



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANTÔNIA PALOMA MATIAS CAMPOS

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA
FIBRA DE SISAL APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

PAU DOS FERROS - RN

2015

ANTÔNIA PALOMA MATIAS CAMPOS

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA
FIBRA DE SISAL APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA, Campus Pau dos Ferros, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa

PAU DOS FERROS– RN

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

C198r Campos, Antônia Paloma Matias

Revisão bibliográfica - estudo das propriedades mecânicas da fibra de sisal aplicada na indústria automobilística / Antônia Paloma Matias Campos -- Mossoró, 2015.
49f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Propriedades mecânicas. 2. Compósitos.
3. Indústria automobilística. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT/253-15

CDD: 620.11292

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa
CRB-15/453

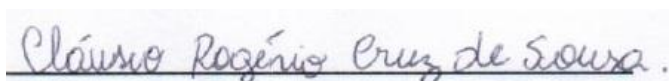
ANTÔNIA PALOMA MATIAS CAMPOS

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA
FIBRA DE SISAL APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

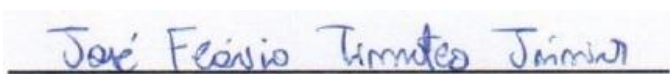
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA, Campus Pau dos Ferros, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM 02/02/2015.

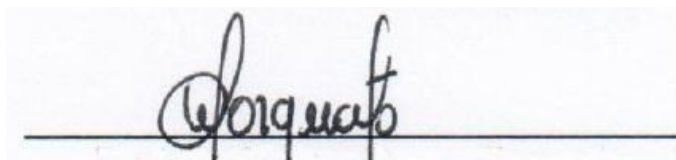
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa
Presidente



Prof.º Dr. José Flávio Timoteo Júnior
Primeiro Membro



Prof. Dr. Wagner Lopes Torquato
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me proporciona todos os dias oportunidades de evoluir espiritualmente e intelectualmente, e que nunca desiste de mim, mesmo que por inúmeras vezes eu fique um bom tempo sem meditar sobre minhas ações do cotidiano. Agradeço ainda por ter colocado pessoas maravilhosas no meu caminho, que me dão força em momentos difíceis, e que acreditam na minha capacidade evolutiva.

Obrigada também à minha família, que considero meu refúgio, sempre que preciso de um descanso espiritual do estresse do dia-à-dia, em especial a minha mãe, que nunca passou um dia sem me dar uma palavra de apoio e incentivo, para que eu continuasse firme e forte na minha jornada. Muito obrigada pelo carinho de vocês.

Agradeço aos meus amigos, desde os de infância até os que conquistei nos dias atuais, pois com eles passei a maioria dos momentos inesquecíveis da minha vida.

Agradeço ao meu orientador Cláudio Rogério Cruz de Sousa, pela paciência e compreensão, e que mesmo afastado da universidade por motivos de saúde, ainda aceitou a missão de orientar o meu trabalho de conclusão de curso. Agradeço também ao meu coorientador Jose Flavio Timoteo Junior, pela disposição sempre que precisei resolver algum assunto acadêmico.

Quanto aos meus professores e ex - professores, acho que todos sabem do imenso carinho e consideração que sinto, pois sempre deixei isso explícito, mesmo passando por alguns momentos difíceis com alguns. Digo isso sem demagogia alguma.

Aos funcionários da UFERSA, em especial aos que tive o imenso prazer de conhecer: terceirizados, motoristas, técnicos administrativos, enfim, todos que contribuíram para o meu bem estar e me deram o imenso prestígio de suas amizades, que confiante em Deus, levarei pelo resto da vida.

RESUMO

A *Agave sisalana*, mais conhecida como sisal, planta originária do México e adaptada ao semiárido brasileiro, vem sendo utilizada na indústria automobilística como alternativa biosustentável à fibra sintética. O processo de produção de componentes automobilísticos constituídos de fibras de sisal consiste na extração e tratamento da fibra da planta, para que possa ser utilizada como reforço de matriz polimérica, em especial matrizes de polipropileno (PP), um dos principais materiais usados na fabricação de peças mais leves de automóveis.

Por ser uma planta de fácil cultivo que se adaptou às condições climáticas e ao solo do Nordeste brasileiro e por ser uma importante alternativa tecnológica aos materiais mais comumente utilizados, como fibras de vidro e polímeros, que levam mais tempo para se decompor na natureza, o sisal é uma importante fonte de renda para a Região semiárida, principalmente para a população que vive da agricultura.

No presente trabalho, mostrou-se uma revisão ampla de aplicações da fibra na indústria automobilística, assim como propriedades, processos de fabricação de componentes que contém a matriz reforçada com as fibras de sisal, sua importância ambiental, testes mecânicos e análise microestrutural realizados com as fibras, que mostraram um bom desempenho mecânico.

Palavras-chave: Sisal, compósitos, indústria automobilística, sustentabilidade, resistência mecânica

ABSTRACT

The *Agave sisalana*, better known as sisal, a plant originally from Mexico which is adapted to the Brazilian Semi-Arid, have been applied in the automotive industry as a biosustainable alternative to synthetic fiber. The production process of auto components consisting of sisal fibers consists in the extraction and processing of the plant's fibers for use as reinforcement of polymeric matrixes, particularly polypropylene matrixes, which is a key compound in the manufacture of lighter automobile parts.

For being a easy to cultivate plant which is adapted to the weather and soil of the Brazilian Northeast, and for being an important technological alternative to the generally used materials such as glass and polymeric fibers, which take longer to decompose in nature, the *Agave sisalana* is an important source of income for Brazil's Semi-Arid region, Especially for farmers.

In this document are shown some of the applications of the fiber in the automotive industry as well as properties, the manufacturing process of parts containing a matrix that's reinforced with sisal fibers, it's importance for the environment, mechanical tests and microstructural analysis of the fibers, which shown a great mechanical performance

Keywords: Sisal, composites, automotive industry, sustainability, mechanical resistance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação das várias características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa que tem possibilidade de influenciar as propriedades dos compósitos.....	16
Figura 2 - <i>Agave sisalana</i> (Sisal).....	23
Figura 3 – Feixe com fibras de sisal.....	24
Figura 4 – Desfibradora Faustino 5	26
Figura 5 - Painéis de caminhão Cargo.....	28
Figura 6 - Ford Ka Beaut.....	28
Figura 7 - Ford Ka The Beast	29
Figura 8- Fibras naturais, incluindo o sisal, na composição de peças do Mercedes Benz E-Class. Fonte: Holbery, 2006.	30
Figura 9 - Painéis de Porta, instrumentos e console central, injetados em PP/FS.....	31
Figura 10 - Extrusora.....	33
Figura 11 - Máquina de Injeção.....	34
Figura 12 - Micrografias de fibras de sisal	34
Figura 13 - Gráficos de análises termogravimétricas.	34
Figura 14- Micrografias de fibras de sisal sem tratamento	41
Figura 15- Micrografias de fibra de sisal tratadas com NaOH 2%	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- de Produção e consumo de transformados plásticos no Brasil de 2000 à 2010	20
Gráfico 2- Demanda de resinas no Brasil	20
Gráfico 3- A importância da leveza no automóvel ao longo dos anos.	27
Gráfico 4- Resultados comparativos do ensaio mecânico realizado com os corpos de prova.	38
Gráfico 5- Módulo de Elasticidade do PP reforçado com sisal, em tração.	39
Gráfico 6- Resistência à tração do PP reforçado com sisal	39
Gráfico 7 - Módulo de elasticidade do PP reforçado com sisal, em flexão.....	40
Gráfico 8 - Resistência a Flexão do PP reforçado com sisal.	40
Gráfico 9- Resistência ao impacto do PP reforçado com sisal	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção de plásticos em milhões de toneladas	19
Tabela 2- Fibras naturais que são mais comercializadas.....	22
Tabela 3 - Composição química do sisal sem ser tratado.....	25
Tabela 4- Resultados dos ensaios mecânicos realizados nos corpos de prova	37
Tabela 5 - Propriedades mecânicas de fibras vegetais e convencionais que são usadas como reforço.....	43
Tabela 6 - Comparação entre o consumo de combustível de veículos que contém peças em PP+FV ou PP+CACO ₂ e outros com peças em PP+FS.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PP - Polipropileno

PS - Poliestireno

PE - Polietileno

PVC - Poli (cloreto de vinila)

FS - Fibra de Sisal

PP- S15- lav. - Matriz de polipropileno reforçado com fibra de sisal a 15% lavada com H₂O

PP- S15- trat. - Matriz de polipropileno reforçado com fibra de sisal a 15% tratada com NaOH 2%

PP- S30- lav. - Matriz de polipropileno reforçado com fibra de sisal a 30% lavada com H₂O

PP- S30- trat.- Matriz de polipropileno reforçado com fibra de sisal a 30% tratada com NaOH 2%

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 COMPÓSITOS.....	15
3.1.1 Fases	15
3.1.1.1 A Fase Fibra e a Fase Matriz	16
3.1.1.2 Compósitos com Matriz Polimérica	17
3.2 NOVAS ALTERNATIVAS BIOSUSTENTÁVEIS.....	17
3.2.1 Relação entre engenharia e Sustentabilidade.....	17
3.2.2 Biodegradação	18
3.2.3. Fibras Naturais.....	21
3.2.4 Sisal	23
3.3. APLICAÇÕES DA FIBRA DE SISAL NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	26
3.3.1. A Fibra de sisal como componente de acabamento de veículos	26
3.3.2. Composição e processos de fabricação dos componentes dos veículos.....	31
3.4. TESTES REALIZADOS COM A FIBRA DE SISAL.....	34
3.4.1. Testes de propriedades mecânicas realizadas com fibra de sisal.....	34
3.4.2 Desempenho do veículo.....	43
4. Considerações Finais	44
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável tem ganhado grande notoriedade no campo industrial, principalmente devido a grande preocupação da sociedade com a biodiversidade, aspectos climáticos, preservação de biomas, poluição e estagnação de fontes naturais entre outros, incentivando a busca por meios alternativos que causem menos impactos ambientais no planeta.

Apesar dos fatores ambientais serem de grande importância na atualidade, os fatores econômicos são imprescindíveis para a formação de uma sociedade tecnologicamente avançada, e para haver avanço é necessário investimento, principalmente nas fontes de renda de cada região, de tal forma que economia, tecnologia e sustentabilidade estejam unidas.

Uma das muitas pesquisas relacionadas à área de tecnologia biosustentável, tem como objeto de estudo, a fibra de sisal, planta nativa do México, com grande produção no semi-árido brasileiro, adaptando-se ao clima seco e luminoso da região, podendo suportar longos períodos de estiagem.

Suas fibras, de alta resistência mecânica, podem substituir fibras de vidros e reforçar compósitos poliméricos, tornando-se viáveis para a fabricação de peças plásticas automotivas e de acabamento interno de veículos.

Tratando-se de compósitos naturais, as fibras de sisal são facilmente produzidas em comparação às fibras sintéticas, além de proporcionarem baixos custos, menor tempo de decomposição, e conveniências econômicas para o semi-árido, já que a planta é adaptada ao seu clima.

Apesar de ser uma excelente alternativa, como outras fibras naturais que estão sendo estudadas, sua produção ainda não é significativamente explorada, devido a falta de apoio e incentivo de sua cultura, e necessidade de melhoramentos industriais.

2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Abordar sobre as principais propriedades mecânicas da fibra de sisal e aplicações desta na indústria automobilística.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer revisão bibliográfica sobre os materiais compósitos;
- Abordar sobre as propriedades físicas, químicas, mecânicas e micro estruturais dos compósitos a partir da fibra de sisal;
- Explicar as vantagens da aplicação da fibra de sisal na substituição de fibras sintéticas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 COMPÓSITOS

Segundo Callister Jr (2008), nos últimos anos, muitas de nossas tecnologias tem exigido materiais com combinações não usuais de propriedades, que não podem ser satisfeitas com materiais cerâmicos, poliméricos e ligas metálicas, como por exemplo materiais com aplicações aeroespaciais, subaquáticas e de transporte, onde são exigidos em alguns dos muito casos, baixa massa específica, resistência, rigidez, resistência a abrasão e ao impacto, e que não sejam corroídos facilmente. Logo, para atender a essas necessidades, são necessários nesses casos, a utilização de materiais compósitos.

Para Askeland (1998), materiais compostos, são aqueles que obtém-se ao unir dois materiais com o intuito de conseguir uma combinação de propriedades que não é possível se obter nos materiais originais. Estes compostos são selecionados para conseguir combinações não usuais de resistência, rigidez, bom desempenho em temperaturas altas, resistência a corrosão, dureza ou condutividade, entre outros.

Segundo Felipe (2008), outra vantagem dos materiais compostos, tem como base o alto módulo de elasticidade específico (módulo de elasticidade por unidade de peso) e alta resistência específica (resistência por unidade de peso) com um baixo peso.

3.1.1 Fases

Segundo Callister Jr, (2008), muitos materiais compósitos são constituídos de duas fases: a fase matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada frequentemente de fase dispersa. Desse modo, pode-se dizer que as propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, de suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. Ainda relacionado à classificação dos materiais compósitos, pode-se destacar três divisões principais: os compósitos reforçados com partículas, os reforçados com fibras e os compósitos estruturais. Além dessas divisões, existem pelo menos duas subdivisões para cada divisão. A da fase dispersa nos compostos reforçados com partículas é equiaxial, com dimensões das partículas aproximadamente iguais em todas as direções, nos compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa possui geometria de uma fibra, onde há grande razão entre o comprimento e o diâmetro, e nos compósitos estruturais, estes são combinações de

compósitos e materiais homogêneos. A figura 1 abaixo representa a fase matriz e a fase dispersa citadas no texto.

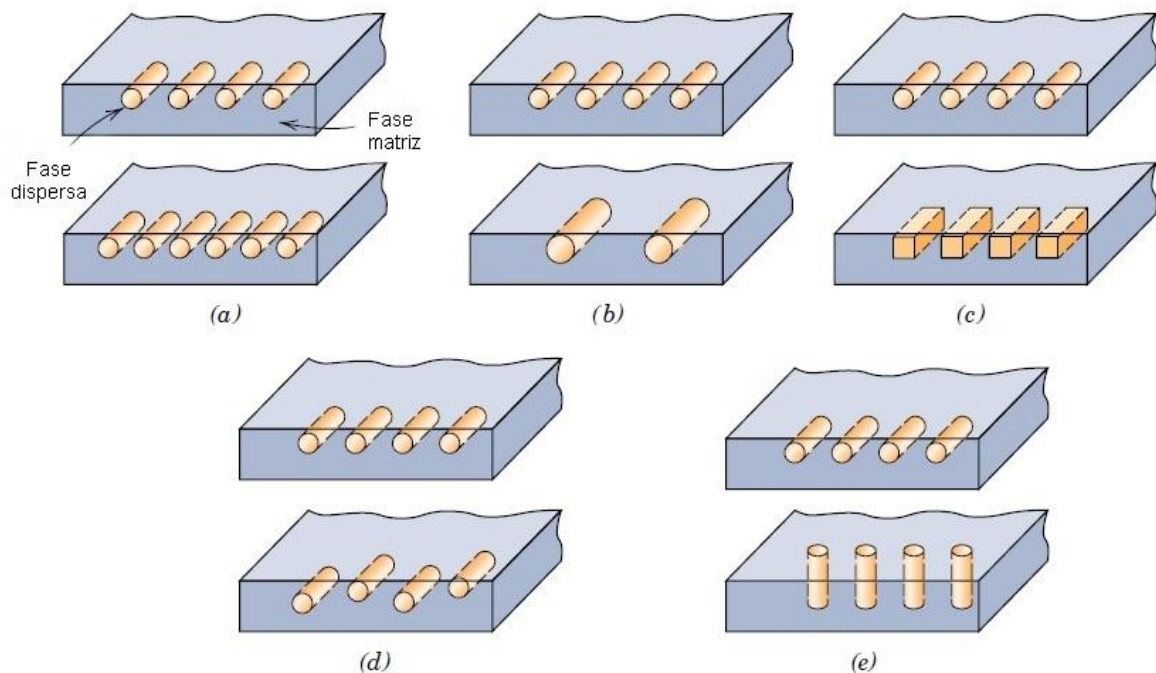


Figura 1- Representação das várias características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa que tem possibilidade de influenciar as propriedades dos compósitos: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição, (e) orientação. Fonte: CALLISTER JR, 2012.

3.1.1.1 A fase fibra e a fase Matriz

Uma característica importante da maioria dos materiais, segundo Callister Jr (2008), especialmente daqueles que são frágeis, é de que uma fibra com diâmetro pequeno é muito mais resistente do que o material volumétrico, já que a probabilidade de existir um defeito superficial crítico, que possa levar a uma fratura, diminui com a redução do volume da amostra, o que pode ser bastante vantajoso.

Já a fase matriz dos compósitos fibrosos, pode ser um polímero, metal ou cerâmica, onde preferencialmente são mais usados como materiais de matrizes os metais e os polímeros, devido suas maiores ductilidades. Para os compósitos com matriz cerâmica, é adicionado o componente de reforço, para melhorar a tenacidade à fratura. Nos compósitos reforçados com fibras, a fase matriz une as fibras umas às outras, atuando como meio no qual uma tensão aplicada externamente é transmitida e distribuída às fibras, fazendo com que apenas uma

proporção muito pequena da carga aplicada, seja suportada por ela. É importante que o material da matriz seja dúctil, e que o módulo de elasticidade da fibra seja muito maior do que o da matriz. Outra importante função da matriz é a de proteger as fibras individuais contra danos superficiais oriundos da abrasão mecânica ou de reações químicas com o ambiente. Além disso, a matriz separa as fibras, e em virtude da sua relativa baixa dureza e plasticidade, tem capacidade de prevenir a propagação de trincas frágeis de uma fibra para outra, servindo então como barreira contra a propagação de trincas (CALLISTER JR, 2008).

A maioria dos compósitos reforçados com fibra consegue uma melhor resistência à fadiga, melhor relação resistência – peso e melhor rigidez, incorporando-se fibras resistentes e rígidas, embora frágeis, em uma matriz mais dúctil e macia. (ASKELAND ,1998).

3.1.1.2. Compósitos com matriz polimérica

Para Callister Jr. (2008), os compósitos com matrizes poliméricas, consistem em uma resina polimérica como a matriz, com fibras nela incluídas como meio de reforço. Esses materiais são usados em diversas aplicações, devido suas propriedades à temperatura ambiente, à facilidade de fabricação e do custo. Além disso, frequentemente é a matriz que determina a máxima temperatura de serviço, já que normalmente ela amolece, funde ou degrada, em uma temperatura muito mais baixa do que a da fibra de reforço. Entre as resinas poliméricas mais amplamente utilizadas e mais baratas, estão os poliésteres e os ésteres vinílicos. Um grande número de formulações dessas resinas pode proporcionar uma ampla variedade para esses polímeros.

Em compósitos de matriz polimérica, é importante que haja uma boa união entre os constituintes, pois as fibras devem unir-se firmemente ao material da matriz, para que a carga seja transferida uniformemente entre estas. Se a união é pobre, as fibras podem desprender-se da matriz durante a aplicação da carga, diminuindo então, a resistência à fratura do compósito (ASKELAND, 1998)

3.2 NOVAS ALTERNATIVAS BIOSUSTENTÁVEIS

3.2.1 Relação entre engenharia e Sustentabilidade

Para Hinz, Valentina e Franco (2006), Devido o grande consumo de recursos naturais, um número cada vez maior de empresas vem incorporando em suas estratégias, o conceito de

sustentabilidade, devido expectativas depositadas sobre estas, quanto suas responsabilidades para com a sociedade, já que dispõem de recursos financeiros e tecnológicos, para uma atuação bem mais ágil e significativa na solução de problemas sociais e ambientais.

Segundo Afonso (2013), o movimento humanitário e a engenharia possuem práticas comuns, como a parceria com a Cruz-vermelha, desde o século XVII, ou trabalhos desenvolvidos em catástrofes como as guerras mundiais, onde trabalhos humanitários de engenharias se destacaram no alívio das circunstâncias. A natureza tem uma forma natural de atingir um equilíbrio, e a humanidade vem intervindo nesse equilíbrio, causando entropia, principalmente por ter atingido níveis elevados de demanda, movida principalmente por padrões consumistas e individualistas, entrando num ciclo de explorar e tentar repor, muitas vezes tentando remediar erros irreversíveis.

Para Cruickshank (2004), apud Quelhas, França e Travincas (2011), os profissionais de engenharia devem ter a capacidade de tomar as melhores decisões na elaboração e implementação de projetos, tornando-se dessa forma, vital na condução dos diversos aspectos das questões sócio – econômicas e ambientais.

Portanto, a engenharia humanitária, apresenta-se como uma vertente que pretende recuperar valores antigos, de proteção do patrimônio natural, em prol do bem estar global procurando soluções para o bem estar comum (AFONSO, 2013).

3.2.2 Biodegradação

A Biodegradação, é um processo de modificação química, oriunda da atividade biológica sob certas condições de calor, umidade, luz, nutrientes minerais e orgânicos adequados, assim como também pode ser definida como um processo de conversão de um material devido a ação de microorganismos, sob condições aeróbias, a dióxido de carbono, biomassa, água, e sob condições anaeróbias, a metano dióxido de carbono e biomassa. (KRUPP; JEWELL, 1999, p. 193-8; SWIFT; 1993, p. 105-10; apud SALAZAR & LEÃO, 2006).

Atualmente, a Biodegradação tem sido pesquisada principalmente em relação a materiais poliméricos, pelo fato do grande uso e descarte destes pela sociedade. Nos Estados Unidos da América (E. U. A), por exemplo, a produção de plásticos excede a 50 milhões de toneladas por ano, sendo que um terço do material é usado na indústria de bolsas, fraldas, capas, xícaras, embalagens, bandejas para comidas rápidas e filmes para agricultura, sendo que só nos E.U.A, mais de 20% do lixo municipal é composto por plásticos. Na União

Europeia, 10 milhões de toneladas de resíduos plásticos são incineradas ou descartadas em aterros. Em alguns casos, a incineração de resíduos plásticos produz materiais voláteis e tóxicos, por exemplo, o PVC, que quando incinerado, libera ácido clorídrico, dioxinas e furanos. Devido a quadros como este e limitações financeiras e técnicas, a reciclagem apenas, não é suficiente para processar grande quantidade de plásticos descartáveis e com a qualidade aceitável pelo comerciante, tornando-se uma alternativa muito restrita, sendo apenas utilizada em 10% dos plásticos comercializados. (FRANCETTI, 1997 apud YABANNAVAR & BARTHA, 1994; BioMat Net, 2002, KRUPP; JEWELL;1999) (apud SALAZAR & LEÃO, 2006).

Além disso, a presença de polímeros de origem petroquímica em aterros sanitários, ocasionam sérios problemas, pelo fato destes serem extremamente estáveis, podendo permanecer intactos por muito tempo, levando a formação de uma camada impermeabilizante, dificultando a circulação de gases e líquidos, e consequentemente a degradação de outros materiais que constituem o lixo, podendo retardar a estabilização das áreas dos aterros. (GOMES e BUENO NETTO, 1997, KARNIOL, 2002- apud QUINES, 2010).

A tabela 1 abaixo, mostra a produção de plásticos no decorrer dos anos, onde é perceptível o aumento da mesma devido a grande dependência da população mundial por produtos oriundos do petróleo.

Tabela 1. Produção de plásticos em milhões de toneladas

Ano	Produção Mundial de Plástico
1950	1,7
1976	47
1989	99
2002	204
2009	250
2010	265

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2012

Analisando o panorama nacional, a Braskem, maior indústria petroquímica do Brasil e maior produtora de resinas termoplásticas das Américas, diz no seu relatório de sustentabilidade, que a produção brasileira de resinas termoplásticas representa menos de 4%

da produção mundial. Em 2009, no Brasil, existiam 11.465 empresas no setor de transformados plásticos, onde 85% estavam localizadas nas regiões sul e sudeste do país. (BRASKEM, 2010, ABIPLAST, 2010) (apud OLIVEIRA, 2012). Os gráficos 1 e 2 abaixo apresentam respectivamente a produção e consumo de transformados plásticos de 2000 à 2010 no Brasil, e a demanda de resinas no País.

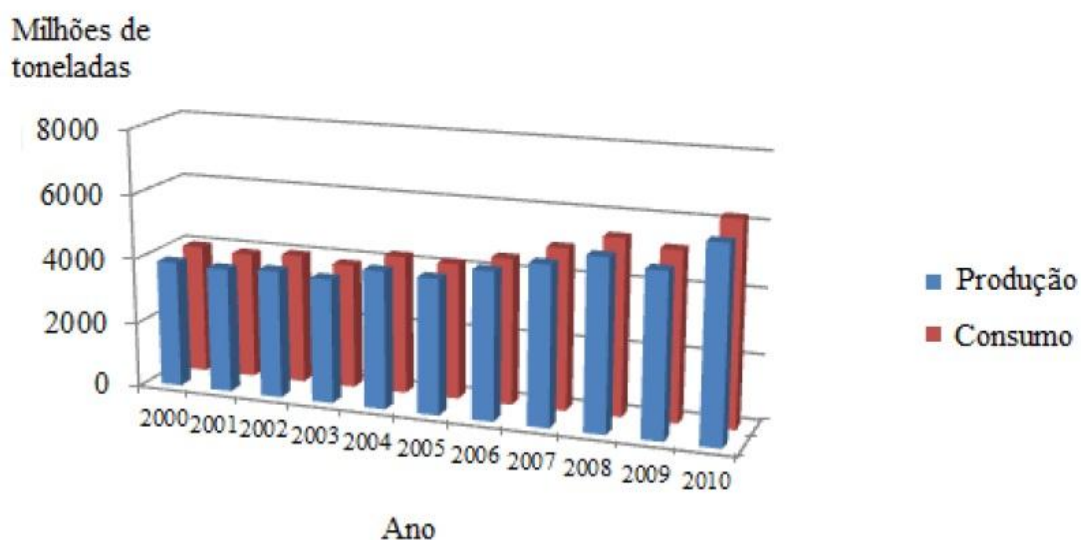


Gráfico 1- Produção e consumo de transformados plásticos no Brasil de 2000 à 2010 . Fonte: Oliveira, 2012.

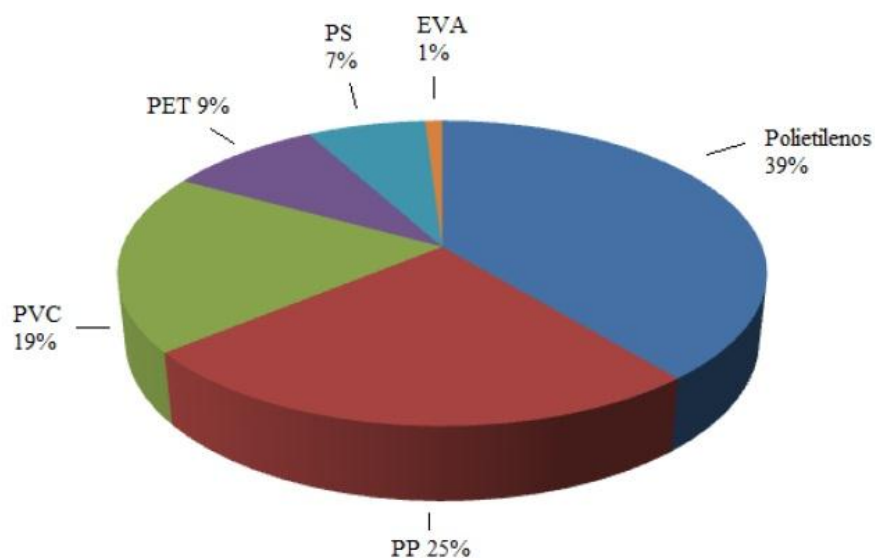


Gráfico 2- Demanda de resinas no Brasil. Fonte: OLIVEIRA, 2012

Segundo Chiellini e Solaro, (1996), Vogelsager et al., (2004), apud Quines (2010), plásticos convencionais como polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno (PE) e poli (cloreto de vinila) (PVC), possuem velocidades de degradação baixas, podendo levar a sérios problemas em relação ao desequilíbrio ambiental, com as quantidades de resíduos de plásticos crescendo e acumulando-se na natureza, podendo, no caso destes polímeros, levar mais de uma centena de anos para decomporem-se, comprometendo ecossistemas terrestres e marítimos. Estima-se que o lixo acumulado nos mares, é responsável direto pela morte de 1 milhão de aves e mamíferos marinhos por ano, sendo que quase todo esse lixo, é levado pelas águas dos rios ou arrastado pela maré das praias para chegar aos oceanos. São despejadas 675 toneladas de resíduos sólidos por hora no mar, sendo 70% deste total, constituído por objetos feitos de plástico. Peixes e pássaros ingerem esse lixo, e acabam morrendo (REVISTA VEJA, ed. 2071, publicada em 30 de julho de 2008, apud QUINES, 2010)

3.2.3 Fibras Naturais

Por motivos ambientais, principalmente em relação a preocupação com a alta produção de polímeros e a lenta biodegradação destes, a investigação na área de materiais compósitos naturais tem cada vez mais aumentado. Além disso, ambiciona-se estudar a combinação dos materiais naturais disponíveis localmente, para que assim, possam-se reduzir os custos. Por motivos como estes, as fibras naturais tem sido cada vez mais utilizadas como reforço de materiais compósitos. As plantas, que produzem essas fibras, podem ser classificadas como primárias e secundárias dependendo de como é utilizada. Quando o produto principal de uma planta é a fibra, a planta é classificada como primária. Como exemplo, temos: Juta, Sisal, Kenaf e Cânhamo. Se a fibra for um produto secundário, a planta passa a ser classificada como secundária. Exemplos: Ananás e Coco (AFONSO, 2013). A tabela 2 a seguir, mostra as principais fibras de origem vegetal, usadas para reforço de materiais poliméricos, e sua produção mundial.

Tabela 2 – Fibras naturais que são mais comercializadas.

Fibra	Produção mundial (10³ ton)
Bambu (<i>Bambusoideae</i>)	30000
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	2300
Kenaf (<i>hibiscos cannabinus</i>)	970
Linho (<i>Linum usitatissimum</i>)	830
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	378
Cânhamo (<i>Cannabis sativa</i>)	214
Coco (<i>cocos nucifera</i>)	100
Rami (<i>Boehmeria nivea</i>)	100
Abacá (<i>Musa textilis</i>)	70

Fonte: Adaptado de FARUK, BIEDZKI, FINK, & SAIN, 2011, apud AFONSO, 2013

Derivados de fibras naturais como a fibra de sisal, têm como principais produtos, seus fios biodegradáveis, muito utilizados em estofados, pasta para indústria de celulose entre outros (ANDRADE et al., 2007, apud VIEIRA, 2008). As fibras também podem ser classificadas de acordo com a origem da planta. As fibras vegetais normalmente crescem em feixes, que formam – se nos vários órgãos das plantas. Elas podem estar associadas aos tecidos vasculares, que constituem fibras do floema e do xilema, ou podem ser independentes destes. Também podem ser obtidas a partir de folhas como no caso do sisal, abacá e ananás, de sementes como, por exemplo: coco, algodão e kapok, e do caule, núcleo e seiva da planta, como por exemplo: kenaf, cânhamo, linho, rami e juta (AFONSO, 2013).

Para melhorar o desempenho da fibra/matriz, é importante que haja um processo de tratamento superficial nas fibras, antes delas serem utilizadas como reforço. O tratamento químico é utilizado com finalidade de separar as fibras individuais e melhorar a adesão com a matriz do compósito, mas também pode ocasionar baixo desempenho mecânico, desestruturação através do inchamento ou degradação superficial (BALEY et. al. 2006, VIEIRA, 2008).

Segundo Vieira (2008), se inicialmente as fibras vegetais eram utilizadas para funções que requeriam menores solicitações mecânicas, atualmente, está sendo utilizada para aplicações com propriedades superiores. Levando em consideração o crescente aumento no preço do petróleo, no Brasil, torna-se ainda mais necessário o investimento na utilização de

fibras naturais como alternativa às fibras sintéticas, afim diminuir a dependência por matérias-primas oriundas do petróleo. Por causa dos motivos até agora citados e pela necessidade de diminuir custos, sem afetar negativamente no desempenho de seus produtos, a indústria automobilística tem sido a pioneira na introdução de fibras vegetais nas suas peças.

3.2.4 Sisal

O sisal (*Agave sisalana*) é uma planta originária da parte oriental de Yucatán, México, recebendo seu nome de uma erva nativa que se chama Zizal-Xiu, nome também de um povoado e ao porto por onde a fibra era exportada para outros mercados. (MEDINA, 1959, apud SALAZAR, LEÃO, 2006). Cultivada principalmente no leste da África, Brasil, Haiti, Índia e Indonésia (NILSON, 1975, MATTOSO, 1997, apud OLIVEIRA, 2009). No Brasil, o sisal passou a ser cultivado a partir de 1903, na Paraíba, sendo que atualmente, sua exploração concentra-se na região nordeste, nos estados da Bahia, Paraíba, e Rio Grande do Norte, devido sua adaptação ao clima. Por ser cultivada no semi-árido brasileiro, é uma grande alternativa econômica para a região, a qual é comum passar um longo período de seca (SILVA, 2010).

O sisal, teve o seu auge econômico durante a crise do petróleo por volta dos anos 60 e 70, sendo nos últimos anos, muito visado por grupos ambientalistas, devido a preocupação com a preservação da natureza (SISALÂNDIA, 2007, apud VIEIRA, 2008). A figura 2 abaixo, mostra uma *Agave sisalana* em meio uma plantação da sua espécie.



Figura 2 - *Agave sisalana* (Sisal). Fonte: SILVA, 2008, apud SILVA, 2010

As fibras de sisa estão inseridas no grupo de fibras “estruturais”, cuja função é dar sustentação e rigidez às folhas. Ao ser extraída, as fibras possuem forma de feixes, cujo comprimento varia de 40 cm à 2 m (média de 1,2 m), mais espessas na base, possuindo seção angular, quase cilíndrica, com uma cor branco – creme. As fibras de sisal são espessas, ásperas e rígidas, classificando-se no grupo das fibras “duras” ou vasculares, sendo estas muito resistentes a tração (MATTOSO et al., 1997, MEDINA, 1954, apud SALAZAR, LEÃO, 2006). A fibra também, é ligno -celulósica leve e atóxica, custando cerca de dez vezes menos que a fibra de vidro, e causando menos danos por abrasão a equipamentos e moldes que esta. (SILVA, 2010). Além disso, é um material biodegradável oriundo de uma fonte renovável, apresentando também como características, boa isolamento térmica e acústica (AMICO et al., 2001, FROLLINI et al., 2004 apud VIEIRA, 2008). A figura 3 abaixo mostra as fibras retiradas do sisal.



Figura 3 - Feixe de fibras de sisal. Fonte: BELAADI, 2012.

Em relação à utilização do sisal, pode-se citar o uso na fabricação de cordéis devido sua resistência mecânica, durabilidade, sua capacidade de esticar e afinidade com certos corantes. Além disso, possui resistência à deterioração por água salgada. Sua utilização na indústria varia em três graus: a fibra de grau inferior, processada na indústria do papel devido seu alto teor de celulose e hemicelulose, a de grau médio, usada na indústria de cordéis, na fabricação de cordas, ligantes de barbantes entre outros, e a fibra de grau maior, passa por um tratamento e depois é convertida em fios para a fabricação de tapetes (CHANDRAMOHAN, MARIMUTHO, 2001).

A composição química das fibras de sisal varia dependendo de alguns aspectos como a idade da planta, parte retirada da planta, métodos de extração etc. (SIQUEIRA, 2006). Podemos observar a composição química típica das fibras, no caso destas não terem passado por nenhum tipo de tratamento, pela tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Composição química do sisal sem ser tratado.

Substância	Conteúdo (% p/p)
α Celulose	73,0
Hemicelulose	10,1
Lignina	7,6
Extrativos	6,2
Outros	3,1

Fonte: Adaptado de SYDENSTRICKER et al., 2003, apud SIQUEIRA, 2006

A extração das fibras é feita por corte e desfibramento da folha, passando logo após, por lavagem, secagem e limpeza. O desfibramento da folha é feito no Brasil, em uma máquina chamada “Paraibana” (MATTOSO et. al., 1997, apud SALAZAR, LEÃO, 2006). Atualmente, foram desenvolvidas novas desfibradoras de sisal, projetadas para evitar a mutilação das mãos e antebraços dos trabalhadores, como por exemplo a desfibradora de sisal Faustino 5, projetada pelo autodidata José Faustino Santos em 1987, e que recentemente está sendo utilizada pelos agricultores baianos em substituição da “Paraibana”. A figura 4 a seguir, mostra as máquinas criadas por Faustino.



Figura 4: Desfibradora Faustino 5. Fonte: Blog do Laercio Silva, 2010.

O processo para que o sisal seja transformado em fios para ser utilizado com fins comerciais, começa a partir dos três anos de vida da planta, quando as suas folhas atingem aproximadamente 140 cm, podendo resultar em fibras de 90 a 120 cm. Outra vantagem da planta, é que ela pode ser colhida o ano todo (SISALÂNDIA, 2007,apud VIEIRA, 2008).

3.3. APLICAÇÕES DA FIBRA DE SISAL NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

3.3.1. A Fibra de sisal como componente de acabamento de veículos

Uma das maiores preocupações da indústria nos últimos anos tem sido a produção de produtos e equipamentos que pudessem minimizar a agressão ao meio ambiente. Devido a grande produção e necessidade de produtos que pudessem atender a demanda de forma sustentável, a indústria automotiva passou a investir em estudos na área ambiental, na procura de novos materiais com capacidade de atender de forma eficiente as exigências do mercado.

A preocupação com sustentabilidade e bem estar, o mercado automotivo tem feito demandar o desenvolvimento de novos materiais cada vez mais leves, com simplicidade no processo de fabricação, acabamento de alto padrão, apelo sustentável e principalmente com propriedades mecânicas adequadas, que são imprescindíveis (REVISTA COMPOSITES & PLÁSTICOS DE ENGENHARIA, 2010). O gráfico 3 a seguir, mostra a importância da leveza no automóvel ao longo dos anos.

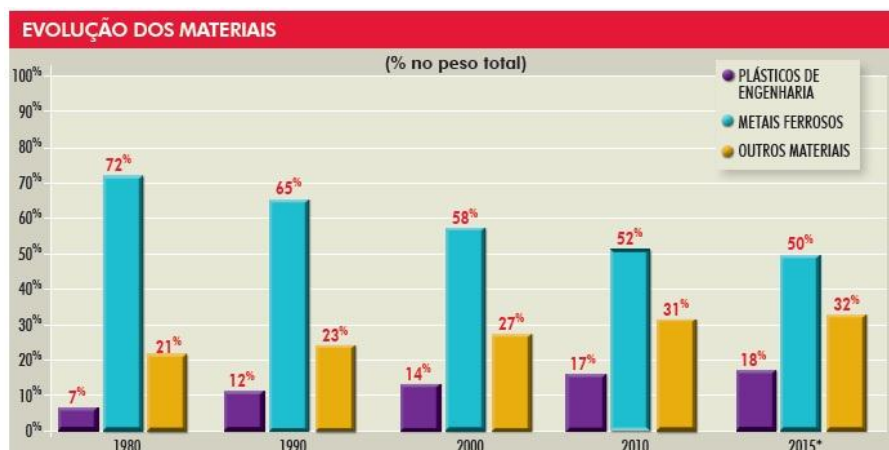


Gráfico 3- A importância da leveza no automóvel ao longo dos anos. Fonte: REVISTA AUTOMOTIVE BUSINESS, 2010.

As fibras naturais de linho e sisal mostram que podem ser usadas como componentes de compósitos com desempenho adequado, a fim de reduzir o peso e o custo, sendo suas tendências desenvolvidas na Europa nos anos 90 e alguns anos mais tarde na América. Por esses e outros motivos, as fibras naturais começaram a substituir as fibras de vidro e os enchimentos minerais. Estas podem ser incorporadas a matrizes poliméricas a fim de reforçar e alcançar as propriedades desejadas, como por exemplo, resistência ao impacto, alta rigidez, bom amortecido e baixa densidade. Preferencialmente, a fim de reduzir os custos de produção, as indústrias de cada país, utilizam plantas que são cultivadas localmente, por exemplo, a indústria automobilística europeia, utiliza principalmente o linho e o cânhamo, enquanto a indústria automobilística brasileira usa a nível local, o sisal crescido (HUDA et. al., 2008).

Dentre tais estudos na área, uma matéria prima que ganhou grande notoriedade foi a fibra de sisal, cujo papel passou de simples material artesanal, para um componente na fabricação de veículos.

No relatório ambiental (Relatório Ambiental Ford Brasil 2011), a Ford citou a utilização da fibra nos painéis dos caminhões cargo. Entre as fibras vegetais, o sisal mostrou ser o mais promissor, pelo fato apresentar-se por fibras longas e curtas e por se adequar ao processo de moldagem e ao processo de injeção de peças, se contar que não possui cheiro e é uma matéria prima abundante, sendo que 80% de todo o sisal no mundo produzido, está localizado na Bahia, local onde a Ford tem um centro de desenvolvimento do produto. A figura 5 a seguir, mostra os painéis dos caminhões cargo da Ford.



Figura 5 - Painéis de caminhão Cargo. Fonte: RELATÓRIO AMBIENTAL FORD BRASIL, 2011.

Além disso, a empresa também criou o Ford Ka Beauty, o primeiro carro no Brasil a receber peças plásticas produzidas com material reciclado e fibra de sisal de uma montadora, no console central, no acabamento interno do teto, na capa do volante, na tampa do porta malas e nos puxadores de porta. No Ecoproject, as peças plásticas são confeccionadas com 50% de polipropileno (PP) reciclado, 30% de fibra de sisal e 20% de polipropileno virgem (FORD BRASIL, 2008 apud BRAGA, 2010). A figura 6 abaixo, mostra o Ford Ka Beauty.



Figura 6 - Ford Ka Beauty. Fonte: FORD BRASIL, 2008 apud BRAGA, 2010

Outro modelo lançado pela Ford que utiliza fibras de sisal na composição de peças do seu interior é o Ka The Beast (REVISTA MECÂNICA ONLINE, 2008). O Ford Ka The beast, está representado pela figura 7 abaixo:



Figura 7: Ford Ka The Beast. Fonte: CARPRESS, 2008.

Segundo Silva (2010), o sisal é um recurso natural estratégico para a região Nordeste, por ser renovável e por ter se adaptado às condições do semi-árido, além de ser o único produto agrícola rentável passível de plantio, devido às condições climáticas e do solo da região. Tais características contribuem tanto para o desenvolvimento científico e tecnológico da região, como também para a geração de renda para a população.

Ainda tratando de economia, Segundo a revista Motorshow (2009), (apud Braga, 2010), se 20% do acabamento dos carros utilizassem a fibra natural, 45% da produção brasileira seria oriunda da indústria automobilística, fazendo com que a oferta de sisal no país aumentasse, e a demanda da Ford seria de aproximadamente 60 kg de fibra por carro, precisando de 300 mil hectares cultivados da planta, o que consequentemente faria com que a renda do país aumentasse, principalmente a das regiões que produziram a fibra.

Além dos exemplos citados acima, nos quais estão algumas aplicações das fibras de sisal, existem vários outros, como por exemplo: Daimler-Benz na Alemanha tem vindo a utilizar os componentes fabricados a partir de diferentes compostos de fibra natural desde

1994. O sisal, linho, cânhamo, lã e outras fibras naturais são usados para fazer 50 componentes do Mercedes-Benz E-Class. Daimler Benz na Alemanha também está trabalhando com uma variedade de fibras naturais como sisal, juta, coco, cânhamo Europeu, e de linho sendo usadas como fibras de reforço em componentes de polipropileno com alta qualidade, de forma a substituir as fibras

de vidro, assim como tem desenvolvido painéis, consoles, apoios de braço, e conchas de assento. O Grupo BMW incorpora uma quantidade considerável de materiais renováveis em seus veículos, dos quais foram incorporadas 10 000 toneladas de fibras naturais, em 2004. Cada carro BMW 7-series possui 24 kg de matérias-primas renováveis, onde estão inclusos além de outras matérias primas, sisal e linho nos forros dos interiores das portas e painéis (WOODHEAD, 2008). A figura 8 abaixo, mostra o Mercedes Benz E-Class e suas peças compostas por diversas fibras, incluindo fibras de sisal.



Figura 8- Fibras naturais, incluindo o sisal, na composição de peças do Mercedes Benz E-Class. Fonte: HOLBERY, 2006.

Ainda para exemplificar as aplicações dos compostos de sisal na indústria automobilística, a figura 9 a seguir mostra algumas peças injetadas como painel de porta, instrumentos e console central feitas de Polipropileno e Fibra de Sisal, fabricadas pela Ford.



Figura 9 - Painéis de Porta, instrumentos e console central, injetados em PP/FS. Fonte: FORD MOTOR COMPANY, 2009, apud SILVA, 2010

3.3.2. Composição, propriedades e processos de fabricação dos componentes dos veículos a partir do polipropileno e Fibras de sisal.

A busca por matérias primas biodegradáveis é um importante argumento para a redução ou substituição das matérias primas oriundas do petróleo por fibras vegetais. Para Silva (2010), quanto menor é o uso de materiais no acabamento interno de veículos, menor também será o impacto ambiental causados por estes. Na fabricação de peças plásticas para acabamento interno de veículos, atualmente, são utilizados compósitos de polipropileno (PP)+ fibra de vidro, e polipropileno + (CaCO_2). O polipropileno é obtido através da polimerização do gás propileno, originado de refinarias de petróleo. Por ser obtido de processos químicos transformadores de gases, pode causar grandes impactos devido a grande emissão de gases para a atmosfera.

Segundo Huda et al, (2008), as funções principais da resina, é de transferir a carga entre o reforço e as fibras, agindo como uma cola para fixar as fibras no conjunto, protegendo-as de danos mecânicos e de danos causados pelo ambiente. As resinas são divididas em termofixas e termoplásticas. No caso das resinas termoplásticas, ao serem aquecidas amolecem, podendo por este motivo serem moldadas em um estado de semi-fluido aquecido, tornando-se rígidas depois de resfriadas.

Nas aplicações da indústria automotiva, no sistema mais comum, hoje é utilizado o polipropileno termoplástico, principalmente para os equipamentos não estruturais, devido sua baixa densidade, excelente processabilidade, excelentes propriedades elétricas, mecânicas, e boa estabilidade ao impacto (GEORGE, SREEKALA, THOMAS, 2001, apud HOLBERY, 2006).

O polipropileno (PP) é um termoplástico opaco e branco, atóxico, com cristalinidade em torno de 60 a 70%. Essa resina possui um equilíbrio entre resistência ao impacto e rigidez, resistências à distorção em altas temperaturas e suas propriedades mecânicas dependem amplamente do peso molecular, estereoregularidade da cadeia das condições de processo, além de possuir grande resistência aos ataques químicos por ácidos, sais e álcalis, até mesmo em temperaturas elevadas. O polipropileno não é solúvel em hidrocarbonetos simples e clorados à temperatura ambiente, embora seja muito solúvel a temperaturas superiores a 80°C, sendo também um sólido combustível que gera gases asfixiantes na queima (MANUAL DE POLIPROPILENO, 2007, apud BISPO 2011).

O desenvolvimento de compósitos termoplásticos de fibras naturais apresenta limitações físicas como a temperatura superior em que a fibra pode ser processada, e a diferença significativa entre a superfície da madeira e matriz de polímero. Geralmente, um limite superior antes da degradação da fibra, ocorre na ordem de 150°C por longas durações de processamento, embora as fibras possam suportar exposições de curta duração a 220°C. A prolongada exposição à alta temperatura pode causar descoloração, liberação volátil, adesão interfacial pobre e fragilização dos componentes de celulose. O desenvolvimento de processos com baixa temperatura de tratamento superficial, com uma alta capacidade de serviço, é uma tecnologia que possibilita a aplicação de fibras naturais nos materiais compósitos (HOLBERY, 2006).

O termoplástico polipropileno e as fibras celulósicas, geralmente são fabricados pelo processo de extrusão na forma de folhas para serem usadas nos componentes do interior de automóveis, em painéis de portas, forros, e bandejas de alto falantes etc. (BALATINECZ & WOODHAMS, 1993, apud LEÃO, ROWELL, TAVARES, 1998).

O processo de extrusão neste caso consiste na moldagem do polipropileno no seu estado fundido, onde sua dimensão, configuração, e acabamento são definidos pelas características da matriz ou molde utilizado, no qual o material polimérico é fundido pela ação de calor e pressão e, por meio de parafuso, passa pela matriz que contém o perfil desejado (ANDRADE et al., 2001 apud BISPO, 2011).

No processo de fabricação dos termoplásticos reforçados com fibras, basicamente é formada uma mistura, onde primeiramente adiciona-se o polímero que ao fundir, recebe as fibras, passando posteriormente por um processo de homogeneização através de uma extrusora ou pode ser diretamente moldada por injeção (PIGATTO, 2009).

No processo de extrusão, segundo Bispo (2011), o material passa por diferentes componentes da extrusora, apresentados a seguir:

- Funil: Este componente direciona os grãos e/ ou pó para a entrada da extrusora.;
- Redutor: Diminui o efeito da velocidade do motor;
- Resistências elétricas: servem para aquecer o corpo do cilindro;
- Termopar: Utilizado na medição de temperatura do sistema;
- Matriz: responsável por dar forma na resina fundida (chapas, turbos, perfis).
- Cilindro: responsável pela troca térmica entre a resina e as resistências elétricas.
- Motor elétrico: este aciona o parafuso plastificador;
- Parafuso plastificador: Realiza a mistura e o deslocamento da resina para a saída da extrusora.

A figura 10 abaixo, mostra o esquema de uma máquina extrusora.

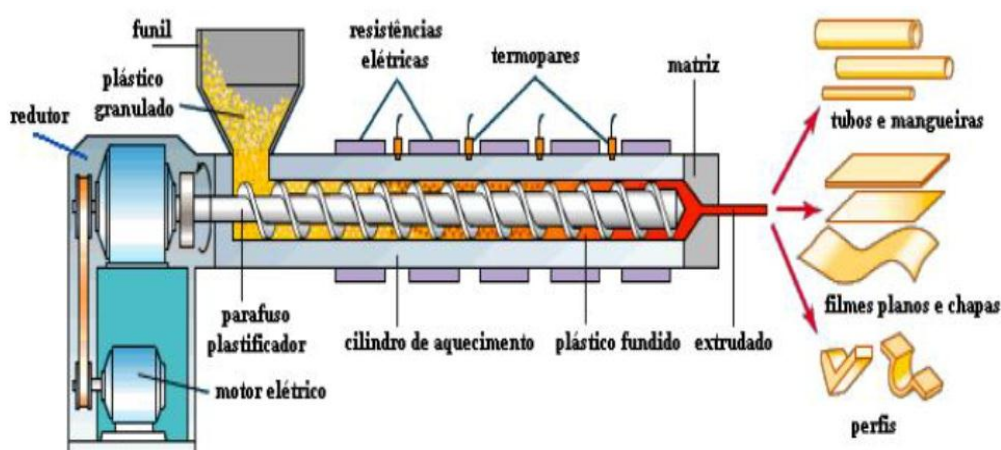


Figura 10 - Extrusora. Fonte: MIOTTO, apud FEITOSA, 2008, apud BISPO, 2011.

Já no processo de injeção, segundo Callister Jr (2012), o material peletizado, passa pela moega de carregamento para o interior de um cilindro através do movimento do pistão. Logo após, a carga é empurrada para o interior de uma câmara de aquecimento, onde é forçada ao redor de um espalhador, para poder ter um melhor contato com a parede aquecida. Devido à alta temperatura, o material termoplástico é fundido, de modo a formar um líquido

viscoso, para que novamente seja impelido pelo movimento do pistão através de um bico injetor, para o interior da cavidade do molde, sendo a pressão mantida até o líquido se solidificar, para que finalmente o molde seja aberto e a peça seja ejetada. A figura 11 abaixo, mostra o esquema de uma máquina injetora.

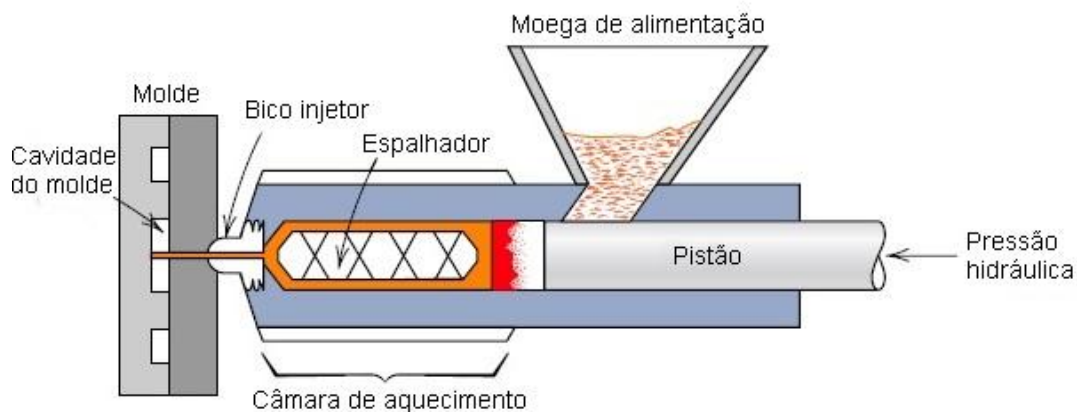


Figura 11 - Máquina de Injeção. Fonte: CALLISTER JR, 2012.

Segundo Favaro et. al., (2006) apud Silva (2010), para utilizar a fibra de sisal como reforço de matrizes poliméricas, é necessário que depois de serem colhidas, estas sejam secadas e passem por processos químicos de lavagem e secagem. É importante ressaltar que estas devem ser cortadas em fibras ainda menores, as quais serão as adequadas para a adição do polipropileno reciclado, e posteriormente, passarem pelo processo de fabricação específico.

3.4. TESTES REALIZADOS COM A FIBRA DE SISAL

3.4.1. Testes de propriedades Físicas e Químicas realizadas com fibra de sisal

Num estudo sobre a adição de fibras de sisal em matrizes de polipropileno virgem e reciclado, realizado por Rosário et. al., (2011), a fim de realizar ensaios de tração, impacto entre outros para comparar o desempenho das matrizes. As fibras de sisal foram lavadas, secadas em estufa e picotadas. Nas misturas Fibra – matriz, 70% da mistura era constituída por matriz de PP e 30% por fibra de sisal. Os compósitos, com fibras curtas de sisal

aleatoriamente distribuídas, passaram por alguns ensaios, entre eles o mecânico de resistência à tração, análise por termogravimetria (TG) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Na microscopia eletrônica de varredura (MEV) da Figura 12 a, mostra a matriz polimérica PP Virgem, enquanto nas Figuras 12b e 12c são mostrados os compósitos de PP virgem/sisal e PP reciclado/sisal nessa ordem. As Figuras 12b e 12c a seguir, mostram os compósitos com polímero virgem e reciclado respectivamente, evidenciando a interface entre estes, a boa dispersão da fibra e a pouca adesão fibra/matriz por causa da baixa compatibilidade entre a fibra celulósica, de natureza predominantemente polar, e o polímero de natureza apolar. A baixa adesão Fibra-matriz acaba diminuindo a resistência do material, já que neste caso a fibra é incapaz exercer de forma eficiente seu papel como reforço.

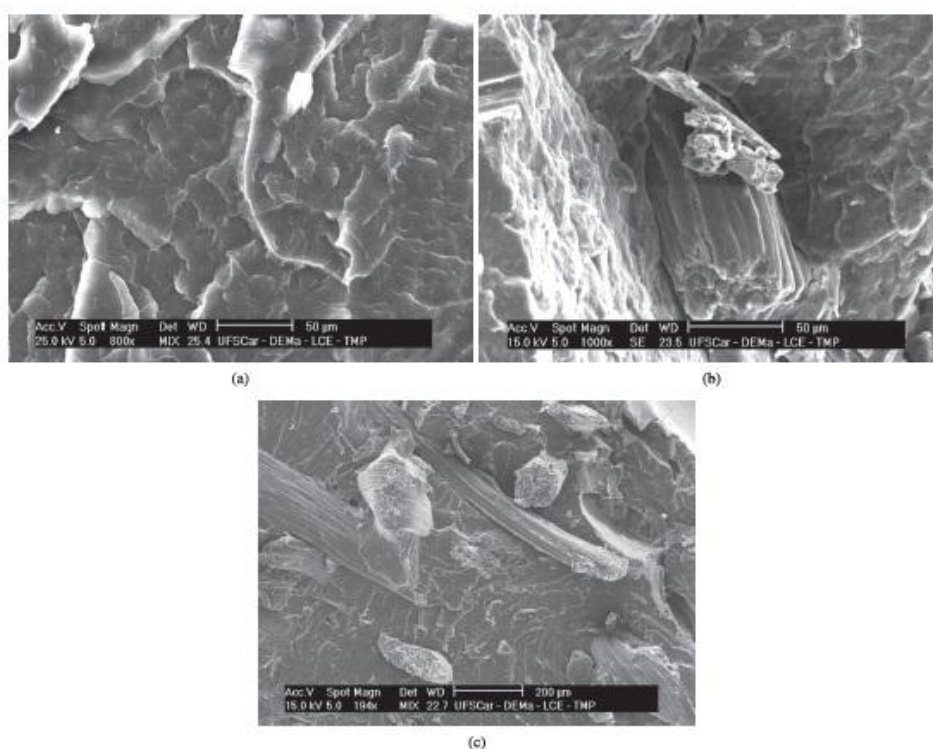


Figura 12- Micrografias de fibras de sisal. a) matriz feita com PP virgem; b) compósito PP virgem/ sisal; c) compósito PP reciclado/ sisal. Fonte: ROSÁRIO et al, 2011.

As análises termogravimétricas representadas pela figura 13 a seguir, foram realizadas com o intuito de observar a eficácia do tempo de secagem dos materiais puros, analisando as temperaturas de decomposição dos materiais puros e em compósitos, assim como perda de massa em função da temperatura, representadas pela figura 13. Na análise dos gráficos, observou-se que a fibra de sisal possui umidade de 7% sendo o início de sua decomposição perto de 240 °C (Figura 13 a). A matriz polimérica virgem tem a temperatura de

decomposição inicial um pouco acima da fibra de sisal, aproximadamente 255 °C (Figura 13 b). O polipropileno reciclado, mostrado na Figura 13 d, apresenta temperatura inicial de decomposição de aproximadamente 248°C, menor que a do PP virgem, devido à degradação sofrida nas várias fases de processamento em que o polímero reciclado foi submetido. Nos gráficos das Figuras 13c e 13e, os compósitos apresentam temperaturas iniciais de decomposição próximas à dos materiais virgens com pouca relevância da fibra na resistência térmica a temperatura de degradação.

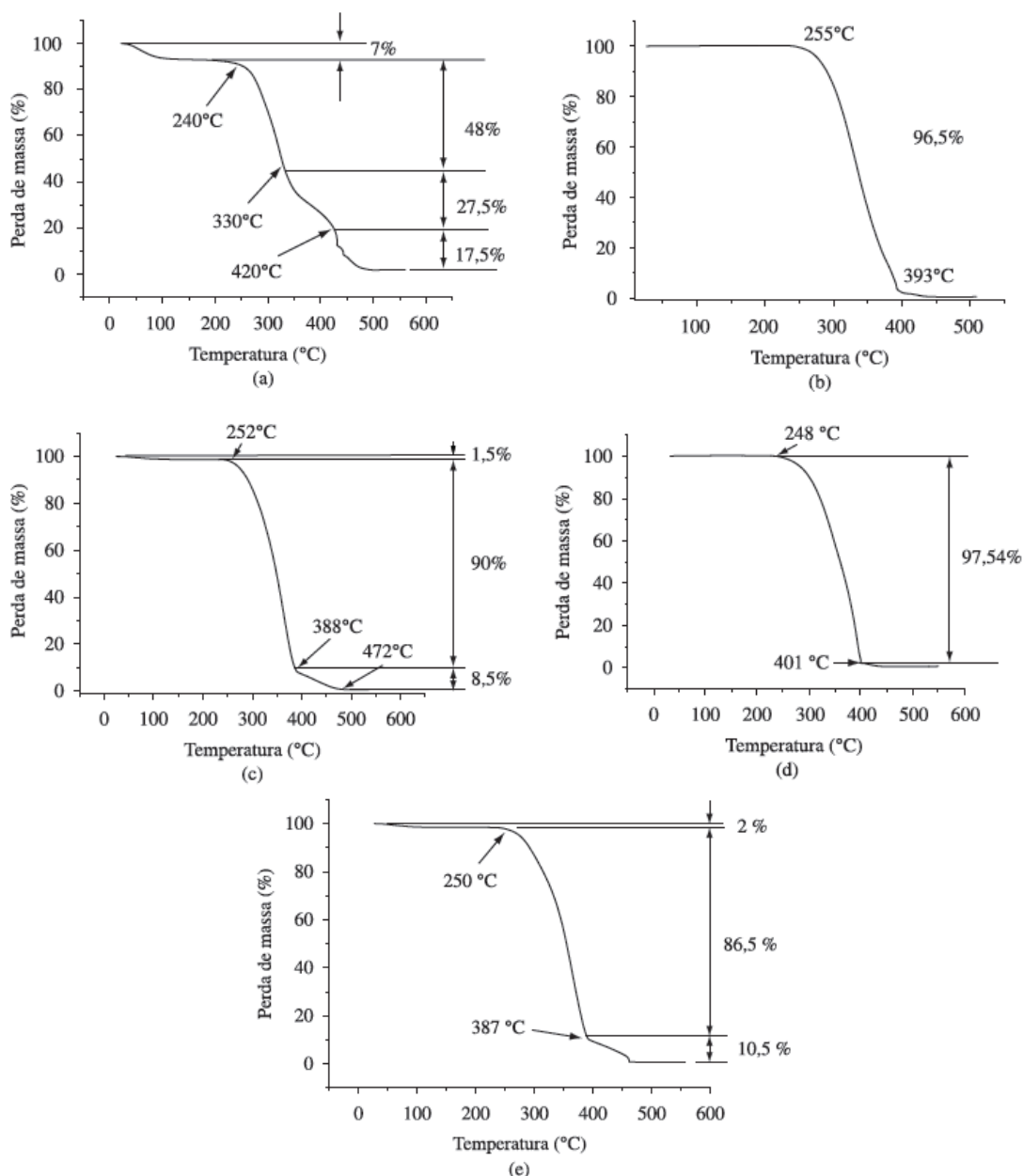


Figura 13- Gráficos de análises termogravimétricas. a) Fibra de sisal; b) PP virgem sem fibra de sisal; c) PP virgem contendo 30% de fibra de sisal; d) PP reciclado sem fibra de sisal; e) Reciclado contendo fibra de sisal. Fonte: ROSÁRIO et. al., 2011.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4 abaixo, nota-se que os sistemas de matriz de PP virgem contendo fibra apresentaram menor resistência à tração do que a matriz de polímero puro virgem, que pode ser explicado pelo fato da incompatibilidade entre o sisal e a matriz polimérica (baixa adesão sisal/matriz). No caso dos sistemas PP reciclado e PP reciclado/sisal, o comportamento foi contrário. Isso pode ser justificado pela maior compatibilidade fibra de sisal com a matriz polimérica (PP) reciclada, devido a distribuição de peso molecular (DPM) mais larga, com número maior de moléculas de baixa massa molar, o que contribui para o aumento da adesão matriz/fibra. Na análise das propriedades mecânicas dos sistemas com polímeros puros, nota-se que o material virgem apresentou módulo de Young um pouco superior. A resistência à tração na ruptura do polímero virgem também foi maior do que a do polímero puro reciclado. Quanto ao alongamento na ruptura, para o polímero reciclado foi maior, provavelmente pela sua distribuição de peso molecular (ROSÁRIO et. al., 2011). A tabela 4 abaixo apresenta os resultados dos ensaios mecânicos realizados nos corpos de prova.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios mecânicos realizados nos corpos de prova

Material	Módulo de Young (GPa)	Tensão da ruptura (MPa)	Deformação (%)	Impacto Izod com entalhe (J/m)
PP virgem	1,78 ± 0,09	37,36 ± 1,87	33,69 ± 1,69	25,05 ± 1,6
PP virgem + sisal	3,03 ± 0,15	34,36 ± 1,65	2,81 ± 0,17	59,48 ± 2,1
PP reciclado	1,30 ± 0,08	22,78 ± 1,14	59,36 ± 3,56	26,25 ± 4,5
PP reciclado + sisal	2,87 ± 0,14	33,87 ± 1,69	3,51 ± 0,21	62,29 ± 2,1

Fonte: Adaptado de ROSÁRIO et. al., 2011

Os resultados do ensaio de impacto Izod, com entalhe na matriz, para os diversos sistemas em estudo são mostrados na Tabela 4 e no gráfico 4 abaixo. A energia de impacto com entalhe aumentou o dobro no sistema com fibra de sisal. Isso se deve pela orientação longitudinal da fibra na injeção do corpo-de-prova ser perpendicular à propagação da trinca, induzida pelo entalhe, tornando-se mais difícil de romper o sistema PP/fibra.

Analisando a energia de impacto, não houve tanta diferença entre as matrizes reforçadas com sisal, sejam elas de polipropileno virgem ou reciclado. O gráfico 4 abaixo mostra os resultados comparativos dos testes mecânicos realizados nos corpos de prova.

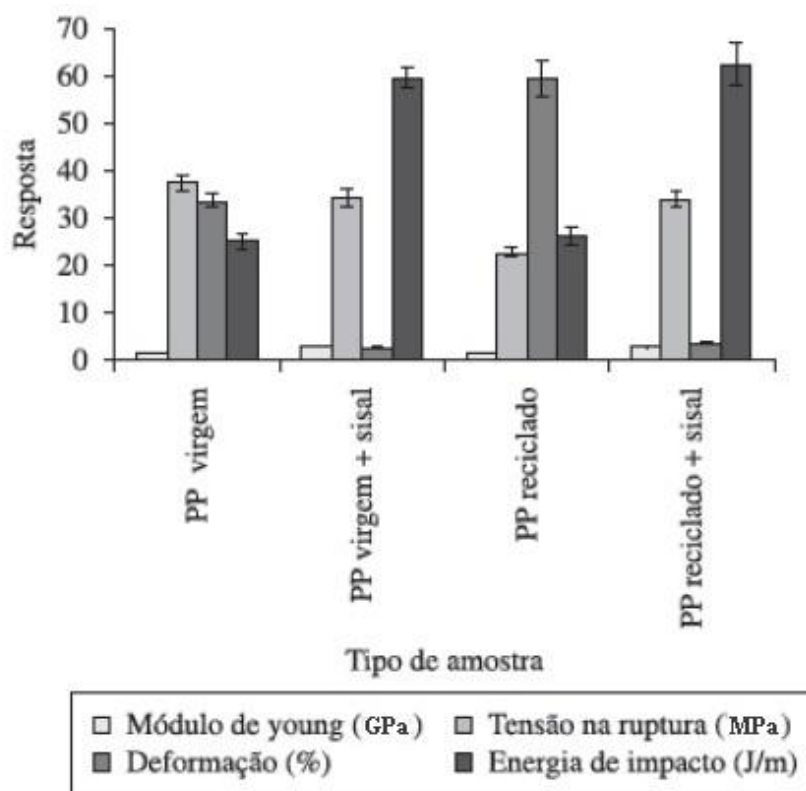


Gráfico 4 – Resultados comparativos do ensaio mecânico realizado com os corpos de prova.

Fonte: Adaptado de ROSÁRIO et. al., 2011.

Num estudo sobre Polipropileno e blendas PP/ EPDM reforçadas com fibras curtas de sisal, realizado por Pigatto (2009), para minimizar a deficiência do polipropileno (PP), nas limitações para sua aplicação em baixas temperaturas quanto à resistência ao impacto, é adicionado junto a este o terpolímero de etileno- propileno - dieno (EPDM). No estudo, foram separadas amostras com concentrações diferentes de fibra de sisal, para descobrir quais obteriam os melhores resultados quanto às propriedades mecânicas.

No estudo analisou-se apenas as matrizes Polipropileno/sisal, e verificou-se que os corpos de prova com PP sem reforço e sem tratamento, tinham seu módulo de elasticidade significativamente aumentado com o aumento no teor de fibras que pode-se notar nos gráficos 5 e 6 a seguir:

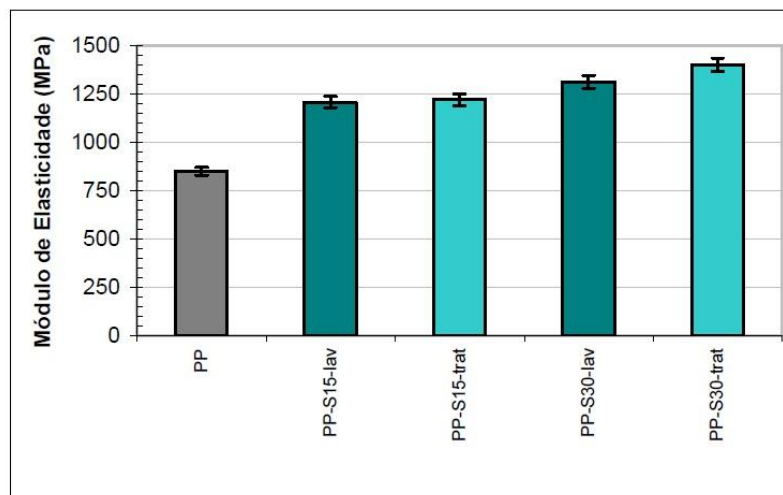


Gráfico 5- Módulo de Elasticidade do PP reforçado com sisal, em tração. Fonte: PIGATTO, 2009

No gráfico 6 abaixo, o reforço nos corpos de PP, não contribuiu de forma significativa, contendo valores próximos, ao do PP sem reforço. O mesmo também ocorreu em relação ao de fibras tratadas.

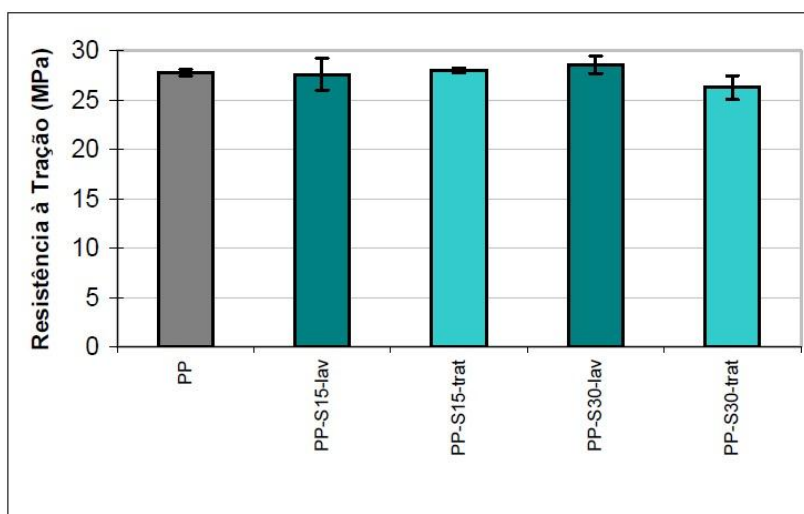


Gráfico 6- Resistência à tração do PP reforçado com sisal. Fonte: Fonte: PIGATTO, 2009

Mas já no caso do PP reforçado em flexão apresentado no gráfico 7 a seguir, o módulo aumenta significativamente com o teor de fibra, apesar do aumento em 30% no meio alcalino não ter tido tanta significância quando comparado com o apenas lavado. Já no caso do PP-S15-trat, houve um decréscimo inesperado, Pois esperava-se que fosse maior ou igual ao do PP reforçado com sisal apenas lavado.

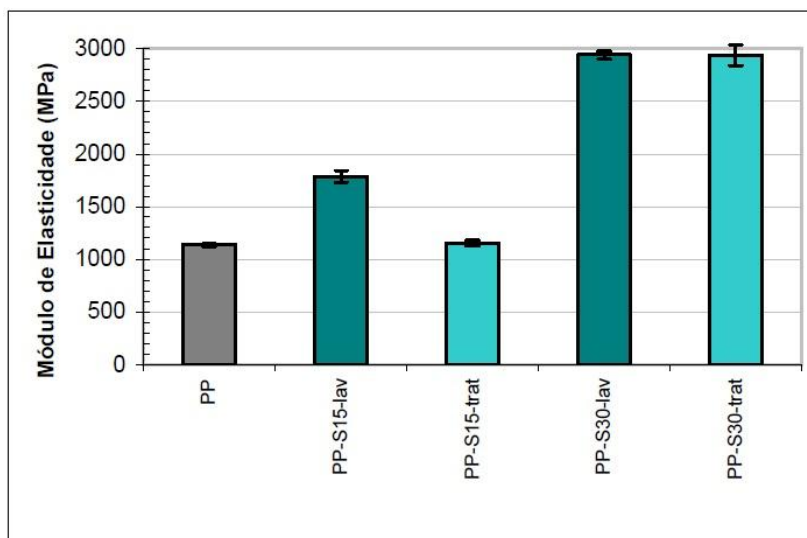


Gráfico 7 - Módulo de elasticidade do PP reforçado com sisal, em flexão. Fonte: PIGATTO, 2009

Na resistência a flexão, representada pelo gráfico 8 abaixo, a fibra mostrou-se um importante agente de reforço, pois aumentando o teor de fibra, também aumentou-se a resistência a flexão. Nesse exemplo ocorreu um comportamento atípico para o PP- S15- trat, cujo valor da resistência foi similar ao PP sem tratamento e sem fibras.

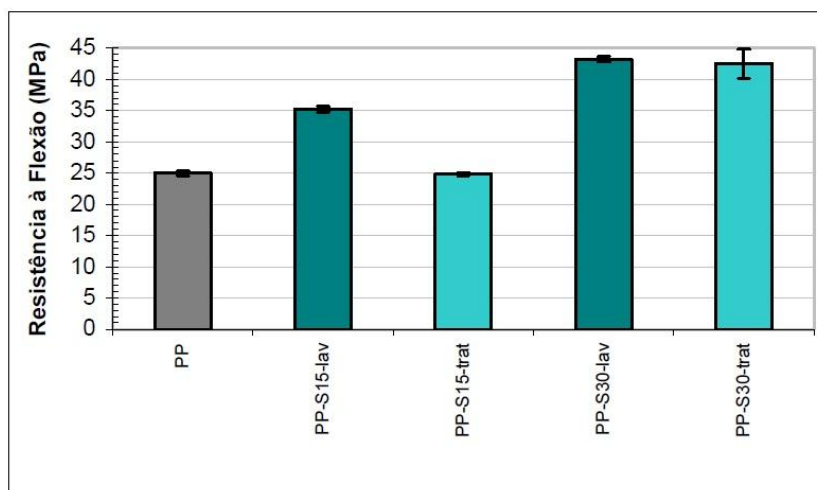


Gráfico 8 - Resistência a Flexão do PP reforçado com sisal. Fonte: PIGATTO, 2009

Quanto a resistência ao impacto, representada pelo gráfico 9 a seguir, observou-se que a absorção de energia relaciona-se à presença de fibra. Como esperado, nas amostras com tratamento alcalino, houve maior adesão fibra - matriz.

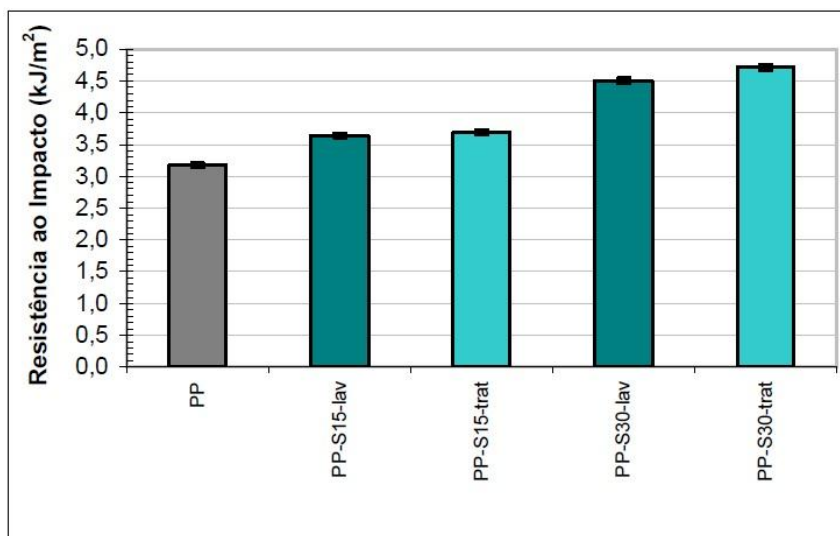


Gráfico 9- Resistência ao impacto do PP reforçado com sisal. Fonte: PIGATTO, 2009

Ainda tratando-se da influência do tratamento químico nas propriedades físicas da fibra, Siqueira (2006), realizou um estudo em que foi utilizado NaOH 2% para o tratamento do sisal. Nas figuras 16 e 17 a seguir, encontram-se respectivamente microscopias eletrônicas de varredura feitas com o sisal sem tratamento e com tratamento.

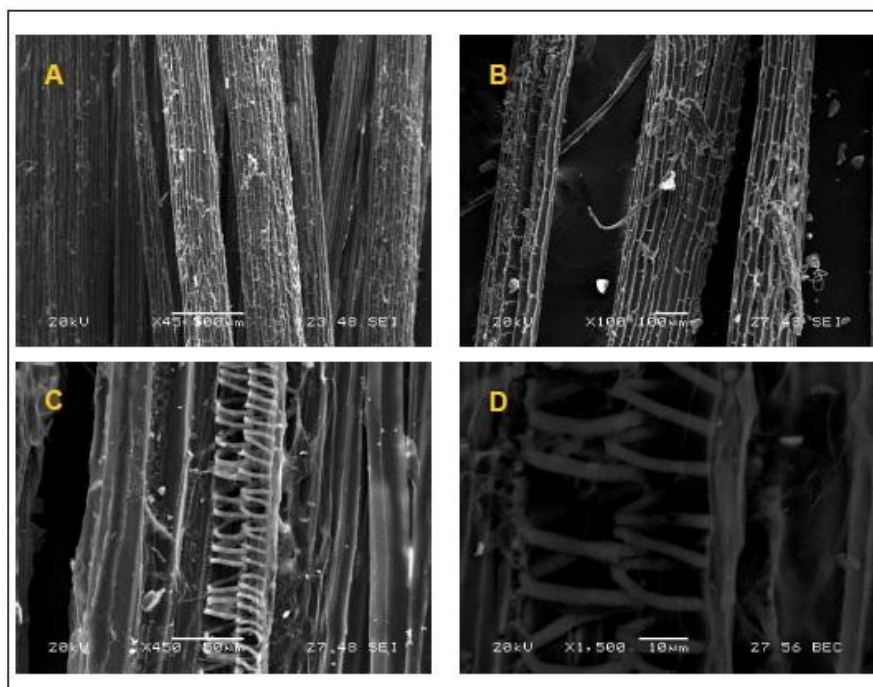


Figura 14- Micrografia de fibras de sisal sem tratamento.

Ampliações: 45x; 100x; 450x e 1500x, respectivamente. Fonte: SIQUEIRA, 2006.

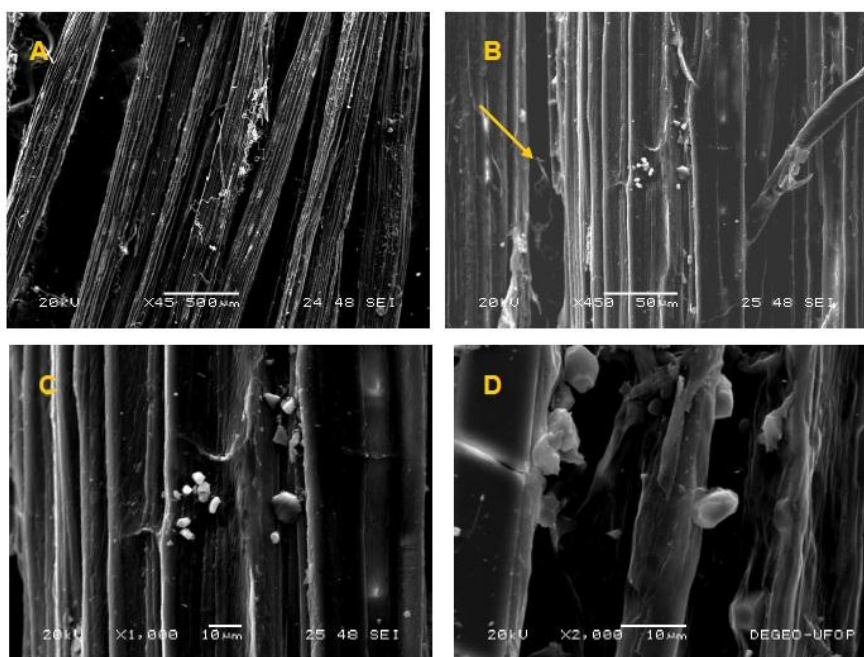


Figura 15- Micrografia de fibras de sisal tratadas com NaOH 2%.

Ampliações: 45x; 450x; 1000x e 2000x, respectivamente. Fonte: SIQUEIRA, 2006.

Ao comparar-se a figura 17 que apresenta a sisal tratada com a figura 16 que mostra a sisal sem tratamento, percebemos uma remoção de células de parênquima, assim como uma desagregação dos feixes de fibras, fazendo com que estas reduzam o diâmetro aumentando a área superficial efetiva disponível para entrar em contato com a matriz, além das superfícies das fibras parecerem menos rugosas e mais limpas (JOSEPH et. al., 1996; SYDENSTRICKER et. al., 2003; apud SIQUEIRA, 2006).

Um critério decisivo para a escolha do tipo adequado de fibra é o seu módulo de elasticidade (E). Em uma comparação entre valores de resistência de várias fibras convencionais e tropicais com os valores correspondentes às fibras de vidro mostrou-se que valores absolutos das fibras tropicais eram de apenas metade do nível correspondente aos valores da fibra de vidro. No entanto, as fibras naturais apresentam níveis de resistência específica comparáveis aos da fibra de vidro, pelo fato de apresentarem densidade aproximadamente 45% menor que esta (KLEBA, 2004 apud SANTOS, 2006). Os dados das propriedades mecânicas de algumas fibras vegetais e convencionais utilizadas como reforço estão apresentados na tabela 5 a seguir:

Tabela 5- Propriedades mecânicas de fibras vegetais e convencionais que são usadas como reforço

Fibra	Densidade (g/cm³)	Alongamento (%)	Resistência a Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Coco	1,2	30,0	175	4,0 - 6,0
Algodão	1,5 - 1,6	7,0 - 8,0	287 - 597	5,5 - 12,6
Juta	1,3	1,5 - 1,8	393 - 773	26,5
Linho	1,5	2,7 - 3,2	345 - 1035	27,6
Cânhamo	***	1,6	690	***
Rami	***	3,6 - 3,8	400 - 938	61,4 - 128
Sisal	1,5	2,0 - 2,5	511 - 635	9,4 - 22,0
Kraft ^a	1,5	***	1000	40,0
E-vidro ^b	2,5	2,5	2000 - 3500	70,0
Carbono (Padrão)	1,4	3,3 - 3,7	3000 - 3150	63,0 - 67,0

Fonte: Adaptado de BLEDZKI & GASSAN, 1999 apud SANTOS, 2006.

Pelos dados da tabela 5, o sisal apresenta bons resultados mecânicos em comparação com as outras fibras, podendo ser utilizado de acordo com as necessidades mecânicas da peça a ser produzida. Como já citado nesse trabalho, é importante que cada região utilize as matérias primas locais se estas satisfazem as necessidades da indústria, para que possa haver maior custo benefício na fabricação de peças automobilísticas.

3.4.2 Desempenho do veículo

Ao utilizarmos compósitos de PP/FS, nas peças plásticas de acabamento interno do veículo, podemos reduzir até 9 kg por veículo, que gera em cerca 900 ton por 100000 veículos que são produzidos (ENTREVISTA PESSOAL apud Silva, 2010). Logo, considerando-se a produção anual por volta de 2710000m de veículos no Brasil, pode-se obter 24390 ton de peso reduzido. Comparando-se o consumo de combustível entre veículos com peças de

PP+FV ou PP+ CaCO₂, comumente usados, e veículos com PP+FS, obtemos os seguintes dados representados na tabela 6 abaixo.

Tabela 6- Comparação entre o consumo de combustível de veículos que contém peças em PP+FV ou PP+CaCO₂ e outros com peças em PP+FS.

Consumo de Combustível em direção constante		Veículo 1565kg (peso normal)	Veículo 1556kg (peso reduzido)
90 km/h	litros / 100km	4,6 litros	4,5 litros (aprox.)

Fonte: Adaptado de Silva, 2010.

Ou seja, se considerarmos que todos os veículos possuem mesmo peso, e todos fossem compostos de PP+ FS, se multiplicássemos a quantidade de gasolina economizada por veículo pelo número de carros produzidos por ano, seriam economizados anualmente 271000 litros de combustível (SILVA, 2010).

4. Considerações Finais

Devido sua boa resistência mecânica, a fibra de sisal pode ser utilizada como reforço de matrizes de polipropileno em acabamento de veículos, já que o polipropileno possui alta resistência mecânica e baixa densidade em comparação com metais, reduzindo então o peso dos veículos. Por meio de processos químicos de melhoramento da fibra para uma melhor aderência ao polímero, e processos de fabricação como extrusão e injeção, pode-se obter peças moldadas para diversos fins, no caso do trabalho apresentado, para peças utilizadas em acabamento de veículos.

Como já foi falado no trabalho, compostos poliméricos, em especial o polipropileno, tornam-se mais resistentes quando reforçados com a fibra, que suporta grandes tensões e é resistente a altas temperaturas, mostrando também um bom desempenho quando submetida a impacto. Se a fibra tiver recebido tratamento alcalino, sua potencialidade aumenta visivelmente, já que melhora ainda mais a adesão fibra/matriz, por diminuir sua natureza hidrofílica.

Portanto, tendo em vista tudo já mencionado no trabalho, é importante que a sociedade possa extrair o máximo de benefícios oriundos do sisal incentivando a produção da fibra, que

é um recurso natural de grande utilidade e principalmente abundante em solo brasileiro. É importante enfatizar também, a necessidade da realização de novas pesquisas na área de fibras vegetais para complementar a revisão bibliográfica deste trabalho utilizando tal, como fonte de pesquisa para a realização de futuros projetos de pesquisa sobre melhoramentos químicos de fibras naturais do Semi-árido brasileiro, levantando dados sobre vegetação típica, produção de fibras e propriedades físicas e mecânicas destas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, Ana Teresa; **Desenvolvimento Sustentável Em Engenharia Mecânica Um Caso de Estudo: Projeto Autarkeia**. 2013. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2013.

Agricultores baianos recebem maquinas desfibradoras de sisal em Valente. Disponível em: <http://www.acordacidade.com.br/noticias/66759/agricultores-baianos-recebem-minas-desfibradoras-de-sisal-em-valente.html>.

Acesso em: 30 de dezembro de 2014

ASKELAND, Donald R. *Ciencia e Ingeniería de Los Materiales*. 3. ed. Mexico: International Thomson Editores, 1998

BRAGA, Roney Amarante; **Análise da Utilização de Fibras Naturais Aglutinadas com Resina Epóxi, Para Fabricação de Uma Cobertura Central do Porta – Malas de Um Automóvel de Passageiros**. 2010. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais. 2010.

BELAADI, A. et al. Tensile static and fatigue behavior of sisal fibres. *Materials and Design*, 2012 vol. 46; p. 76–83.

BISPO, Sistanley Jones Lima; **Estudo das Propriedades Mecânicas de Biocompósitos de Polipropileno Reforçados com Fibras Naturais**. 2011. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte. 2011.

CALLISTER, William D. Jr. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CALLISTER, William D. Jr. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

CALLISTER, William D. Jr. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*.

8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHANDRAMOHAN , D; MARIMUTHO,K ; A Review On Natural Fibers, Tamilnadu, Índia, v.8, p. 194 – 206, agosto. 2011

Conheça os modelos apresentados pela Ford. Disponível em:

<http://www.mecanicaonline.com.br/especiais/2008/10/salao%2Bdo%2Bautomovel%2Bbrasil/16%2Bford.htm>.

Acesso em: 30 de dezembro de 2014.

DE OLIVEIRA, Felipe Lima; **Adição da Fibras Vegetais na Composição dos Polímeros com ênfase no Polipropileno Adicionado à Fibra de Sisal**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Tecnologia em Produção) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo. 2009.

DE OLIVEIRA, Maria Clara Brandt Ribeiro; **Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas Para a Reciclagem no Brasil**. 2012. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

FELIPE, Renata Carla T. S. **Apostila de Materiais Compostos**. 2008. Curso Superior em Tecnologia da Fabricação Mecânica. Departamento acadêmico de Tecnologia Industrial - Centro Federal de Educação Tecnológica do RN, 2008.

Fibras Naturais Aplicações e Tendências no setor automotivo. Matéria da **Revista Composites & Plásticos de Engenharia**. Disponível em:

http://www.tecnologiademateriais.com.br/consultas_tm/pdf/pr72/20_21.pdf

Acesso em 28 de dezembro de 2014.

Ford lança EcoSport 2.0 Flex e mostra esportivos. Disponível em:

<http://carpress.uol.com.br/noticias/item25566.shl>.

Acesso em: 30 de dezembro de 2014.

HINZ, R; VALENTINA, L; FRANCO, A; **Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida.** *Estudos tecnológicos*, Santa Catarina vol. 2, nº 2:91-98 (jul/dez. 2006).

HUDA, M S. et al; Natural-fiber composites in the automotive sector; Properties and Performance of Natural – Fibre composites, Woodhead Publishing, Cap.7; p. 221- 261; 2008.

JOSEPH et al; **A Review On Sisal Fiber Reinforced Polymer Composites.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande v.3, n.3, p.367-379, 1999

JUNIOR, Heitor Luiz Ornaghi; **Caracterização Mecânica e Dinâmico – Mecânica de Compósitos Híbridos Vidro/sisal Moldados Por RTM.** 2009. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KUTNEY, Pedro; Em Busca da Sustentável Leveza do Carro. **Revista Automotive Business.** Disponível em:

http://www.saebrasil.org.br/eventos/premio_jornalismo/2012/formulario/upload/AB9MATERIAIS.pdf

Acesso em 23 de dezembro de 2014.

LEÃO, A; ROWELL, R; TAVARES, N; Applications Of Natural Fibers In Automotive Industry In Brazil - Thermoforming Process. *Science and Technology of Polymers and Advanced Materials*. Editado por P. N. Prasad *et al.*, Plenum Press, Nova York, p.755 – 761; 1998.

Nova máquina acaba com risco de mutilação dos produtores de sisal. Disponível em: <http://laerciojsilva.blogspot.com.br/2010/09/nova-maquina-acaba-com-risco-de.html>.

Acesso em 30 de dezembro de 2014.

PIGATTO, Caroline; **Polipropileno e Blendas PP/EPDM Reforçadas com Fibras Curtas de Sisal.** 2009. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

QUELHAS, Osvaldo; FRANÇA, Sérgio; TRAVINCAS, Rafael; O Ensino da Sustentabilidade na Formação do Engenheiro: Proposta de Diretrizes; **VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 12 e 13 de agosto de 2011.

Relatório Ambiental Ford Brasil 2011, **Ford**. Ano 5, janeiro de 2012.

ROSÁRIO, F et al.; Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado; *Polímeros*, São Paulo, vol. 21, nº 2, p. 90-97, 2011.

SALAZAR, Vera Lúcia Pimentel, LEÃO, Alcides Lopes; **Biodegradação das Fibras de Coco e de Sisal Aplicadas na Indústria Automotiva**. 2006. Parte da Tese do Primeiro Autor Intitulada: Estudo da Biodegradação das Fibras de Coco e de Sisal Visando às Aplicações na Indústria Automotiva. Botucatu. 2006

DOS SANTOS, Alexandre Maneira; **Estudo de Compósitos Híbridos Polipropileno/Fibras de Vidro e Coco para Aplicações em Engenharia**. 2006. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, Celso de Araújo Duarte; **Compósitos de Polipropileno Reforçados com Fibras de Sisal Para Uso na Indústria Automobilística**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SIQUEIRA, Gilberto Antônio de Freitas; **Produção e Caracterização de Compósitos Fenólicos com Fibras de Sisal Modificadas**. 2006. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) Rede Temática em Engenharia de Materiais UFOP – CETEC – UEMG, Ouro Preto, 2006.

VIEIRA, Cristiane Aurelia Borges; **Avaliação de Métodos de Fabricação de Mantas Híbridas de Fibras Curtas de Vidro e Sisal em Compósitos Poliméricos**. 2008. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2008.