriados denominados iniciadores de reação, ou catalisadores, como são normalmente, porém incorretamente conhecidos, transforma-se do estado líquido para o sólido, irreversivelmente, devido às ligações entre as cadeias de polímeros, processo este chamado de cura (ou polimerização) da resina (ABMACO, 2010).

A grande vantagem dos polímeros termofixos está em sua elevada propriedades mecânicas, que se mantém até em temperaturas onde um termoplástico já teria derretido. Por isso, embora o valor do material seja mais elevado em relação aos polímeros termoplásticos, existem compensações em termos de desempenho da peça concebida com resinas termofixas (ABMACO, 2010).

Já as resinas termoplásticas apresentam-se no estado sólido à baixa temperatura ambiente e são processadas ou moldadas por meio de aquecimento, fusão e resfriamento, em moldes apropriados. Apresentam excelente resistência química e mecânica em temperaturas baixas, porém deixam a desejar em termos de

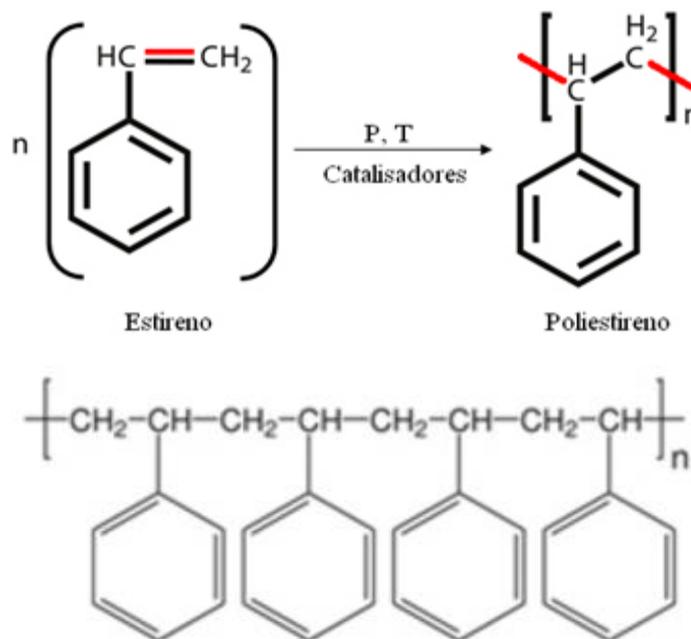
qualidade mecânica quando submetidos a altas temperaturas, pois amolecem gradualmente com o aumento da temperatura (ABMACO, 2010).

A utilização de polímeros termoplásticos se deve à facilidade de manipulação com fabricação de peças em máquinas injetoras de plástico, possuindo também o atrativo de ser uma matéria prima de baixo preço de mercado, quando comparado a outros materiais, como exemplo metais e ligas. Isto explica o grande emprego deste tipo de polímero, com ou sem reforços, em diversos campos da indústria (PAULA, 2011).

Apesar da existência de uma grande variedade de termoplásticos, apenas cinco deles, o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e o politereftalato de etileno (PET) representam cerca de 90% do consumo nacional (PAULA, 2011).

Neste estudo, trabalhou-se com o polímero termoplástico citado acima, o Poliestireno (PS), e neste caso o poliestireno é de alto impacto (PSAI) ou HIPS (*High-Impact Poly Styrene*), que é um polímero amorfo, como o PS, mas com adição de borracha (polibutadieno) por “*grafting*” (enxerto), isto é, moléculas de polibutadieno são adicionais à cadeia principal do poliestireno através de reações químicas e não simplesmente por mistura (BORRELLY, 2002). A Figura 2 apresenta a estrutura química do poliestireno.

**Figura 2.** Estrutura química do poliestireno.



O poliestireno de alto impacto é amorfo, branco, dúctil, fácil de processar e também muito suscetível à radiação solar, devido a presença de anéis aromáticos. É utilizado na fabricação de caixas de televisores, aparelhos de som, aparelho de CD de automóveis, copos descartáveis, revestimento interno de geladeiras e congeladores (BORRELLY, 2002).

O elastômero incorporado ao poliestireno (PS) é responsável pela relaxação do material a nível molecular, o qual dissipa parte da energia em calor, tendo efeito sinérgico na absorção de impacto (BENINI, 2011).

Nos poliestirenos modificados, como o HIPS, a resistência ao impacto é superior ao do poliestireno comum, porém, a resistência à tração e o módulo de elasticidade são menores (BENINI, 2011).

### **2.1.2. Reforços**

Os materiais reforços, também chamados de fase dispersa, são os que realçam propriedades mecânicas, eletromagnéticas ou químicas do material compósitos como um todo (MORAES, 2013).

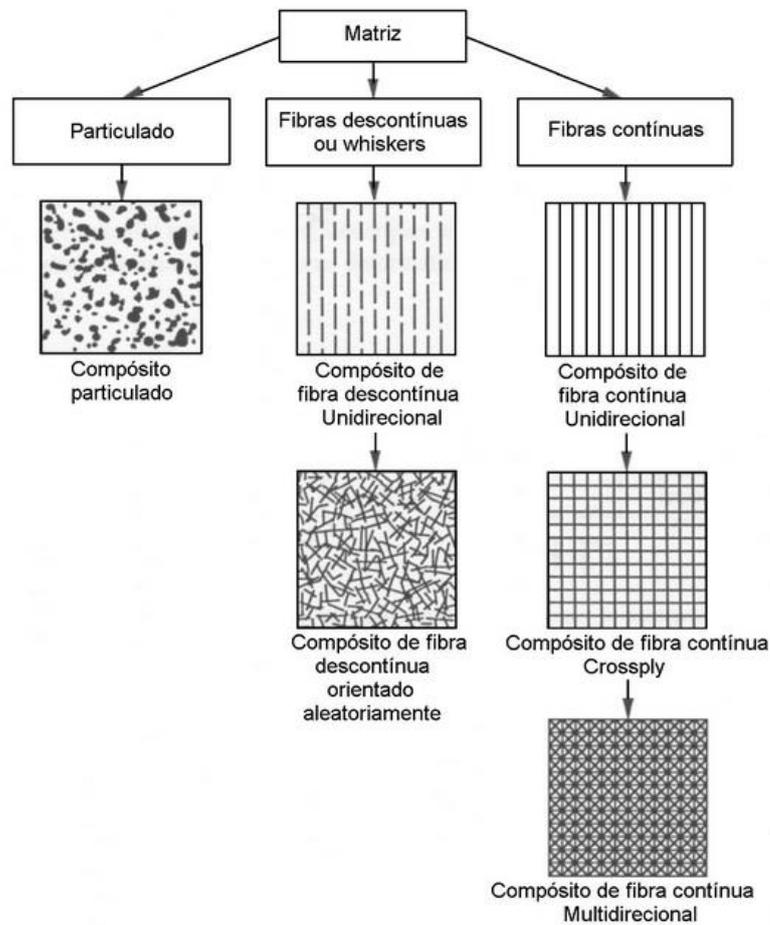
Como exemplo de materiais reforços temos as fibras orgânicas (nylon, poliéster); fibra de vidro; de carbono; de boro; de titânio; fibras cerâmicas; de carbetto de silício; alumina; de quartzo; metálicas; fibra de madeira (serradura); de aramida; grafite; fibras de basalto e fibras naturais (rami, juta, fibra de coco, sisa, bagaço de cana de açúcar, entre outras) (MORAES, 2013).

A fim de se aumentar o uso de polímeros utiliza-se a adição de outros elementos ao material original, visando melhorias de processamento e/ou de propriedades desejadas (MORAES, 2013).

Entre os aditivos, em particular, e para aumentar as propriedades mecânicas do material, os agentes de reforços são adicionados (MORAES, 2013).

De acordo com o material reforçante, e em razão da variedade de materiais que podem constituir as diferentes fases dos compósitos, pode-se classificar os compósitos em três grandes grupos: compósitos estruturais, compósitos reforçados com fibras e compósitos reforçados com partículas (NETO, 2010), como observa-se na Figura 3.

**Figura 3 - Principais tipos de Compósitos.**



**Fontes:** PANZERA, 2015.

Compósitos bifásicos são classificados por Bittencourt (2001), dependendo da orientação da fase reforçada (fibra), da geometria e do tipo; em três grandes categorias:

- Compósito particulado: possuem partículas de diferentes formas e tamanhos, que estão dispersos aleatoriamente na matriz. Examinando em uma escala maior do que o tamanho das partículas, essa aleatoriedade, faz com que esses compósitos possam ser considerados quase-homogêneos e quase isotrópicos.

- Compósitos de fibras descontínuas: apresentam como reforço pequenas fibras, que são consideradas largas quando comparados o seu diâmetro com o seu comprimento. Podem ser dispostas ao longo de uma direção ou aleatoriamente.

- Compósitos de fibras contínuas: reforçados por longas fibras contínuas e mais eficientes na resistência mecânica e na rigidez. As fibras podem ser todas

paralelas (unidirecional), dispostas perpendicularmente (bidirecional) ou orientadas em vários ângulos (multidirecional).

As fibras nas formas de mantas, fibras longas ou curtas, tecidos, etc., podem ser adicionadas aos polímeros e processadas por quase todos os métodos convencionais de processamento de plástico (extrusão e injeção para fibras curtas; calandragem e pesagem para fibras longas ou curtas) (MORAES, 2013).

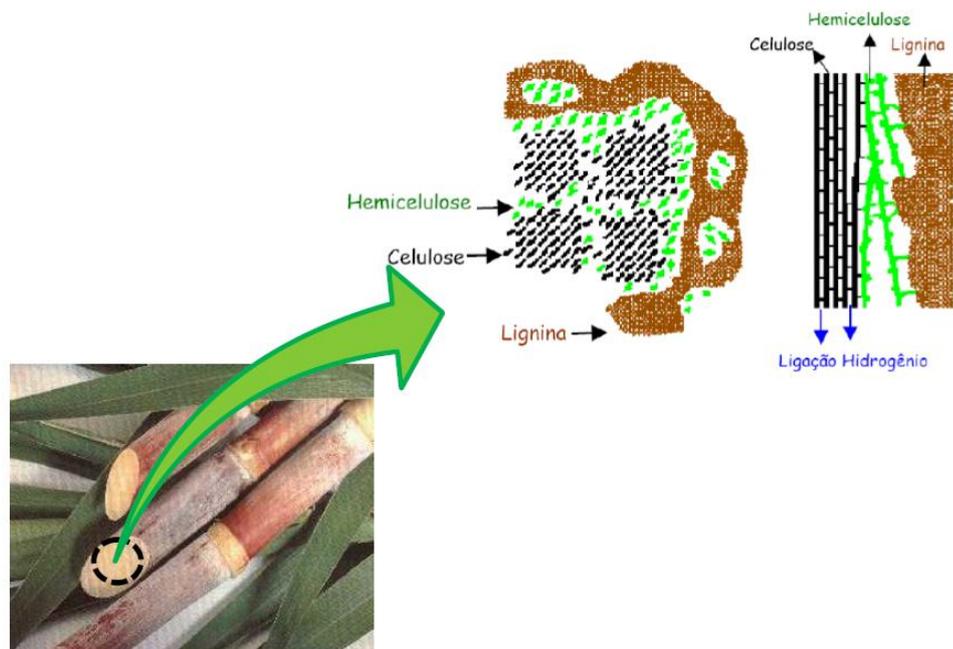
#### **2.1.2.1. Fibras Naturais**

Segundo NETO (2010), o surgimento dos polímeros no início do século XIX inaugurou uma nova era de pesquisas com uma nova opção de utilizar as fibras naturais em campos mais diversificados. Ao mesmo tempo, devido às maiores dimensões e de outras propriedades, o interesse em fibras sintéticas ganhou popularidade e, lentamente, foi substituindo as fibras naturais em diferentes aplicações. No entanto, as alterações na matéria prima e produção de compostos sintéticos exigem uma grande quantidade de energia e a qualidade do ambiente sofre por causa da poluição gerada na produção e na reciclagem desses materiais sintéticos. Esta condição levou a necessidade de intensificar os estudos e pesquisas voltados para as fibras naturais devido às suas vantagens. Assim, o renovado interesse pelas fibras naturais, vem obtendo grandes resultados no que se refere às propriedades mecânicas, muitas vezes substituindo as fibras sintéticas e tendo novas aplicações.

O termo fibras naturais engloba as fibras vegetais, animais e minerais. Contudo, na indústria dos materiais compósitos, este termo refere-se apenas às fibras de origem vegetal oriundas do caule, da semente, do fruto ou das folhas de algumas plantas. Estas fibras contribuem de uma forma preponderante para a sustentação da planta durante a sua vida e quando são utilizadas em materiais compósitos, as fibras naturais, sendo mais ecológicas que as sintéticas, conseguem propiciar propriedades mecânicas de grande interesse (CASTRO, 2013).

Por terem constituição básica de celulose, lignina, hemicelulose, as biomassas vegetais são chamadas de lignocelulósicas (PAULA, 2011), como observa-se na Figura 4.

**Figura 4** – Associação dos componentes da parede celular de fibra vegetal em vista (a) transversal; (b) longitudinal:



**Fonte:** SILVA et al, 2009.

A celulose é o polímero natural cristalino existente em maior abundância, sendo um componente essencial de todas as plantas. É mais resistente às tensões mecânicas e térmicas, por possuírem moléculas grandes, diferentemente dos compostos formados por moléculas pequenas (PAULA, 2011).

A lignina é uma macromolécula complexa de estrutura amorfa, que se une às fibras celulósicas formando a parede celular. Fornece resistência à compressão, enrijecendo a parede celular e protegendo contra danos físicos e químicos. Fibras com alto teor de lignina são de excelente qualidade (PAULA, 2011).

As hemiceluloses é um polissacarídeo amorfo e normalmente atua como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina (PAULA, 2011).

As fibras vegetais podem ser aplicadas de diversas maneiras, como roupas, utensílios, móveis, materiais solventes, etc., e também são usadas como carga em compósitos poliméricos, com vantagens ambientais e econômicas (SAIN, 2004).

Pode se obter as fibras de diferentes partes da planta: fibras de folhas (abacaxi, bananeira, sisal, piaçava e curauá), fibras de sementes (algodão), fibras de

raiz (zacatão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo, kenaf, malva, bagaço de cana de açúcar e bambu) e fibras de fruto (coco verde) (MORAES, 2013).

São concorrentes das fibras naturais, as fibras artificiais, como as poliamidas, poliéster, carbono, poliaramidas e fibras de vidro. Podem-se incluir nesse grupo artificial também o concreto e o aço (PUPO, 2012).

As fibras naturais têm baixa densidade, aproximadamente a metade daquela da fibra de vidro, e durante seu processamento não são abrasivas aos equipamentos; podem suportar temperaturas de até 200°C, o que lhes permite serem trabalhados com o polímero. Assim, as fibras naturais de alta resistência à tração, apresentam baixo custo relativo e alto módulo elástico. Quanto ao peso, levam vantagem sobre a fibra de vidro, de carbono ou de alumínio, e também sobre outras fibras orgânicas, como kevlar, poliéster e nylon. Seu processamento pode ser feito em máquinas rotineiras, sem o exagerado desgaste provocado por fibras metálicas ou sintéticas (PUPO, 2012).

As fibras naturais, além de serem uma fonte renovável de matéria prima, quando usadas como reforço para compósitos, levam à redução da geração de lixo decorrente das mesmas, e podem fornecer novas oportunidades de empregos, ajudando a melhorar as condições de vida, especialmente no setor rural (MORAES, 2013).

É importante ressaltar que as fibras naturais apresentam um módulo resistência/peso maior do que o aço, isso é de particular importância para as indústrias que visam a redução de peso em seus produtos. Como exemplo, temos a indústria automobilística, que diminuindo o peso do automóvel, diminui também o gasto com combustível; outro aspecto positivo das fibras naturais, em que o ciclo de vida será decisivo, inclusive para definir o preço dos produtos. E, diante disso, os compósitos reforçados com fibras naturais são muito melhores do ponto de vista de consumo de energia, emissão de efluentes, toxicidade aos operários e aos consumidores, fácil disposição final, reciclabilidade repetitiva, etc. (PUPO, 2012).

Diferente das fibras sintéticas, uma desvantagem das fibras naturais resulta do fato destas apresentarem maior variação de propriedades mecânicas, que dependem de fatores como: proporções dos três componentes principais (celulose, polioses e lignina); orientação molecular (ângulo espiral entre as fibrilas); diâmetro da fibra; proporção das regiões cristalinas e não cristalinas; porosidades;

rugosidades e imperfeições; origem das fibras e sua região de plantio; tipo de solo; o modo e a maneira da colheita; a alta absorção de umidade (que pode causar o inchaço das fibras) (MORAES, 2013).

Também vale a pena destacar que, para diversas aplicações, as fibras lignocelulósicas exigem um pós-tratamento para inibir a absorção de água. Existe também a possibilidade de fibras e materiais de origem lignocelulósica serem degradadas pela ação de insetos e microorganismos, o que também não é desejável (PUPO, 2012).

### **2.1.2.2. Bagaço de Cana de Açúcar**

Dentro do contexto apresentado, as fibras de bagaço de cana-de-açúcar são materiais que apresentam inúmeras possibilidades de aplicação para o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais (PAULA, 2011).

A cana-de-açúcar é uma planta denominada cientificamente por “*Saccharum officinarum*”, e pertence à classe das Monocotiledôneas, do tipo gramíneas. O cultivo desta planta foi introduzido no Brasil desde o século XVI, e se expandiu rapidamente (SILVA, 2011).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Devido à abundância de bagaço de cana, o Brasil se torna um grande produtor de fibras vegetais (PAULA, 2011).

Os resíduos que são produzidos em maior escala na agroindústria brasileira são o bagaço de cana e a palha, com sobras anuais estimadas em 90 milhões de toneladas (PAULA, 2011).

Considerando as matérias-primas de origem agrícola, além da madeira, o bagaço de cana é o mais importante para a produção de celulose, constituindo-se desta forma, para a indústria papeleira, uma das mais promissoras fontes de fibras (PAULA, 2011).

O excesso de bagaço de cana de açúcar que é formado tem causado sérios problemas de estocagem, além é claro, do impacto ao meio ambiente. Sendo assim, o bagaço de cana de açúcar, atualmente, além de ser utilizado para a geração de energia, pode ser aplicado em diversas outras aplicações, tais como:

reforço para compósitos poliméricos, materiais absorvedores e componentes para as indústrias de construção civil (BENINI, 2011), assim como para a produção de etanol de 2ª geração (SILVA, 2012).

A fibra do bagaço de cana tem sido usada como reforço em compósitos de matriz cimentícia, utilizado na construção civil com o objetivo de reduzir o consumo de eletricidade em casas (ONÉSIPPE et al., 2010), e tem sido usada também em compósitos de polipropileno, com o objetivo de fabricar componentes automotivos como quadros do banco, painel lateral e console central (LUZ et al, 2010).

Fisicamente, o bagaço de cana-de-açúcar é formado por dois principais componentes, a medula e a fibra, derivados do interior e do exterior do caule, respectivamente (SILVA, 2011), e é composto por quatro frações, com porcentagem média de: 45% de fibra ou bagaço, 2-3% de sólidos insolúveis, 2-3% de sólidos solúveis e 50% de água. A fibra ou bagaço é a fração mais importante, apresenta como principais características, ser sólida, insolúvel em água, orgânica e heterogênea. A segunda fração, é uma parte pequena na composição do bagaço, são os sólidos insolúveis, também de natureza orgânica, compostos principalmente por pedras, terra, e outras impurezas. Essa fração sofre muita influência do tipo de colheita e do solo. Já a terceira fração, os sólidos solúveis, é a fração que se dissolve na água, formada principalmente por sacarose, onde sua extração na usina açucareira não é econômica. E a quarta e última fração, é a água presente no bagaço, a qual é retida dele por mecanismos de capilaridade e de absorção (PAULA, 2011).

Quimicamente, o bagaço é composto por celulose, polioses, lignina, pequena quantidade de sais inorgânicos e água. Quando seco, o bagaço pode ter sua composição variada de 32-55% de celulose, 19-25% de lignina, 27-32% de hemicelulose e de 1-4% de cinzas (SILVA, 2011).

### **2.1.2.3. Compósitos de Fibras Naturais**

No século XX a investigação na área da ciência dos materiais proporcionou aos engenheiros certa curiosidade na linha de orientação dos novos

materiais, destacando-se os materiais compósitos. Hoje em dia, existe um enorme empenho na procura de materiais inovadores e sustentáveis, tendo proveniência, normalmente, de subprodutos de outras indústrias, bem como produtos reciclados. Assim, torna-se, nos dias de hoje, indispensável a aplicação de materiais mais resistentes, duráveis e com propriedades de dissipação da energia aos esforços que são submetidos no dia-a-dia, sem ocorrência de ruptura frágil. Além destas características, tornam-se materiais conseqüentemente mais econômicos (VILA-CHÃ, 2012).

A ideia de utilizar materiais alternativos com a utilização de resíduos ou subprodutos consiste na obtenção de materiais mais sustentáveis do ponto de vista ambiental (VILA-CHÃ, 2012).

O despertar e o interesse na área da engenharia civil em aplicar este tipo de materiais sob a forma de compósitos, nomeadamente numa primeira fase, através de aplicação fibras poliméricas, expandiu o conceito a novas aplicações nesta área, surgindo novos materiais compósitos (VILA-CHÃ, 2012).

Uma das alternativas ao uso dos diferentes tipos de fibras sintéticas tais como fibras de vidro, são as fibras de carácter natural, principalmente as fibras vegetais (VILA-CHÃ, 2012).

A maioria dos compósitos foi criada para melhorar algumas propriedades intrínsecas de um polímero visando atender às exigências de uma determinada aplicação, tais, como rigidez, tenacidade, resistência à tração em condições ambientais e a temperaturas elevadas, estabilidade dimensional, estabilidade térmica, entre outras. Assim sendo, é indispensável que os cientistas e engenheiros escolham adequadamente a composição da matriz e a carga utilizada (NICOLAI, 2007).

As propriedades de algumas fibras naturais são altamente variáveis e dependentes das condições de plantio e crescimento, variando assim as propriedades dos materiais compósitos, o que significa que é difícil de obter as mesmas propriedades mecânicas repetidas vezes (NICOLAI, 2007).

No mundo todo, os compósitos que estão utilizando fibras vegetais com plástico vem se desenvolvendo rapidamente, por causa de sua versatilidade de uso aliado a sua durabilidade. Este novo produto se mostra vantajoso por utilizar como

matéria-prima materiais acessíveis e, além disso, elimina problemas que estes causam ao meio ambiente aumentando sua vida útil (FONSECA, 2005).

A incorporação de fibras em uma matriz polimérica pode ocorrer de duas maneiras distintas: uma ou mais fases que tenham a finalidade de reforçar, provocando um aumento na rigidez e resistência mecânica ou o material incorporado tem a atuação mais acentuada como carga; neste caso o reforço adicionado à matriz, normalmente de baixa massa específica e custo reduzido, atua como uma carga aumentando o volume do compósito, e proporcionando reduções de peso e custo do componente (BENINI, 2011).

O grande desafio consiste na combinação das fibras com a matriz, de tal forma que o material mais eficiente para determinada aplicação seja produzido (SILVA, 2011).

O reforço fibroso de um material compósito consiste em milhares de filamentos individuais com diâmetros muito pequenos da ordem de micrômetros, dispersos no material polimérico (matriz) (CASTRO, 2013).

Normalmente as propriedades mecânicas das fibras são muito superiores às do polímero que elas reforçam. Contudo, a natureza filamentar das fibras impossibilita o seu uso direto em aplicações estruturais. Cabe assim à matriz, não só a função de dar forma estável aos compósitos, mas também assegurar a transmissão de esforços às fibras e proteger a superfície das mesmas. Além destes requisitos, exigidos às matrizes, também as fibras devem apresentar características que permitam reforçar os polímeros de uma forma eficaz. As fibras devem então possuir:

- Módulo de elasticidade superior ao do polímero a reforçar;
- Tensão de ruptura superior à do polímero a ser reforçado;
- Geometria adequada a uma boa adesão à matriz;
- Resistência à deterioração em contato com a matriz.

Além dos requisitos acima referidos, existem outros fatores, relacionados com a natureza do reforço que influenciam as propriedades finais de um compósito. A quantidade de fibras, a sua orientação e o seu comprimento são características que influenciam de forma preponderante as características dos polímeros reforçados com fibras (CASTRO, 2013).

#### 2.1.2.4. Tratamento Químico das Fibras Naturais

Métodos físicos e químicos podem ser usados para modificar as fibras de reforço, otimizando a interface fibra-matriz (BRÍGIDA et al., 2010).

A literatura relata diversos estudos onde as propriedades físico-químicas e a modificação da superfície das fibras vegetais são investigadas, objetivando sua utilização em materiais compósitos (BRÍGIDA et al., 2010).

Uma das preocupações quando se trata de materiais compósitos é a interface entre o reforço e a matriz. A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface pode provocar o início das falhas, comprometendo o desempenho e as propriedades mecânicas dos compósitos. Por isso, o tratamento químico das fibras lignocelulósicas se faz necessário, uma vez que essas fibras oferecem certas desvantagens quando comparadas às fibras sintéticas (SAHEB; JOG, 1999; JOHN; THOMAS, 2008).

Duas desvantagens bem conhecidas são, a falta de compatibilização com matriz polimérica hidrofóbica e a tendência de formar aglomerados durante o processamento (BRÍGIDA et al., 2010).

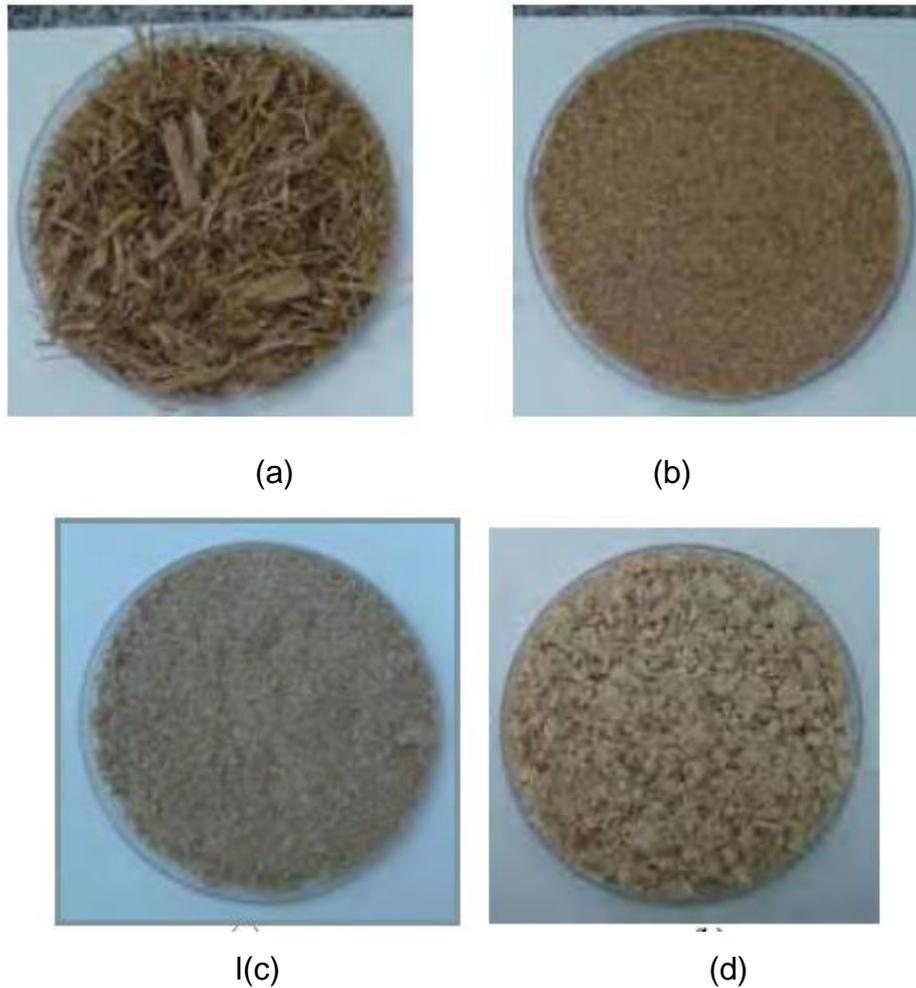
Dois tratamentos são indicados (Figura 5) o tratamento de mercerização, que visa limpar a superfície da fibra removendo parcialmente os constituintes amorfos solúveis em meio alcalino, como a lignina; diminuindo o grau de agregação das fibras e tornando a superfície mais rugosa (TROEDEC et al., 2008; ESMERALDO, 2006; GOMES et al., 2007; RAZERA, 2006).

O branqueamento, por sua vez, é um processo químico aplicado aos materiais celulósicos para elevar alvura, reduzindo ou removendo os constituintes do material lignocelulósico que possam causar coloração (TROEDEC et al., 2008; ESMERALDO, 2006; GOMES et al., 2007; RAZERA, 2006).

Na utilização de fibras como reforço em compósitos o tratamento de branqueamento é importante, pois tem como principal objetivo atacar e remover a lignina residual, que aumenta a rigidez da fibra e impede a reorientação da mesma necessária para transferir carga adequada ao compósito (SANTOS et al., 2006; SAHA et al., 2010).

Por outro lado, a lignina também pode aumentar a compatibilidade de reforços celulósicos em compósitos (MILÉO et al., 2016).

**Figura 5** – Fibras de bagaço (a) após extração; (b) moída; (c) mercerizada e (d) branqueadas:



Fonte: BENINI, 2011.

## 2.2. Aplicação no Setor Pet

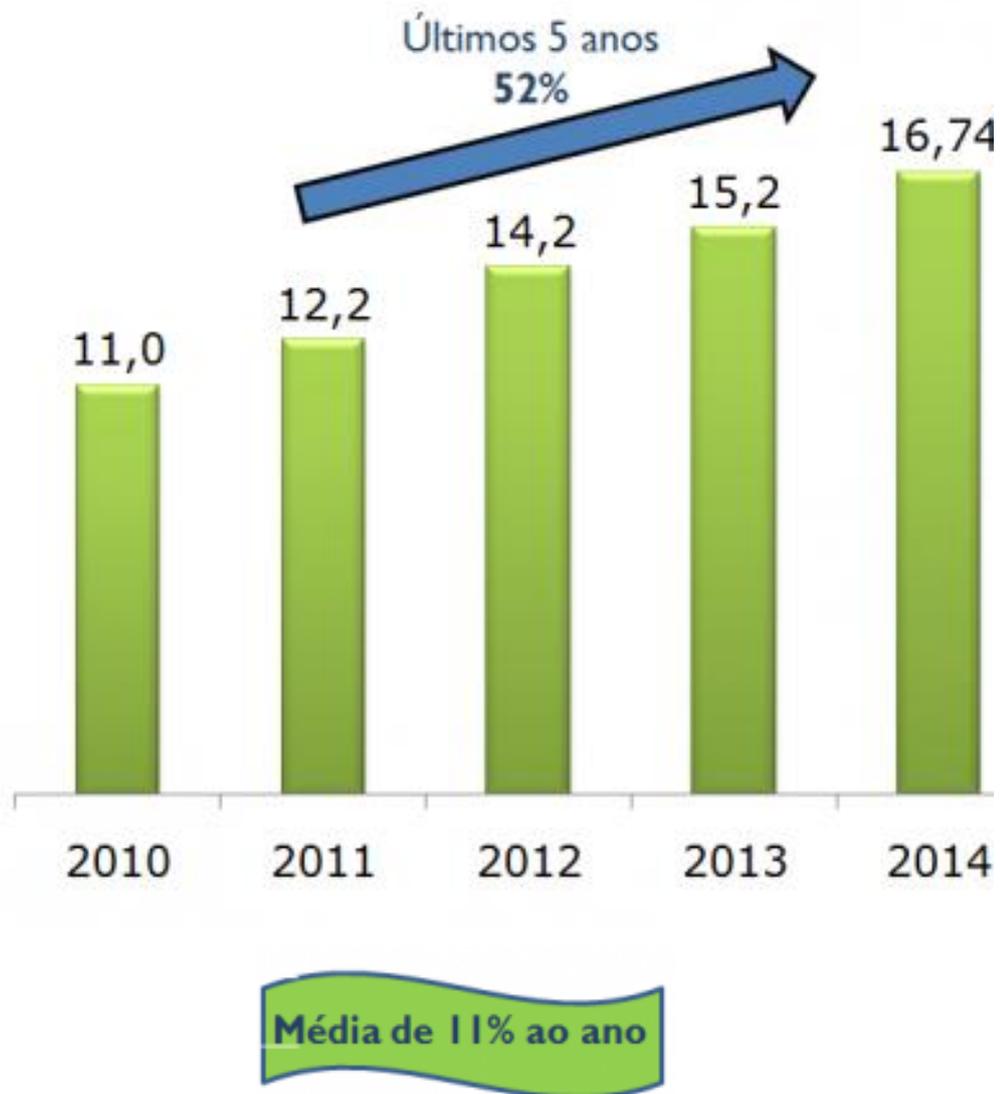
A paixão do povo brasileiro por bicho de estimação fez com que o animal fosse inserido na vida das pessoas como um membro da família, sendo assim o Brasil se tornou o quarto país no ranking de população de animais doméstico no mundo (132,4 milhões de pets). Esse contingente movimentou um setor que, em 2014, chegou a ocupar 0,38% do PIB nacional, sendo essa porcentagem superior àqueles das geladeiras e freezers, componentes elétricos e eletrônicos e automação industrial (PET BRASIL, 2016).

A indústria pet brasileira, em 2014, apresentou um faturamento de mais de R\$ 16 bilhões em 2014 (Figura 6 e 7), crescimento de 10% sobre 2013 e segundo lugar

absoluto no mercado mundial, atrás apenas dos Estados Unidos. As exportações acompanharam esse crescimento, e em 2014, movimentaram U\$ FOB 269,3 milhões e cerca de U\$ FOB 4 milhões de importações. Esse setor, globalmente, movimenta U\$ 100 bilhões (PET BRASIL, 2016).

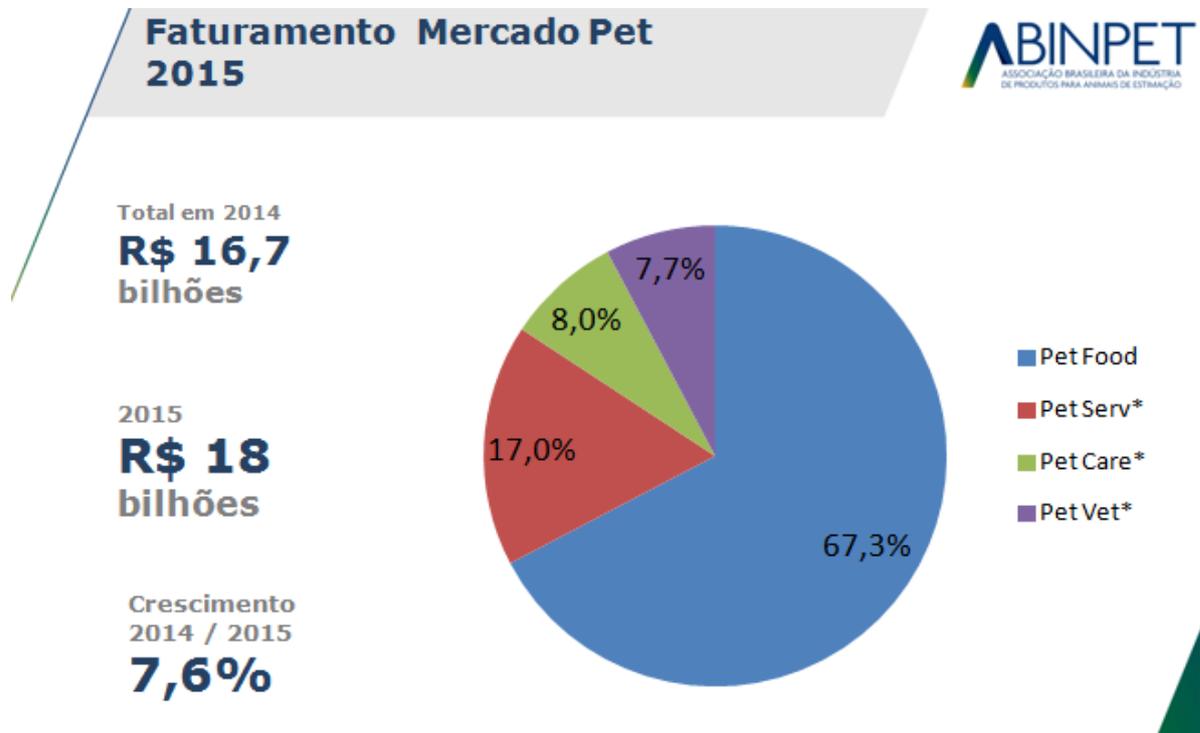
**Figura 6 – Mercado Brasileiro em constante crescimento**

## Histórico de Faturamento do Mercado Pet



Fonte: ABINPET, 2016.

Figura 7 – Faturamento do mercado Pet brasileiro em 2015.



Fonte: ABINPET, 2016.

Baseado nesses dados, o mercado apresenta um quadro otimista para criação de novos produtos, visando inovações que tragam soluções inteligentes para seus clientes, principalmente quando se trata de produtos que visam a preservação ambiental (PET BRASIL, 2016).

O fenômeno da globalização, com o crescimento da preocupação em caráter mundial para se conseguir o desenvolvimento sustentável e o consequente aumento do poder de pressão do consumidor, cada vez mais exigente em termos ambientais, tem trazido às empresas a necessidade de adaptação cada vez mais às novas exigências mercadológicas, o que tem atingido inclusive o mercado pet, que está começando a adaptar-se aos novos tempos, se adequando a esta tendência ambiental (PET BRASIL, 2016).

Nesta linha de pensamento, o presente trabalho apresenta-se como uma alternativa em potencial ao uso do bagaço da cana de açúcar na produção de compósitos, para serem empregados na fabricação de casas para animais de estimação.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS:**

#### **3.1. MATERIAIS**

##### **3.1.1. COMPÓSITOS**

Os compósitos de HIPS/fibra de bagaço de cana de açúcar foram gentilmente cedidos pela UNESP de Guaratinguetá/SP. Foi utilizada uma matriz polimérica composta de um poliestireno de alto impacto, o HIPS 825, com reforço de fibras de bagaço de cana de açúcar. Foram fornecidas três famílias de compósitos: HIPS/10% fibras de bagaço tratadas (BT-10); HIPS/20% fibras de bagaço tratadas (BT-20) e HIPS/30% fibras de bagaço tratadas (BT-30).

O trabalho de Benini (2011) apresenta detalhes referentes aos processamentos e tratamentos realizados nos compósitos.

#### **3.2. MÉTODOS**

##### **3.2.1. RESISTÊNCIA AO IMPACTO**

A resistência ao impacto é uma propriedade muito requisitada na especificação do comportamento mecânico de polímeros, quando utilizados em aplicações estruturais. Assim, a tenacidade ao impacto, usualmente conhecida como resistência ao impacto, pode ser definida como a capacidade de um material absorver energia sem que sofra ruptura quando uma força máxima é aplicada repentinamente (SANTOS, 2012).

Para esse estudo foi utilizado o ensaio do tipo Charpy onde o corpo de prova foi posicionado horizontalmente em relação à base do equipamento e o entalhe estava voltado para a face contrária do corpo de prova o qual era atingido pelo martelo.

O ensaio de impacto é importante, pois através dele é possível comparar a variação das propriedades de um compósito em função da sua concentração de fibra.

Os ensaios de impacto foram realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade de São Paulo (EEL/USP), utilizando uma máquina *Canti Lever XJU-22* do tipo Izod (Figura 8).

Foram ensaiados cinco corpos de prova, com dimensões de acordo com a norma ASTM D 6110 – 06, CDP's com 12 mm de largura, 55 mm de comprimento e 3 mm de espessura, usando a máquina de impacto com capacidade de 5,5 J. Desta forma avaliou-se a energia absorvida ao impacto e a resistência.

**Figura 8 - (A)** Máquina PANTEC para ensaio de impacto Izod, **(B)** detalhe na colocação do CDP de impacto e **(C)** detalhe do CDP rompido após a realização do ensaio de impacto.



(A)



(B)



(C)

Fonte: (o autor)

### 3.2.2. PICNOMETRIA DE HÉLIO

O picnômetro a gás é usado para determinar o volume da matriz sólida (excluindo os poros) de uma membrana. Normalmente o gás usado é o hélio que, por ser monoatômico, inerte e penetrar facilmente nos poros e microestruturas da amostra não acessíveis a outros gases, permite determinar o volume de sólido com maior rigor.

Antes de iniciar a análise propriamente dita, cada amostra é sujeita a um processo de desgaseificação que consiste em purgas com hélio, para remoção de impurezas, umidade e de voláteis que eventualmente possa conter (DIAS, 2013).

Nesse estudo, foi escolhido o gás de acordo com o propósito da aplicação e, como as amostras utilizadas são pouco porosas, optou-se por utilizar o gás hélio nos ensaios.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Compósitos do DMT/FEG/UNESP.

Utilizou-se o Analisador de Densidade Real, marca *Quantachrome Instruments*, modelo *UltraFoam 1200e* (Figura 9).

A temperatura dos ensaios foi de 20°C. O resultado de cada análise foi obtido a partir da média de três leituras realizadas pelo equipamento na mesma amostra.

Essa análise foi utilizada com o objetivo de determinar a real massa específica do HIPS puro e das amostras dos compósitos.

Esse método tem como principal vantagem, a capacidade para medir apenas o volume da película livre de tinta, o que quer dizer que, é descontado do volume total da amostra os poros (a menos que estes estejam fechados ou inacessíveis ao gás). E como desvantagem, este método apresenta o fato de as dimensões da amostra serem limitadas pelo tamanho da câmara onde se colocam as amostras.

Medir e comparar a densidade dos compósitos é importante para determinar o peso das peças injetadas, a necessidade em massa a ser consumida e comprada para a produção de um determinado número de peças (HENRIQUES, 2015).

Os compósitos com menor densidade e propriedades adequadas são os preferidos por fatores econômicos e também vão de encontro aos requisitos para a produção de peças mais leves, econômicas e menor consumo de combustíveis e geração de CO<sub>2</sub> (HENRIQUES, 2015).

**Figura 9** - Analisador de Densidade Real, marca Quantachrome Instruments.



**Fonte:** (o autor)

### 3.2.3. DUREZA SHORE A

O durômetro é um instrumento bastante utilizado para medir a dureza de indentação de alguns materiais como borrachas, plásticos e materiais com comportamento similar.

Os instrumentos que são mais usados são os de Modelo A (usados em materiais menos duros) e os de modelo D (usados em materiais mais duros). Esse é um instrumento bem simples de ser operado, onde o material é submetido a uma pressão definida, a qual é aplicada através de uma mola calibrada que vai atuar sobre o indentador (esférico ou cônico). Em seguida, um dispositivo de indicação vai fornecer a profundidade de indentação e assim é gerado o valor da dureza que é dado baseado na profundidade da penetração no material. A leitura da dureza pode mudar ao longo do tempo, por causa da resiliência de algumas borrachas e plásticos, sendo assim o tempo de indentação às vezes acompanha o valor medido da dureza (HENRIQUES, 2015).

Esse teste é utilizado para se obter medidas referentes à resistência à indentação, podendo ser usados em vários tipos de polímeros, mas não serve para prever outras propriedades como resistência, abrasão ou desgaste, e se usado sozinho, não é o suficiente para especificar o projeto de um produto.

Uma relação de caráter sensitivo e a verdadeira dureza da borracha, medida em unidades Shore A é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2** – Relação de dureza.

Tabela 2	
Dureza (sensitiva)	Dureza Shore A
Muito Macia	Inferior a 40
Macia	40-60
Média	60-75
Dura	75-90
Muito Dura	90-100

Fonte: CTB (2016)

Foram realizadas análises de dureza para a determinação da dureza Shore A do HIPS puro e das amostras dos compósitos. Utilizou-se um durômetro portátil, marca *CV Instrument Limited*, modelo *CV Shore Durometers – Analogue* (Figura 10), locado no Laboratório de Metrologia da empresa Maxion Structural Components - Unidade de Cruzeiro – São Paulo. A temperatura do ensaio foi de 20°C e o resultado da análise foi obtido a partir da média de três leituras realizadas pelo equipamento na mesma amostra.

**Figura10** - Durômetro portátil, marca CV Instrument Limited, modelo CV Shore Durometers



Fonte: BOWERSGROUP, 2016.

### 3.2.4. ÍNDICE DE FLUIDEZ

O índice de Fluidez (IF) é uma importante técnica de caracterização reológica para a análise da viscosidade no estado fundido de polímeros. Além da facilidade de operação, boa reprodutividade dos resultados e baixo custo, através desta técnica é possível se obter uma boa noção da viscosidade do polímero fundido, indicando qual a técnica de processamento mais adequada para o mesmo. Assim, o IF é considerado um parâmetro crítico no processamento de polímeros. Apesar de largamente empregado, o IF não permite uma visão detalhada do comportamento de diferentes frações de um polímero, apenas fornece uma visão do comportamento médio global deste (CÁCERES; CANEVAROLO JR., 2006).

A viscosidade dos materiais poliméricos também é um fator importantíssimo que afeta as suas propriedades. Esta viscosidade está diretamente relacionada com a massa molecular do material e suas configurações moleculares e pode ser mensurada por várias técnicas como o de índice de fluidez. O teste de índice de fluidez é uma técnica mais simples, mas é amplamente utilizado nas indústrias, principalmente na área automotiva (OTA, 2004).

O índice de fluidez apresenta medida que é um indicativo para a condição de processamento dos materiais nos processos de moldagem por injeção dos compósitos. Via de regra quanto maior o índice de fluidez do material, mais fácil o seu processamento em peças maiores e de geometria complexa, exigindo menor pressão nas injetoras e menor número de entradas nos moldes.

A determinação dos índices de fluidez foram realizados através de ensaios utilizando-se um aparelho para ensaios de índice de fluidez marca DSM, modelo MI-3, locado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). A pesagem das amostras foi realizada utilizando-se uma balança analítica marca *Shimadzu*, modelo AX 200. O ensaio de índice de fluidez foi realizado conforme diretrizes gerais da Norma ASTM D 1238:2013, “*Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*”, método A. Foi utilizada a temperatura de 200°C e peso de 5,0 kg, com tempo de corte de 30 s.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. RESISTÊNCIA AO IMPACTO

Analisando-se a resistência ao impacto do material proposto, este apresentou pouca resistência devido à inserção de fibra, ou seja, quanto mais fibra, menor a resistência ao impacto quando comparada com o HIPS puro.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de impacto realizados no HIPS puro e nos compósitos BT-10, BT-20 e BT-30.

A diminuição da resistência ao impacto pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos. Ressaltando que a ductilidade corresponde à elongação total material devido à deformação plástica.

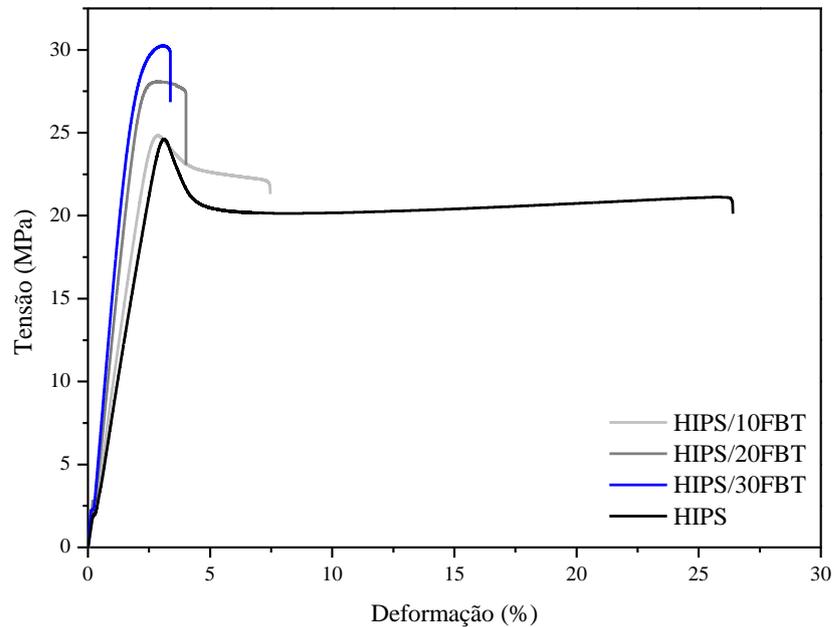
**Tabela 3** – Resultados da resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar:

AMOSTRAS	Energia Absorvida (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m <sup>2</sup> )
HIPS PURO	1,887 ± 0,424	57,095 ± 12,917
BT-10	0,680 ± 0,063	20,682 ± 1,918
BT-20	0,376 ± 0,049	11,436 ± 1,481
BT-30	0,300 ± 0,010	9,126 ± 0,296

Fonte: (o autor)

A partir dos resultados obtidos através de ensaios de tração realizados no trabalho realizado por BENINI (2011), constatou-se que a adição de fibras de bagaço de cana na matriz polimérica de HIPS quase não alterou a deformação do material até a tensão máxima (parcela referente à deformação elástica), porém provocou uma redução na deformação total do material, conforme apresentado no Figura 11.

**Figura 11** - Gráfico Tensão x Deformação para o HIPS e para os compósitos HIPS/fibra de bagaço de cana de açúcar.



**Fonte:** Adaptado de BENINI (2011).

Ainda segundo BENINI (2011), com o aumento do volume de fibras foi possível observar uma grande redução na elongação total dos compósitos, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4** – Alongamento total do HIPS puro e dos compósitos com fibras de bagaço de cana, obtido no trabalho realizado por BENINI (2011).

AMOSTRAS	Alongamento Total (%)
HIPS PURO	26,2 ± 8,1
BT-10	7,7 ± 0,8
BT-20	4,1 ± 0,4
BT-30	3,2 ± 0,2

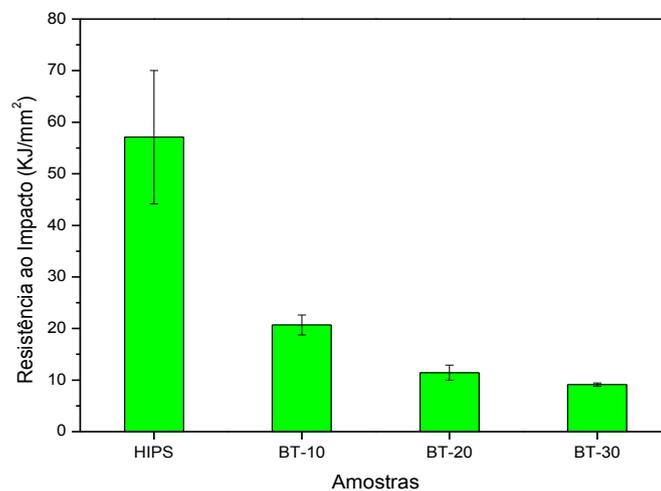
**Fonte:** Adaptado de BENINI (2011)

Este fenômeno pode ser associado, segundo mencionado no trabalho de BENINI (2011), ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade do material e, conseqüentemente, acarretou a redução da resistência ao impacto, como mostrado na Tabela 4.

Pode-se justificar a redução da resistência ao impacto também pela diminuição da tenacidade dos compósitos com o aumento da adição de fibras. Lembrando que a tenacidade corresponde à capacidade do material de absorver energia até sua ruptura e que pode ser representada pela área sob a curva tensão versus deformação, conforme mostrado na Figura 4.

O Figura 12 evidencia claramente a resistência ao impacto dos materiais, mostrando a influência da inserção de fibras de bagaço de cana na resistência do HIPS.

**Figura 12** - Resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de bagaço de cana



Fonte: (o autor)

## 4.2. PICNOMETRIA DE HÉLIO

A partir das análises de Picnometria de Hélio, verificou-se que a adição da fibra de bagaço de cana ao HIPS não acarretou um aumento na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao HIPS puro, conforme apresentado na Tabela 5.

Esses resultados se mostraram interessantes, pois futuros artefatos produzidos com os compósitos reforçados com as fibras de bagaço de cana apresentarão praticamente o mesmo peso, se forem produzidos com o mesmo HIPS puro. Entretanto, a utilização de, por exemplo, 30% de fibras de bagaço de cana ( $\rho =$

1,5962 g/cm<sup>3</sup>), acarretará uma redução de 30% no consumo de HIPS puro ( $\rho = 1,1064 \text{ g/cm}^3$ ) e, conseqüentemente, uma redução no custo dos artefatos produzidas.

**Tabela 5** - Tabela comparativa dos resultados das massas específicas dos compósitos HIPS/Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar:

AMOSTRAS	Massa Específica
HIPS PURO	1,1064 ± 0,0074
Fibra de Bagaço	1,5962 ± 0,0086
BT-10	1,1359 ± 0,0035
BT-20	1,2228 ± 0,0040
BT-30	1,2473 ± 0,0012

Fonte: (o autor)

#### 4.3. DUREZA SHORE A

A partir das análises de dureza Shore A, verificou-se que a adição da fibra de bagaço de cana ao HIPS não acarretou alterações nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao HIPS puro, como é mostrado na Tabela 6.

Os valores da dureza Shore A encontrados nas amostras de HIPS e dos compósitos foi considerada muito dura, pois apresentou valores entre 90 – 100.

**Tabela 6** – Resultados de dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de bagaço de cana de açúcar.

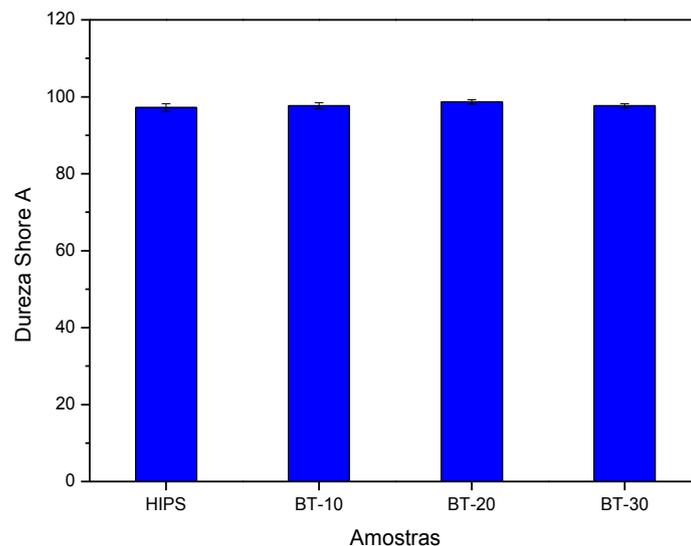
AMOSTRAS	Dureza Shore A
HIPS PURO	97,7 ± 0,8
BT-10	98,7 ± 0,6
BT-20	97,7 ± 0,6
BT-30	98,3 ± 0,5

Fonte: (o autor)

Este resultado pode ser considerado bastante satisfatório para uma possível fabricação de materiais para o segmento de pet shop, uma vez que a inserção das fibras de bagaço de cana no HIPS não alterou de maneira significativa a dureza apresentada pelo HIPS puro. Dessa forma, o uso de compósitos reforçados com fibras de bagaço de cana poderá acarretar uma redução de 30% no consumo de HIPS puro e, conseqüentemente, uma redução no custo dos artefatos produzidos, ainda mantendo os valores de dureza do HIPS puro.

O Figura 13 evidencia claramente os valores de dureza Shore A, mostrando a influência da inserção de fibras de bagaço de cana na dureza do HIPS.

**Figura 13** – Resultados de dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de bagaço de cana de açúcar.



**Fonte:** (o autor)

#### 4.4. ÍNDICE DE FLUIDEZ

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios para a determinação do índice de fluidez do HIPS puro e dos compósitos de fibra de bagaço estudados. Pode-se observar uma tendência de redução do índice de fluidez com o aumento do teor de fibras de bagaço no HIPS. O baixo índice de fluidez obtido nos compósitos, com exceção do compósito BT-10, é uma desvantagem técnica em relação aos

compósitos convencionais, pois compósitos com maior índice de fluidez, no processo de injeção, possuem maior facilidade de preenchimento dos moldes, melhor processabilidade, ciclos mais rápidos, melhor acabamento superficial e podem utilizar máquinas injetoras menores com menor pressão disponível. Todavia, o HIPS é uma matriz termoplástica que apresenta índice de fluidez relativamente baixo, comparado com outras matrizes, como por exemplo o PEAD e PP, que por sua vez, apresentam *grades* com elevados valores de índice de fluidez (10 a 40 g/10min).

No trabalho realizado por HENRIQUES (2015), o autor informou que compósitos de PP de alta cristalinidade resultaram em valores entre 28 e 31,3 g/10 min, superiores aos limites de especificação consolidados pelas montadoras de automóveis para índice de fluidez. Por outro lado, se for avaliada a influência da adição da fibra de bagaço na matriz de HIPS que, por sua vez, apresenta um valor de IF de 6,70 g/10 min, a inserção de 20% e 30% de fibras de bagaço acarretaram uma redução no IF de 21,8% e 46,3%, respectivamente. A amostra BT-10 apresentou um resultado fora do esperado e será refeita. A inserção de 10% de fibras de bagaço promoveu um aumento de aproximadamente 18,1% no IF, comparado ao HIPS puro. Dessa forma, a inserção de 20% de fibras de bagaço não provocou uma redução considerável no IF do HIPS, tornando-se assim, sua viabilidade. E mesmo com a inserção de 30% de fibras de coco, a redução do IF do HIPS ainda pode ser considerada viável, dependendo do tipo de peça que será injetada. Por exemplo, o compósito BT-30 poderá ser usado para peças que apresentam pouca complexidade e que não necessitem de espessuras de parede elevadas, como por exemplo, a casinha para cachorros.

**Tabela 7 – Resultados dos valores de índice de fluidez.**

<b>AMOSTRAS</b>	<b>Índice de Fluidez</b>
<b>HIPS PURO</b>	6,70 ± 0,15
<b>BT-10</b>	8,18 ± 0,17
<b>BT-20</b>	5,24 ± 0,09
<b>BT-30</b>	3,60 ± 0,22

**Fonte:** o autor

## 5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi analisada e discutida a influência da adição do bagaço de cana de açúcar sobre as propriedades de um compósito de HIPS de matriz com essas fibras e sua possível aplicação na indústria pet, por exemplo, na produção de casas para cães. Trata-se de uma análise preliminar, mas os resultados obtidos permitem concluir que:

- nas análises de picnometria de hélio, verificou-se que a adição da fibra de bagaço de cana de açúcar ao HIPS não acarretou um aumento na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao HIPS puro;

- nas análises de dureza Shore A, verificou-se que a adição da fibra de bagaço de cana de açúcar ao HIPS não acarretou alterações significativas, ou seja, a dureza Shore A permaneceu praticamente a mesma nos compósitos quando comparados ao HIPS puro;

- nas análises de resistência ao impacto, verificou-se que a adição da fibra de bagaço de cana de açúcar ao HIPS gerou uma diminuição na resistência ao impacto, quando comparados ao HIPS puro.

- nas análises para a determinação do índice de fluidez, foi observado que a inserção de 20% de fibras de bagaço de cana não provocou uma redução considerável no IF do HIPS, tornando-se assim, sua viabilidade. E mesmo com a inserção de 30% de fibras de bagaço, a redução do IF do HIPS em aproximadamente 46% ainda pode ser considerada viável, dependendo do tipo de peça que será injetada.

Desta forma, a utilização destes compósitos de fibras de bagaço de cana de açúcar com reforço em matriz de HIPS é uma alternativa atrativa, pois resultou em um material com diferentes propriedades dos componentes puros, constituindo uma opção para a redução de custos em aplicações industriais do ramo pet e também ajudando na preservação do meio ambiente. Sem falar que é um caráter inovador no ramo da indústria pet, pois o ramo de reciclagem nesse segmento é algo que ainda está iniciando; fato que não foram encontrados relatos na literatura. Dessa forma, a ideia será oferecer ao segmento “pet” a opção do HIPS reforçado com fibras de bagaço de cana de açúcar como uma alternativa ecológica e rentável para a

confeção de artefatos para animais, como por exemplo, a construção de casinhas para cães.

Os resultados foram muito satisfatórios para a construção de casinhas para cães, conforme proposto nesse estudo, uma vez que o material da casinha (HIPS puro) comparado com o compósito proposto apresentaram características similares, principalmente no que se refere à durabilidade, valor de dureza, resistência à diferentes condições climáticas, resistência a temperaturas do meio externo, resistência à mordidas e proteção de chuva, sol e vento.

Outro fator positivo foi com relação ao custo benefício, pois com a adição de fibras, torna-se possível a redução do custo do produto, além de contribuir para o reaproveitamento de resíduos causadores atualmente de impacto ambiental. E, além disso, como na literatura não há valores/informações de referência para as propriedades dos materiais que são utilizados na confecção, por exemplo, de casinha para cães, esse trabalho vem contribuir para isso, fornecendo alguns valores de referência, como resistência ao impacto e dureza.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Análise via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das fraturas provenientes dos ensaios de impacto;
- Confeccionar uma casinha;
- Análise de custo.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ABINPET – Disponível em: <<http://abinpet.org.br/site/em-2014-setor-pet-cresceu-10-sobre-2013-e-atingiu-um-faturamento-de-r-167-bilhoes-no-brasil/>> Acesso em: 06/05/2016

ABMACO - **Noções Básicas sobre Materiais Compósitos**, vol. Único, 2-3 p., 2010.

BALZER, P. S.; VICENTE, L. L.; BRIESEMEISTER, R.; BECKER, D.; SORDI, V.; RODOLFO JR, A. & FELTRAN, M. B. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 17, p.1, 2007.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Lignocelulósicas: HPIS/Fibra da Casca do Coco Verde e Bagaço de Cana de Açúcar**. 2011, f. 106-113. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá – SP, 2011.

BITTENCOURT, C. B. **Procedimento de ensaio para avaliar propriedades ao cisalhamento de materiais compósitos : método da viga com entalhe em V. Itajubá**, 2001. 14f. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2001.

BOWERSGROUP. Disponível em: <[www.bowersgroup.co.uk/product-range/cv-instruments/sha0003-cv-shore-durometers-analogue-digital-3870.html](http://www.bowersgroup.co.uk/product-range/cv-instruments/sha0003-cv-shore-durometers-analogue-digital-3870.html)> Acessado em 05/04/2016.

BORRELLY, D. F. **Estudo Comparativo da Degradação de Poliestireno e de Poliestireno de Alto Impacto por envelhecimentos Natural e Artificial**. 2002, 90f. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2002.

BRÍGIDA, A. I. S.; CALADO, V. M. A.; GONÇALVES, L. R. B.; COELHO, M. A. Z. **Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber.** Carbohydrate Polymers, v.79, p.832-838, 2010.

CÁCERES, C. A.; CANEVAROLO S.V.JR. **Correlação entre o Índice de Fluxo à Fusão e a Função da Distribuição de Cisão de Cadeia durante a Degradação Termo-Mecânica do Polipropileno,** 2006.

CASTRO, B. F. M. **Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais.** 2013. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Cidade do Porto, Portugal, 2013.

CTB. Disponível em: <[http://ctborracha.com/?page\\_id=1590](http://ctborracha.com/?page_id=1590)> Acesso em: 11/03/2016.

DIAS, P.M.M.P.C. **Desenvolvimento de um revestimento por pintura homologado para proteção de betão afinável num sistema tintométrico.** 2013. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia – (FEUP), Cidade do Porto, Portugal, 2013.

ESMERALDO, M. A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural.** 2006, 119f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

FONSECA, F. M. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos à base de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) reciclado e fibras vegetais.** 2005, f. 133f. Dissertação de Mestrado, REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG), Belo Horizonte – MG, 2005.

GOMES, A.; MATSUO, T.; GODA, K.; OHGI, J. **Development and effect of alkali treatment on tensile properties of curaua fiber green composites.** Composites: Part A, v.38, p.1811-1820, 2007.

GONÇALVES, J. A. V. **Compósitos à Base de Resina Epóxi Reforçados com Fibra de Coco**. 2010, 51f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, Jorge Antônio Vieira Gonçalves – São Cristóvão – SE, 2010.

HENRIQUES, L. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de compósito de polipropileno de alta cristalinidade reforçado com talco para aplicações automotivas em ambientes de alta temperatura “under the hood”**. Exame de Qualificação apresentado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2015.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. **Biofibres and biocomposites**. Carbohydrate Polymers, v.71, p.343-364, 2008.

JOSHI, S.V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K. & ARORA, S. **Composites: Part A**, 35, p.371, 2004.

LUZ, S. M.; CALDEIRA-PIRES, A.; FERRÃO, P. M. C. **Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive components**. Resources, Conservation and Recycling, v.54, p.1135–1144, 2010.

MATHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. **Composites Materials: engineering and Science** New York: Chapman&Hall, 1994.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MILÉO, P. C.; OLIVEIRA, M. F.; LUZ, S. M.; ROCHA, G. J. M.; GONÇALVES, A. R. **Thermal and chemical characterization of sugarcane bagasse cellulose/lignin-reinforced composites**. Polymer Bulletin, v. x, p. 1, 2016.

MORAES, D. V. **Avaliação de Propriedades de Fadiga de Compósitos de Polipropileno Reforçado com Fibras de coco.** 2013. 218f. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo – SP, 2013.

NETO, J. A. M. **Desempenho Mecânico de Compósitos Híbridos de Fibras Naturais e Poliéster não Saturado.** 2010. 74f. Dissertação de Pós-Graduação, UFRN, Natal – RN, 2010.

NICOLAI, F. N. P. **Material compósito de matriz estervinílica reforçado com fibras naturais de sisal e coco e com fibra de vidro, a ser aplicado no design da engenharia naval.** 2007. 186f. Dissertação de Mestrado, REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG), Belo Horizonte – MG, 2007.

ONÉSIPPE, C.; PASSE-COUTRIN, N.; TORO, F.; DELVASTO S.; BILBA, K.; ARSÈNE, M-A. **Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations. Composites: Part A**, v.41, p. 549-556, 2010.

OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2004.

PAIVA, J. M. F.; FRONLLINI, E. **Matriz Termofixa Fenólica em Compósitos Reforçados com Fibras de Bagaço de Cana-de-Açúcar. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Abr/Jun – 1999.

PANZERA, T.H.; RUBIO, J.C.C. **Estudo do comportamento Mecânico de um Compósito Particulado de Matriz Polimérica.** Disponível em [www.demec.ufmg/Grupos/Usinagem/composito.html](http://www.demec.ufmg/Grupos/Usinagem/composito.html) Acesso em 12/02/2016.

PAULA, P. G. **Formulação e Caracterização de Compósitos com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica.** 2011. 87f. Dissertação de Pós-Graduação, UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.

PET BRASIL. Disponível em: <[www.petbrasil.org.br/mercado-brasileiro](http://www.petbrasil.org.br/mercado-brasileiro)> Acesso em: 13/03/2016.

PUPO, H. F.F. **Painéis Alternativos Produzidos a Partir de Resíduos Termoplásticos e da Pupunheira (*Bactris gasipaes Kunth*)**. 2012. 81f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2012.

RAMIRES, E. C. **Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glioxal reforçadas com fibras naturais**. 2010. 277f. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2010.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2006.167f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SAHA, P.; MANNA, S.; CHOWDHURY, S. R.; SEN, R.; ROY, D.; ADHIKARI, B. **Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment**. *Bioresource Technology*, v. 101, p.3182-3187, 2010.

SAHEB, D. N., JOG, J. P. **Natural fiber polymer composites: A Review**. *Advances in Polymer Technology*, v.18, p.351–363, 1999.

SAIN, M., PANTHAPULAKKAL, S, **In Green Fibre Thermoplastic Composites**, Baillie C (Edt) Cambridge, 2004.

SANTOS, A. M.; AMICO, S. C.; SYDENSTRICKER, T. H. D. **Desenvolvimento de compósito híbrido polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações de engenharia** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17º CBCiMat, Foz do Iguaçu, 2006

SANTOS, R. P. O. **Compósitos baseados em PET reciclado, fibras de sisal e plasticizantes oriundos de fontes renováveis: estudo do processamento e**

**propriedades destes materiais.** 2012. 157f. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2012.

**SAKAHARA, R. M. Estudo da Formação da Fase Cristalina Beta nos Compósitos de Polipropileno Contendo Anidrido Maléico e Carbonato de Cálcio.** 2012, 120f. Dissertação Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2012.

**SILVA, C. G. Bagaço de cana de açúcar como reforço de matrizes termorrígidas baseadas em macromoléculas de ligninas.** 2011. 190f. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2011.

**SILVA, C.G.; FROLLINI, E. Fibras de bagaço de cana de açúcar queimadas e não queimadas em compósitos de matriz termorrígidas.** 10° Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPol), Foz do Iguaçu, Paraná, 2009.

**SILVA, F. V. Panorama e perspectivas do etanol lignocelulósico.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 13, n. 20, p. 01-XX, jul./dez. 2012.

**SURESH, S.; SENTHIL KUMAR, V. S. An Overview of Recent Research Works on the Forming of Thermoplastic Composite Sheets.** Applied Mechanics and Materials, v. 117-119, p. 764-768, 2011.

**TROEDER, M.L.; SEDAN, D.; PEYRATOUT, C.; BONNET, J. P.; SMITH, A.; GUINEBRETIERE, R.; GLOAGUEN, V.; KRAUSZ, P. Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. Composites: Part A,** v.39, p. 514-522, 2008.

**VERA, R. V. Estruturas Aeronáuticas de Interior em Compósito Natural: Fabricação, Análise Estrutural e de Inflamabilidade.** 2012. 117f. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2012.

VILA-CHÃ, N. M. B. **Estudo de um Material Compósito à Base de Gesso e Cortiça**. 2012, 73f. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães – Portugal, 2012.

ZANGIACOMI, M. H.; BITTENCOURT, E. **Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de PANox e Fibras de Aramida**. 2006, v15, n. ½, p. 55-61, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2006.

## ANEXO

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**GLAYCE CASSARO PEREIRA**

**MANUAL OPERACIONAL PARA CONFECÇÃO DE CASINHAS DE CACHORRO  
COM COMPÓSITOS DE FIBRAS NATURAIS (BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR /  
POLIESTIRENO)**

**VOLTA REDONDA**

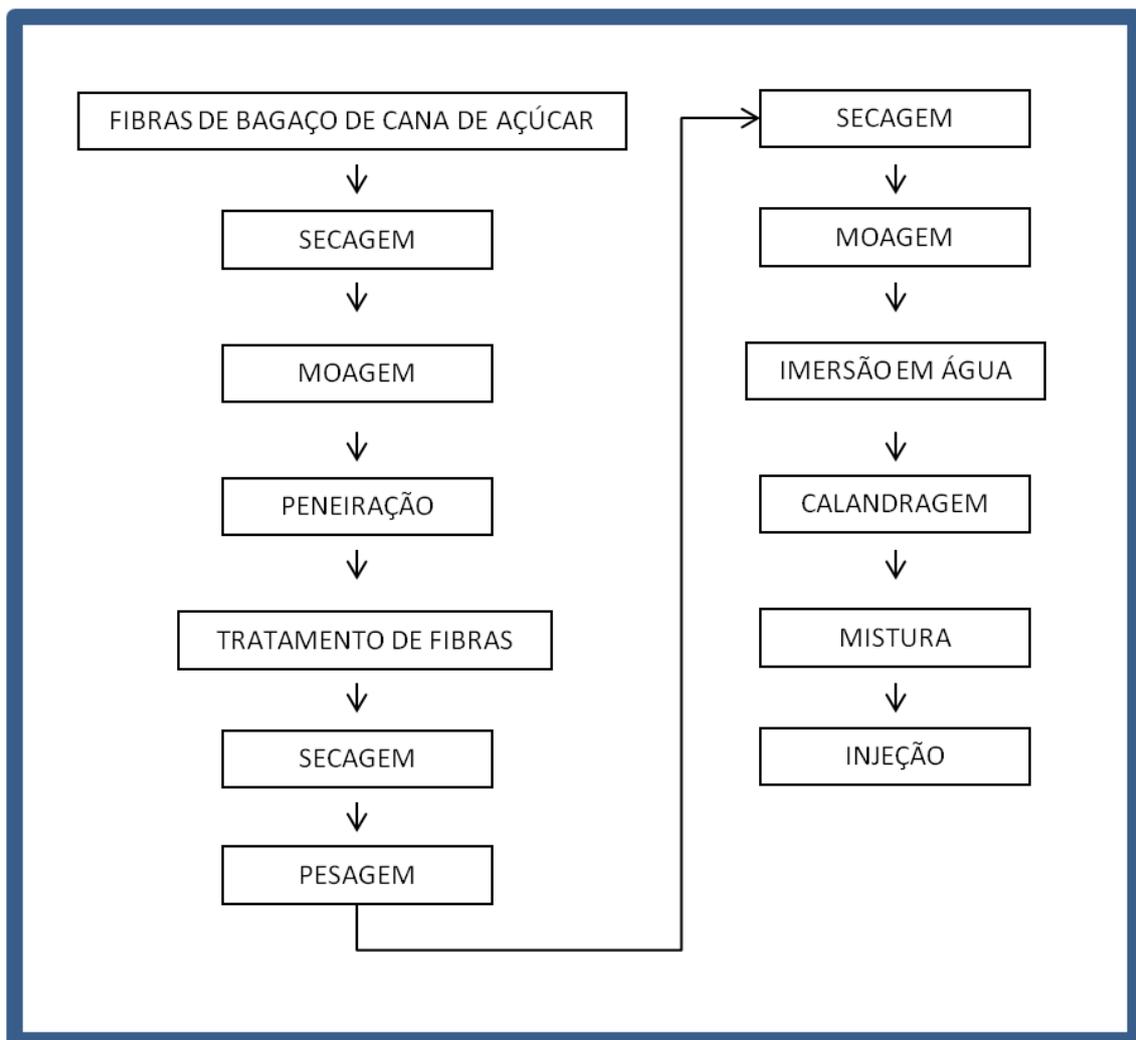
**2016**

## 1. APRESENTAÇÃO

Esse manual tem como objetivo mostrar uma rota dinâmica de produção de compósitos de HIPS com fibras de bagaço de cana para uso na produção de casinhas para cães. O Manual de Produção de compósitos de HIPS /fibra de bagaço de cana, é um documento que tem como objetivo formalizar a sua produção, assim como dispor conteúdo informativo, padronizando o conhecimento e o conteúdo por todos envolvidos na produção desse produto, buscando qualidade e eficiência operacional e consequente qualidade do produto final.

## 2. FLUXO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL

Abaixo o Fluxo do Procedimento Operacional para a produção de compósitos para serem utilizados na produção de casinhas para cachorro.



### **3. INTRODUÇÕES TEÓRICAS**

#### **3.1. Introdução**

A paixão do povo brasileiro por bicho de estimação, fez com que o animal fosse inserido na vida das pessoas como um membro da família, sendo assim o Brasil se tornou o quarto país no ranking de população de animais de estimação no mundo, com 132,4 milhões de pets. Esse contingente movimentou um setor que, em 2014, chegou a ocupar 0,38% do PIB nacional, número superior àqueles das geladeiras e freezers, componentes elétricos e eletrônicos e automação industrial.

A indústria pet brasileira foi responsável por um faturamento de mais de R\$ 16 bilhões em 2014, crescimento de 10% sobre 2013 e segundo lugar absoluto no mercado mundial, atrás apenas dos Estados Unidos. As exportações acompanharam esse crescimento, e movimentaram U\$ FOB 269,3 milhões em 2014, contra cerca de U\$ FOB 4 milhões de importações. Globalmente, o setor movimentou U\$ 100 bilhões.

Baseados nesses dados, o mercado apresenta um quadro otimista para criação de novos produtos que visam buscar inovação para desenvolver soluções mais inteligentes para seus clientes, principalmente quando se tratando de produtos que visam à preservação ambiental.

O fenômeno da globalização, com o crescimento da preocupação em caráter mundial em se conseguir o desenvolvimento sustentável e o consequente aumento do poder de pressão do consumidor, cada vez mais exigente em termos ambientais, tem trazido às empresas a necessidade de adaptação cada vez mais às novas exigências mercadológicas, o que tem atingido inclusive o mercado pet, que está começando a adaptar-se aos novos tempos, se adequando a esta tendência ambiental.

Nesta linha de pensamento, o presente manual apresenta como potencial alternativa a fabricação de casinhas de cachorro, utilizando um compósito onde a matriz polimérica é o poliestireno de alto impacto (HIPS), reforçada com bagaço de cana de açúcar.

#### **3.2. Casinhas de cachorro e os materiais usados na sua construção**

O cachorro é o animal de estimação que se vê com maior frequência nas residências espalhadas pelo mundo. Só no Brasil estima-se que existam mais de três milhões de cães.

Devido ao comportamento dócil e companheirismo que apresentam em relação aos donos, estes bichinhos estão cada vez mais presentes nos lares brasileiros, contribuindo também para com o aquecimento da economia no setor de produtos para animais, visto que há uma preocupação maior em consumir serviços e mercadorias para a manutenção do bem estar dos cachorros.

O cachorro é um animal que é frágil e está suscetível ao aparecimento de doenças, logo é necessário tomar todos os cuidados possíveis para preservar a saúde dele como, por exemplo, protegê-lo das ações do tempo como chuva, frio e excesso de vento. Por essa

necessidade de ter um cantinho para ele que inventaram as casinhas de cachorro, que ajudam a manter o cachorro seguro e protegido.

Existem diversos tipos e modelos de casinhas de cachorro, mas existem dois aspectos nelas são muito importantes para manter o animal seguro e protegido, que são o design e o material utilizado na fabricação.

O design é um dos aspectos mais importantes, porque a casinha é o local onde o animal vai ficar grande parte do tempo, e pra isso, ela precisa ser bem confortável e segura.

O outro aspecto importante que vai fazer com que a casinha seja confortável e segura é o material utilizado na fabricação. No Brasil existem dois materiais que são comumente utilizados na fabricação da casinha de cachorro, a madeira e o plástico. Os dois tipos de materiais possuem suas vantagens e desvantagens.

No caso das casinhas feitas de madeira, elas são menos vantajosas quando comparada com as casinhas feitas de plásticos. Elas apresentam a vantagem de absorve o calor, protegendo o animal principalmente nos dias frios, além de ser mais eficiente também nos dias ventosos e de chuva; mas apresentam as seguintes desvantagens:

- valor elevado, pois para durarem mais e não ter problemas com bolor e cupim, elas precisam ser de madeira nobre, como peroba, ipê e jatobá, o que as tornam bem mais caras;
- demandam mais tempo na fabricação, pois precisam ser protegidas com verniz ou tinta própria para madeira, a fim de garantir a sua maior durabilidade;
- dificuldade na hora da limpeza, favorecendo o acúmulo de sujeira e proliferação de ectoparasitas, além de acumular mau cheiro;
- necessitam ter alguns cuidados quanto às pontas que possam machucar.

Já as casinhas feitas de plástico, tem a desvantagem de aquecerem e esfriarem muito rapidamente, conforme a temperatura do local onde ela estiver; mas apresentam as seguintes vantagens:

- praticidade na hora da limpeza, até porque existem modelos que possuem telhado removível;
- são mais leves, facilitando a sua movimentação;
- resistentes à umidade;
- preço mais acessível.

Desta forma, as casinhas de cachorro fabricadas de material plástico, são as que melhor apresentam custo benefício.

### **3.3. Requisitos para uma casinha de cachorro**

Saber quais as exigências que uma casinha de cachorro deve ter é fundamental para a identificação do material mais adequado ao fabrico das mesmas. São elas:

- o peso da casinha, que quanto mais leve, mais favorece no transporte na hora da compra ou mudanças de lugar e na hora da limpeza;
- o design deve favorecer o conforto do animal; assim como deve facilitar o acesso aos locais de acúmulo de sujeira, facilitando na hora da limpeza;

- todo o produto deve ser formado por superfícies lisas para não haver acúmulo de sujeira e/ou alojamento de ectoparasitas;
- o tamanho da casinha deve ser proporcional ao porte do animal, sendo grande o suficiente para que o animal fique confortavelmente de pé e consiga dar uma volta ao redor de si mesmo, por outro lado, não deve ser grande demais, senão, ele terá dificuldade de se manter aquecido;
- a entrada da casinha deve ser alocada em um dos cantos, para melhor protegê-lo; diferente da maioria das casinhas encontradas hoje em dia, cuja entrada é no centro, o que deixa o cão totalmente exposto ao vento e ao frio;
- a porta deve ser larga o suficiente para que o animal possa entrar facilmente, e não muito alta, uma vez que essa porta menor vai proteger ainda mais o animal;
- um ressalto na porta, para impedir a entrada de bichos pequenos que podem ser perigosos para o cão;
- o telhado deve ficar em uma posição que não acumule água da chuva;
- o material de fabricação deve ser resistente, garantindo a durabilidade do produto e proteção do animal, sendo ela capaz de resistir às intempéries; as pancadas causadas com pelo impacto do corpo do animal contra a casinha; e às mordidas e arranhaduras do animal.

### **3.4. Identificação do material plástico utilizado na fabricação de casinhas de cachorro**

O material comumente são os Polímeros, que são materiais compostos por macromoléculas cujas cadeias são formadas pela repetição de uma unidade básica chamada mero. A palavra polímero é de origem grega, sendo poli (muitos) e mero (unidades de repetição).

Materiais poliméricos são considerados indispensáveis à vida moderna, no entanto, devido ao contínuo desenvolvimento de novas tecnologias, torna-se cada vez mais difícil encontrar um polímero que possua todas as características necessárias para uma determinada aplicação, seja devido às propriedades mecânicas, formas de obtenção, reciclagem ou custo. Assim, os polímeros são cada vez mais utilizados como matrizes no desenvolvimento de compósitos.

Devido às vantagens dos polímeros em relação aos demais materiais, como as cerâmicas e os metais, na facilidade de processamento, baixo custo e elevada, e ao mesmo tempo versátil, aplicabilidade, os compósitos com matrizes poliméricas desenvolveram-se rapidamente e logo foram aceitos tanto pelas indústrias como pelo mercado consumidor.

### **3.5. Características dos materiais poliméricos e compósitos de matriz polimérica**

Compósitos com matrizes poliméricas possuem diversas aplicações, desde a indústria automotiva, naval e aeroespacial, passando por aplicações militares, dentre outras.

Esta diversidade de aplicações deve-se ao extenso número de combinações possíveis quando mistura um material de reforço em matrizes poliméricas. Portanto, compósitos de matriz polimérica podem ser entendidos como a combinação de dois ou mais materiais, por exemplo, um reforço ou carga envolvido por uma matriz polimérica, com propriedades superiores a de seus constituintes.

Há dois tipos de compósitos poliméricos que são nomeados como termorrígidos e termoplásticos. E, a principal diferença entre cada um está no comportamento destes materiais quando aquecidos, ou seja, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos quando aquecidos a uma determinada temperatura e depois se solidificarem quando há um decréscimo desta temperatura. Por outro lado, os termorrígidos não são capazes de se tornarem fluidos, pois, durante o processo de cura que é normalmente exotérmico, sofrem reações químicas irreversíveis com a formação de uma grande quantidade de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares, tornando-se rígido, infusível e insolúvel.

As principais características de polímeros termoplásticos são:

- são recicláveis mecanicamente;
- possui tempo limitado de armazenamento;
- alta viscosidade quando fundido;
- baixa resistência à fluência;
- temperatura de uso limitada à  $T_g$  e  $T_m$ ,
- baixa estabilidade térmica e dimensional.

Já as principais características dos polímeros termorrígidos quando comparado com os polímeros termoplásticos são:

- não são recicláveis mecanicamente;
- possui tempo limitado de armazenamento;
- baixa viscosidade durante o processamento;
- alta resistência à fluência;
- alta resistência térmica e dimensional.

As resinas termofixas são fornecidas na forma de um líquido viscoso que, após a adição de produtos químicos apropriados denominados iniciadores de reação, ou catalisadores, como são normalmente, porém incorretamente conhecidos, transforma-se do estado líquido para o sólido, irreversivelmente, devido às ligações entre as cadeias de polímeros, processo este chamado de cura (ou polimerização) da resina.

A grande vantagem dos polímeros termofixos está nas suas elevadas propriedades mecânicas, que se mantém até em temperaturas aonde um termoplástico já teria se desfeito. Por isso, embora o valor do material seja mais elevado em relação aos polímeros termoplásticos, existem compensações em termos de desempenho da peça concebida com resinas termofixas.

Já as resinas termoplásticas apresentam-se no estado sólido à baixa temperatura ambiente e são processados ou moldados por meio de aquecimento, fusão e resfriamento, em moldes apropriados. Apresentam excelente resistência química e mecânica em temperaturas baixas, porém deixam a desejar em termos de qualidade mecânica quando submetidos a altas temperaturas, pois amolecem gradualmente com o aumento da temperatura.

A utilização de polímeros termoplásticos se deve à facilidade de manipulação com fabricação de peças em máquinas injetoras de plástico, possuindo também o atrativo de ser uma matéria prima de baixo preço de mercado, quando comparado a outros materiais. Isto explica o grande emprego deste tipo de polímero, com ou sem reforços, em diversos campos da indústria.

Apesar da existência de uma grande variedade de termoplásticos, apenas cinco deles, o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e o politereftalato de etileno (PET) representam cerca de 90% do consumo nacional.

Nesse produto, a casinha de cachorro, optamos trabalhar com o polímero termoplástico citado acima, o Poliestileno (PS), e neste caso o poliestireno é de alto impacto (PSAI) ou Hips (High-Impact Poly Styrene), que é um polímero amorfo, como o PS, mas com adição de borracha (polibutadieno) por “grafting” (enxerto), isto é, moléculas de polibutadieno são adicionais à cadeia principal do poliestireno através de reações químicas e não simplesmente por mistura.

O poliestireno de alto impacto é amorfo, branco, dúctil, fácil de processar e também muito suscetível à radiação solar. É utilizado na fabricação de caixas de televisores, aparelhos de som, toca-fitas/CD de automóveis, copos descartáveis, revestimento interno de geladeiras e congeladores.

O elastômero incorporado ao poliestireno (PS) é responsável pela relaxação do material a nível molecular, a qual dissipa parte da energia em calor, tendo efeito sinérgico na absorção de impacto.

Nos poliestirenos modificados, como o Hips, a resistência ao impacto é superior ao do poliestireno comum, porém, a resistência à tração e o módulo de elasticidade são menores.

As principais propriedades do Hips são ponto de amolecimento entre 87 e 100°C e solubilidade parcial em hidrocarbonetos e cetonas. A temperatura de processamento do Hips, abaixo da temperatura de degradação das fibras naturais, e seu fácil processamento são algumas das principais propriedades que o tornam uma alternativa viável de matriz para compósitos reforçados com fibras naturais.

### **3.6. Reforços**

A fim de se aumentar o uso de polímeros utiliza-se a adição de outros elementos ao material original, visando melhorias de processamento e/ou de propriedades desejadas. Entre os aditivos, em particular, os agentes de reforços são adicionados ao polímero para aumentar propriedades mecânicas do material, como por exemplo, resistência à tração, flexão e o módulo de elasticidade.

Em razão da variedade de materiais que podem constituir as diferentes fases dos compósitos, sendo classificado em três grandes grupos de acordo com o material reforçante: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras e compósitos estruturais.

Os compósitos bifásicos podem ser classificados em três grandes categorias dependendo do tipo, geometria e orientação da fase reforçadora (fibra) como:

- Compósito granulado: aquele formado por partículas de vários tamanhos e forma, dispersos aleatoriamente na matriz. Devido a essa aleatoriedade, tais compósitos podem ser considerados quase-homogêneos e quase isotrópicos, se examinados numa escala maior que o tamanho das partículas;

- Compósitos de fibras descontínuas: que apresentam como reforço pequenas fibras, pois são consideradas largas quando o comprimento é comparado com seu diâmetro e podem ser dispostas aleatoriamente ou ao longo de uma direção.

- Compósitos de fibras contínuas: são reforçados por longas fibras contínuas e mais eficientes do ponto de vista da rigidez e resistência mecânica. As fibras podem ser todas paralelas (unidirecional), dispostas perpendicularmente (bidirecional) ou orientadas em vários ângulos (multidirecional).

As fibras podem ser adicionadas aos polímeros nas formas de fibras longas ou curtas, mantas, tecidos, etc. Quando incorporadas aos polímeros, podem ser processadas por praticamente todos os métodos convencionais de processamento de plástico (extrusão e injeção para fibras curtas; calandragem e pesagem para fibras longas ou curtas).

### **3.7. Fibras Naturais**

O surgimento dos polímeros no início do século XIX inaugurou uma nova era de pesquisas com uma nova opção de utilizar as fibras naturais em campos mais diversificados. Ao mesmo tempo o interesse em fibras sintéticas, devido às maiores dimensões e de outras propriedades ganhou popularidade e, lentamente, foi substituindo as fibras naturais em diferentes aplicações. No entanto, as alterações na matéria prima e produção de compostos sintéticos exigem uma grande quantidade de energia e a qualidade do ambiente sofre por causa da poluição gerada na produção e na reciclagem desses materiais sintéticos. Esta condição levou a necessidade de intensificar os estudos e pesquisas voltados para as fibras naturais devido as suas vantagens. Assim, o renovado interesse pelas fibras naturais, vem obtendo grandes resultados no que se refere às propriedades mecânicas, muitas vezes substituindo as fibras sintéticas e tendo novas aplicações.

As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e usadas “in natura” ou mesmo após certo grau de beneficiamento.

O termo fibras naturais engloba as fibras vegetais, animais e minerais. Contudo, na indústria dos materiais compósitos, este termo refere-se apenas às fibras de origem vegetal oriundas do caule, da semente, do fruto ou das folhas de algumas plantas. Estas fibras contribuem de uma forma preponderante para a sustentação da planta durante a sua vida e quando são utilizadas em materiais compósitos, as fibras naturais, sendo mais ecológicas que as sintéticas, conseguem providenciar propriedades mecânicas de grande interesse.

As fibras vegetais são chamadas de lignocelulósicas por terem constituição básica de celulose, hemicelulose, lignina além de quantidades de pectina, sais inorgânicos, substâncias nitrogenadas, corantes, que são incluídos no que se denomina de fração solúvel.

A celulose é o componente essencial de todas as plantas e o polímero natural existente em maior abundância. Por possuírem moléculas grandes, são mais resistentes às tensões mecânicas e térmicas que os compostos formados por moléculas pequenas.

A lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos, que une as fibras celulósicas formando a parede celular. Fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular e protegendo os carboidratos (açúcares) contra danos físicos e químicos. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade e a taxa de hidrólise. Fibras com alto teor de lignina são de excelente qualidade e bastante flexíveis.

A hemicelulose é um polissacarídeo formado pela polimerização de vários açúcares. Normalmente atua como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina, não estando diretamente correlacionada à resistência e dureza das fibras.

As fibras vegetais são encontradas em diversas aplicações como em roupas, utensílios, móveis, materiais solventes, etc. Também são utilizadas como carga na fabricação de compósitos poliméricos, devido principalmente às propriedades que estes materiais apresentam, com vantagens econômicas e ambientais.

Pode se obter as fibras de diferentes partes da planta: fibras de sementes (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo, kenaf, malva, bagaço de cana de açúcar e bambu), fibras de folhas (abacaxi, bananeira, sisal, piaçava e curauá), fibras de raiz (zacatão) e fibras de fruto (coco verde).

São concorrentes das fibras naturais, as fibras artificiais, como as poliamidas, poliéster, carbono, poliaramidas e fibras de vidro, são as concorrentes das fibras naturais. Pode-se incluir nesse grupo artificial também o concreto e o aço.

As fibras naturais têm baixa densidade, aproximadamente a metade daquela da fibra de vidro, e durante seu processamento não são abrasivas aos equipamentos; podem suportar temperaturas de até 200°C, o que lhes permite serem trabalhados com o polipropileno. Assim, as fibras naturais apresentam baixo custo relativo, alta resistência à tração e alto módulo elástico. Quanto ao peso, levam vantagem sobre a fibra de vidro, de carbono ou de alumínio, e também sobre outras fibras orgânicas, como kevlar, poliéster e nylon. Seu processamento pode ser feito em máquinas rotineiras, sem o exagerado desgaste provocado por fibras metálicas ou sintéticas.

As fibras naturais, além de serem uma fonte renovável de matéria prima, se usadas como reforço de compósitos, levam à redução da geração de lixo decorrente das mesmas, e podem fornecer novas oportunidades de empregos, ajudando a melhorar as condições de vida, especialmente no setor rural.

É importante ressaltar que as fibras naturais apresentam um modulus resistência/peso maior do que o aço, isso é de particular importância para as indústrias que visam à redução de peso em seus produtos. Como exemplo, temos a indústria automobilística, que diminuindo o peso do automóvel, diminui também o gasto com combustível; outro aspecto positivo das fibras naturais é a questão de ISO 14.000, em que o ciclo de vida será decisivo, inclusive para definir preços de produtos. E, sob esses aspectos, os compósitos reforçados com fibras naturais são muito melhores quanto ao consumo de energia, emissão de

efluentes, toxicidade aos operários e aos consumidores, fácil disposição final, reciclabilidade repetitiva, etc.

Outra vantagem das fibras naturais, é que, quando incineradas ou quando sofrem a pirólise num acidente automotivo, não liberam gases muito tóxicos nem resíduos sólidos, pois são passíveis de sofrer combustão completa.

Diferente das fibras sintéticas, uma desvantagem das fibras naturais resulta do fato destas apresentarem maior variabilidade de propriedades mecânicas, que dependem de fatores como: diâmetro da fibra; proporções dos três componentes principais (celulose, poliose e lignina); orientação molecular (ângulo espiral entre as fibrilas); proporção das regiões cristalinas e não cristalinas; porosidades; rugosidades e imperfeições; origem das fibras e sua região de plantio; tipo de solo; o modo e a maneira da colheita; a alta absorção de umidade (que pode causar o inchaço das fibras).

Também vale a pena destacar que, para diversas aplicações, as fibras lignocelulósicas exigem um pós-tratamento para inibir a absorção de água; existe também a possibilidade de fibras e materiais de origem lignocelulósica serem degradadas pela ação de insetos e microorganismos.

### **3.8. Bagaço de Cana de Açúcar**

Dentro do contexto apresentado, as fibras de bagaço de cana-de-açúcar são materiais que possuem ampla possibilidade de aplicação para o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais.

A cana-de-açúcar é uma planta denominada cientificamente por “*Saccharum officinarum*”, e pertence à classe das Monocotiledôneas, do tipo gramíneas. O cultivo desta planta foi introduzido no Brasil desde o século XVI, e se expandiu rapidamente.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, produzindo um número aproximado de 24% do total, em aproximadamente 4 milhões de hectares. Devido à abundância de bagaço de cana, o Brasil se torna um grande produtor de fibras vegetais.

O bagaço de cana é atualmente o resíduo produzido em maior escala na agroindústria brasileira, com sobras anuais estimadas em 120 milhões de toneladas.

Além da madeira, dentre as matérias-primas de origem agrícola, o bagaço de cana é considerado o mais importante para a produção de celulose, constituindo-se desta forma, umas das mais promissoras fontes de fibras para a indústria papeleira.

Esse resíduo lignocelulósico fibroso é proveniente do talo (colmo) da cana-de-açúcar após a moagem e extração do caldo, sendo basicamente constituído de fibras, água e pequenas porções de sólidos insolúveis, constituindo um conjunto heterogêneo de partículas de diferentes tamanhos, que oscilam entre 1 e 25 mm, apresentando um tamanho médio de 20 mm.

A grande quantidade de bagaço de cana de açúcar gerada tem causado sérios problemas de estocagem, além é claro, do impacto ao meio ambiente. Por isso, atualmente o bagaço de cana de açúcar, além de ser utilizado para a geração de energia, tem se prestado

para diversas outras aplicações, tais como: reforço para compósitos poliméricos, materiais absorvedores e componentes para as indústrias de construção civil.

A fibra do bagaço de cana tem sido usada como reforço em compósitos de matriz cimentícia, utilizado na construção civil com o objetivo de reduzir o consumo de eletricidade em casas, e em compósitos de polipropileno, com o interesse de fabricar componentes automotivos como quadros do banco, painel lateral e console central.

Fisicamente, o bagaço de cana-de-açúcar é formado por dois principais componentes, a medula e a fibra, derivados do interior e do exterior do caule, respectivamente. É constituído por quatro frações, cuja porcentagem média é 45% de fibra ou bagaço, 2-3% de sólidos insolúveis, 2-3% de sólidos solúveis e 50% de água. A fibra é a fração sólida orgânica insolúvel em água, presente no colmo da cana-de-açúcar, que se caracteriza pela sua marcante heterogeneidade, do ponto de vista químico e morfológico. Esta fração é a portadora dos elementos estruturais que permitem o uso do bagaço na indústria dos derivados. Os sólidos insolúveis de natureza orgânica são compostos fundamentalmente por terra, pedras, e outras impurezas. Esta fração, embora pequena, também faz parte da composição do bagaço de forma significativa e sofre influência das características da colheita e do solo. Os sólidos solúveis formam a fração que se dissolve na água, composta fundamentalmente por sacarose, cuja extração posterior na usina açucareira não é econômica, bem como por outros compostos químicos, como a cera, mas em menor proporção. A água presente no bagaço é retida nele através de mecanismos de absorção e de capilaridade. Este fenômeno desempenha um papel de grande importância em alguns processos tecnológicos a que é submetido o bagaço, para o seu aproveitamento como matéria-prima. O conteúdo de sólidos solúveis e a umidade do bagaço de cana estão relacionados com a operação da usina açucareira.

Quimicamente, o bagaço é composto por celulose, poliose, lignina, pequena quantidade de sais inorgânicos e água. O bagaço de cana seco pode variar a composição de 32-55% de celulose, 19-25% de lignina, 27-32% de hemicelulose e de 1-4% de cinzas.

### **3.9. Compósitos de Fibras Naturais**

No século XX a investigação na área da ciência dos materiais proporcionou aos engenheiros certa curiosidade na linha de orientação dos novos materiais, destacando-se os materiais compósitos. Hoje em dia, existe uma enorme necessidade de empenho na procura de materiais inovadores e sustentáveis, tendo proveniência, normalmente, de subprodutos de outras indústrias, bem como produtos reciclados. Assim, torna-se, nos dias de hoje, indispensável à aplicação de materiais mais resistentes, duráveis e com propriedades de dissipação da energia aos esforços que são submetidos no dia-a-dia, sem ocorrência de rotura frágil. Além destas características, tornam-se materiais consequentemente mais econômicos. A ideia de utilizar materiais alternativos com a utilização de resíduos ou subprodutos consiste na obtenção de materiais mais sustentáveis do ponto de vista ambiental.

O despertar e o interesse na área da engenharia civil em aplicar este tipo de materiais sob a forma de compósitos, nomeadamente numa primeira fase, através de aplicação

fibras poliméricas, expandiu o conceito a novas aplicações nesta área, surgindo novos materiais compósitos. Uma das alternativas ao uso dos diferentes tipos de fibras sintéticas tais como fibras de vidro, são as fibras de caráter natural, principalmente as fibras vegetais.

No projeto de compósitos, os cientistas e engenheiros combinam vários materiais com o objetivo de produzir uma nova geração de materiais com características especiais. O desempenho dos compósitos é fortemente influenciado pelas propriedades dos seus materiais constituintes, sua distribuição, fração volumétrica e interação entre eles. Tais propriedades podem ser aditivas ou os componentes podem interagir em sinergismo, levando à obtenção de propriedades do compósito que não podem ser medidas pela simples soma das frações volumétricas. A maioria dos compósitos foi criada para melhorar algumas propriedades intrínsecas de um polímero visando atender às exigências de uma determinada aplicação, tais, como rigidez, tenacidade, resistência à tração em condições ambientais e a temperaturas elevadas, estabilidade dimensional, estabilidade térmica, entre outras. Assim sendo, é indispensável que os cientistas e engenheiros escolham adequadamente a composição da matriz e a carga utilizada.

As propriedades dos materiais compósitos são influenciadas pelas propriedades das fibras naturais. As propriedades de algumas fibras naturais são altamente variáveis e dependentes das condições de plantio e crescimento, isso significa que é difícil de obter as mesmas propriedades mecânicas repetidas vezes.

Compósito que utiliza fibras vegetais com plástico está se desenvolvendo rapidamente no mundo todo, por causa de sua versatilidade de uso aliado a sua durabilidade. Este novo produto se mostra vantajoso por utilizar como matéria-prima materiais acessíveis e, além disso, elimina problemas que estes causam ao meio ambiente aumentando sua vida útil.

A incorporação de fibras em uma matriz polimérica pode ocorrer de duas maneiras distintas: uma ou mais fases que tenham a finalidade de reforçar, provocando um aumento na rigidez e resistência mecânica ou o material incorporado tem a atuação mais acentuada como carga; neste caso o reforço adicionado à matriz, normalmente de baixa massa específica e custo reduzido, atua como uma carga aumentando o volume do compósito, e proporcionando reduções de peso e custo do componente.

O grande desafio consiste na combinação das fibras com a matriz, de tal forma que o material mais eficiente para determinada aplicação seja produzido.

O reforço fibroso de um material compósito consiste em milhares de filamentos individuais com diâmetros muito pequenos da ordem de micrômetros, dispersados no material polimérico (matriz). Tipicamente as propriedades mecânicas das fibras são de uma magnitude muito superior às do polímero que elas reforçam. Contudo, a natureza filamentar das fibras impossibilita o seu uso direto em aplicações estruturais. Cabe assim à matriz, não só a função de dar forma estável aos compósitos, mas também assegurar a transmissão de esforços às fibras e proteger a superfície das mesmas. Para além destes requisitos, exigidos às matrizes, também as fibras devem apresentar características que permitam reforçar os polímeros de uma forma eficaz. As fibras devem então possuir:

- Módulo de elasticidade superior ao do polímero a reforçar;
- Tensão de rotura superior à do polímero a ser reforçado;
- Geometria adequada a uma boa adesão à matriz;

- Resistência à deterioração em contacto com a matriz.

Para além dos requisitos acima referidos, existem outros fatores, relacionados com a natureza do reforço que influenciam as propriedades finais de um compósito. A quantidade de fibras, a sua orientação e o seu comprimento são características que influenciam de forma preponderante as características dos polímeros reforçados com fibras.

## **4. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

### **4.1. Materiais**

#### **4.1.1. Fibras curtas de bagaço de cana-de-açúcar**

As fibras são obtidas através do bagaço da cana de açúcar, encontrado facilmente por sua grande quantidade de resíduos gerados na produção de açúcar e álcool para combustíveis em larga escala.

#### **4.1.2. Poliestireno de alto impacto (PSAI) ou HIPS (*High-Impact Poly Styrene*)**

O poliestireno de alto impacto utilizado é o HIPS 825. Ele é amorfo, branco, dúctil, facilmente encontrado, pois são vendidos para a fabricação de caixas de televisores, aparelhos de som, toca-fitas/CD de automóveis, copos descartáveis, revestimento interno de geladeiras e congeladores. Como exemplo temos a empresa *FINA Technology* produz esse produto.

#### **4.1.3. Reagentes Utilizados**

Para a realização dos tratamentos químicos foram utilizados os seguintes reagentes:

- hidróxido de sódio (NaOH) PA, fabricante por Nuclear;
- clorito de sódio (NaClO<sub>2</sub>) PA, fabricado por Cromolina – Química Fina;
- ácido acético glacial PA, fabricado por Synth.

### **4.2. Confeção dos Compósitos**

#### **4.2.1. Obtenção das fibras**

##### **4.2.1.1. Secagem**

Para iniciar o processo de obtenção das fibras, o bagaço precisa estar seco e para isso ele precisa ser levado à estufa a 50°C por 48 horas.

##### **4.2.1.2. Moagem**

Depois de seco, esse bagaço passa pelo processo de moagem. Para esse processo o tipo de moinho utilizado foi o moinho de facas.

#### **4.2.1.3. Peneiração**

As fibras após processadas foram separadas em equipamento de peneira marca Bertel, segundo a norma ABNT, utilizando peneiras de 24, 28 e 48 mesh. A fração passante da peneira de 48 mesh foi utilizada na manufatura do compósito.

#### **4.2.1.4. Tratamento da Fibra**

Uma das preocupações quando se trata de materiais compósitos é a interface entre o reforço e a matriz. A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface pode provocar o início das falhas, comprometendo o desempenho e as propriedades mecânicas dos compósitos. Por isso, o tratamento químico das fibras lignocelulósicas se faz necessário, uma vez que essas fibras oferecem certas desvantagens quando comparadas às fibras sintéticas. Duas desvantagens bem conhecidas é a falta de compatibilização com matriz polimérica hidrofóbica e a tendência de formar aglomerados durante o processamento.

Dois tratamentos são indicados, o tratamento de mercerização, que visa limpar a superfície da fibra removendo parcialmente os constituintes amorfos solúveis em meio alcalino. Desta forma, diminui o grau de agregação das fibras e torna a superfície mais rugosa.

O branqueamento, por sua vez, é um processo químico aplicado aos materiais celulósicos para elevar alvura, reduzindo ou removendo os constituintes do material lignocelulósico que possam causar coloração. Na utilização de fibras como reforço em compósitos o tratamento de branqueamento é importante, pois tem como principal objetivo atacar e remover a lignina residual, que aumenta a rigidez da fibra e impede a reorientação da mesma necessária para a transferência adequada de carga no compósito.

##### **a) Tratamento alcalino (Mercerização)**

Após a classificação granulométrica (peneiramento) as fibras (200 g) são imersas em uma solução alcalina de NaOH 1% (m/v) (2 L), onde deverão permanecer por 1 hora sob agitação constante na temperatura ambiente. Decorrido o tempo de tratamento, a suspensão é filtrada a vácuo e as fibras devem ser lavadas com água destilada até a neutralidade.

Após esse processo, as fibras devem ser secas em estufa a 50°C por 24 horas, para remoção de toda umidade.

##### **b) Tratamento de Branqueamento**

Para o branqueamento das fibras deve ser usado o clorito de sódio para remover a lignina residual contida nas fibras previamente mercerizadas.

As fibras mercerizadas (24 g) são branqueadas utilizando-se 200 mL de uma solução de água destilada contendo 1 mL de ácido acético glacial e 3 g de clorito de sódio (80%). A suspensão deve permanecer sob agitação durante 2 horas à temperatura de 70°C.

Decorrido o tempo do tratamento, a suspensão deve ser filtrada a vácuo e as fibras lavadas com água destilada até a neutralidade e, em seguida, secas em estufa a 50°C por 12 horas para depois serem armazenadas aguardando o momento de serem utilizadas para a manufatura do compósito.

## **4.2.2. Processos de Obtenção dos Compósitos**

### **4.2.2.1. Secagem**

Para a obtenção dos compósitos, primeiramente as fibras de bagaço mercerizadas e branqueadas, que foram armazenadas, voltam à estufa a 50°C por 3 h, para garantir que o material esteja bem seco. O HIPS também deve estar seco, passando também pela estufa na mesma temperatura, porém por 1 h apenas.

### **4.2.2.2. Pesagem**

Posteriormente, os materiais devem ser pesados nas proporções de 9, 23 e 33% (m/m) de fibras.

### **4.2.2.3. Mistura**

A mistura fibra/polímero deve ser realizada em homogeneizador de plásticos, dentro da cápsula bipartida, refrigerada externamente com água. Essa mistura é realizada por meio da rotação das palhetas que giram com aproximadamente 2600 rpm no primeiro estágio de velocidade, que serve apenas para retirar o motor e o eixo do ponto de inércia, e a 5250 rpm no segundo estágio, para efetuar a mistura do material.

O tempo de mistura é determinado pela própria máquina que ao atingir a rotação máxima necessitava ser desligada. Desta forma, o tempo de mistura varia de acordo com a quantidade de fibra utilizada e com o tempo de operação da máquina. Para os compósitos com maiores porcentagens de fibras e no início do processo onde a máquina ainda não está aquecida, o tempo de mistura é maior. Em média os compósitos levam de 50 segundos a 3 minutos para serem misturados.

### **4.2.2.4. Calandragem**

Após a mistura, o material fundido deve passar por entre rolos de aços inox (calandras) a temperatura ambiente, com o objetivo de facilitar a etapa de granulação.

### **4.2.2.5. Imersão em água**

Ao sair da calandra, a mistura foi resfriada por imersão em água também a temperatura ambiente.

### **4.2.2.6. Moagem**

Após a imersão em água, os compósitos devem ser moídos em moinho granulador (RONE) até passar por peneira de 13 mm.

### **4.2.2.7. Secagem**

Depois de peneirados, os compósitos devem ser levados à estufa a 50°C por 3 h, para ficarem totalmente secos. Após esse processo eles estão prontos para serem estocados e posteriormente injetados em moldes utilizados na fabricação de casinha de cachorro.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As casinhas de cachorro fazem parte de um mercado novo e com crescimento constante e acelerado no Brasil, o mercado pet.

Esse quadro atual do Brasil favorece a criação de novos produtos, principalmente aqueles que possam atender o interesse Mundial por novas tecnologias para produção de produtos com menor impacto ambiental.

É focado nesse interesse e na necessidade do mercado pet de se adaptar às novas exigências dos consumidores em termos ambientais que nosso produto se enquadra.

A produção de casinhas de cachorro com compósitos de HIPS / fibras de cana de açúcar tem como vantagens principal vantagem, utilizar fibras naturais, reduzindo a quantidade de polímero utilizado atualmente na fabricação dessas casinhas. Isso contribui para diminuir a preocupação que se tem, hoje em dia, com os materiais plásticos sintéticos, muito utilizados, que por não serem biodegradável e de difícil reciclagem, geram um grande acúmulo em depósitos, lixões e na própria natureza; sem falar que contribui para a diminuição de um dos maiores resíduos gerados pela agroindústria brasileira, que é o bagaço de cana de açúcar. Outra vantagem, também muito importante que não pode ser deixada de mencionar é quanto ao custo do produto, a utilização de compósitos com fibras naturais, reduz o preço, melhorando o preço do produto final e/ou a margem de lucro em cima dele.

Mas, assim como todos os compósitos com fibras naturais, podem sofrer ação de alguns fatores como safra, data da colheita, localidade, intempéries, entre outros, se faz necessário, a realização de testes de impacto em amostras de cada remessa de bagaço utilizados para a confecção dos compósitos.