

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

GILMARA BRANDÃO PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HIPS/FIBRA DA CASCA DO
COCO VERDE TRATADA E CONFECÇÃO DE MANUAL INTERATIVO
PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

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/FIBRA DA CASCA DO
COCO VERDE TRATADA E CONFEÇÃO DE MANUAL INTERATIVO
PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

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: Gilmara Brandão Pereira

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

VOLTA REDONDA

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

P436c Pereira, Gilmara Brandão.
Caracterização de compósitos HIPS/fibra da casca do coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística. / Gilmara Brandão Pereira - Volta Redonda: UniFOA, 2016.

70 p. : II

Orientador(a): Profº Drº Sérgio Roberto Montoro

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

1. Materiais - dissertação. 2. Compósitos HIPS. 3. Casca do coco verde - fibra. I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

GILMARA BRANDÃO PEREIRA

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HIPS/FIBRA DA CASCA DO
COCO VERDE TRATADO E CONFECCÇÃO DE MANUAL
INTERATIVO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

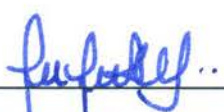
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro
UniFOA



Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato
UniFOA



Profª. Drª. Cristina de Carvalho Ares Elisei
FATEC - Pindamonhangaba

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charlie Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta conquista;

Agradeço ao meu esposo Luciano Alves Pereira pela companhia nos sábados de mestrado, obrigada pelo apoio e por sempre acreditar em mim;

Aos meus filhos Letícia Brandão Pereira e Pedro Brandão Pereira minhas inspirações para que eu procure sempre ser uma pessoa melhor;

Aos professores, colegas e colaboradores do MEMAT e em especial a companheira de batalha Glayce Cassaro Pereira, conseguimos!

E ao meu estimado orientador Prof. Dr. Sérgio Montoro pelo acolhimento, pela paciência e incentivo.

Obrigada a todos!

PEREIRA, G. B. **Caracterização de compósitos HIPS/fibra da casca do coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística.** 2016. 50f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

RESUMO

Existe uma tendência mundial em buscar recursos naturais alternativos em substituição às fibras sintéticas. Diante deste cenário, as fibras naturais vegetais, como por exemplo, a fibra da casca do coco verde, é uma excelente alternativa por possuírem boas propriedades mecânicas e térmicas. Essas fibras, além de seu baixo custo, são biodegradáveis e de fonte renovável. No presente trabalho foram caracterizados compósitos poliméricos de HIPS reforçados com fibras naturais provenientes da casca do coco verde. 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 coco 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 coco ao HIPS não acarretou alterações nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao HIPS puro. E com os resultados de resistência ao impacto foi possível constatar que a adição da fibra de coco ao HIPS acarretou uma diminuição na resistência ao impacto, quando comparados ao HIPS puro. Dessa forma, com a adição de fibras de coco verde 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. E a partir das análises para a determinação do índice de fluidez, foi observado que a inserção de 10% de fibras de coco não provocou uma redução considerável no IF do HIPS, garantindo sua viabilidade. E mesmo com a inserção de 30% de fibras de coco, a redução do IF do HIPS em aproximadamente 30% ainda pode ser considerada viável, dependendo do tipo de peça que será injetada.

Palavras-chave: poliestireno de alto impacto, fibras da casca do coco verde, massa específica, dureza Shore A, resistência ao impacto, índice de fluidez.

PEREIRA, GB. **Composite characterization HIPS/fiber treated green coconut bark and manual of making interactive application in automotive industry.** 2016. 50f. Dissertation (Professional Master of Materials) - Oswaldo Aranha Campus Three Wells Foundation, University Center of Volta Redonda, Volta Redonda.

ABSTRACT

There is a global trend to seek alternative natural resources in exchange for synthetic fibers. In this scenario, the natural vegetable fibers, such as fiber of the coconut husk is an excellent alternative to possess good mechanical and thermal properties. These fibers, as well as its low cost, are biodegradable and renewable. This study aims to characterize composites reinforced with peeling green coconut fibers in high impact polystyrene matrix (HIPS), aiming a possible replacement of the materials currently used for making parts used in automobiles. Polymer composites were characterized HIPS reinforced with natural fibers from the bark of the coconut. All composites were kindly provided by UNESP - Guaratinguetá. Three families of composites have been characterized in the proportions of 10, 20 and 30% (m / m). The composites were characterized by helium pycnometry techniques, Shore A hardness, impact resistance and melt index. From the helium pycnometry analysis, it was found that the addition of the HIPS coconut fiber 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 coconut fiber did not cause changes in hardness values of the composite compared to pure HIPS. And with the impact strength results it was found that the addition of the HIPS coconut fiber caused a decrease in impact resistance compared to pure HIPS. Thus, with the addition of coconut 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 impact. And from the analysis for determining the melt index it was observed that the inclusion of 10% of coconut fiber did not cause a considerable reduction in the IF HIPS, ensuring its viability. And even with the inclusion of 30% of coconut fiber, reducing the IF HIPS about 30% can still be considered feasible, depending on the type of piece to be injected.

Keywords: high impact polystyrene, bark fibers of coconut, density, Shore A hardness, impact resistance, melt index.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HIPS	(Poliestireno de alto impacto)
IF	Índice de Fluidez
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PB	Polibutadieno
PE	Polietileno
POEMA	Programa de Pobreza e Meio Ambiente
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PSAI	Poliestireno de alto impacto
PVS	Cloreto polivinílico
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista transversal da estrutura da fibra vegetal.	14
Figura 2 - Corte longitudinal do coco e suas partes.	16
Figura 3 - Tanque de maceração.	17
Figura 4 - Desfibrador de fibra de coco produzido pela Embrapa.	19
Figura 5 - Esquema de classificação dos compósitos.	20
Figura 6 - Compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas, e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.	22
Figura 7 - Transmissão carga matriz – fibra.	22
Figura 8 - Analisador de Densidade Real, marca Quantachrome Instruments, modelo UltraFoam 1200e.	34
Figura 9 - Durômetro portátil, marca CV Instrument Limited, modelo CV Shore Durometers – Analogue.	35
Figura 10 - (A) Máquina PANTEC para ensaio de impacto Izod, (B) detalhe na colocação do CDP de impacto e (C) detalhe do CPD rompido após o a realização do ensaio de impacto.	36
Figura 11 - Resultados de dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.	38
Figura 12 - Gráfico Tensão x Deformação para o HIPS e para os compósitos HIPS/fibra de coco verde.	40
Figura 13 - Resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de dureza	32
Tabela 2 - Resultados das massas específicas por meio da análise de picnometria de hélio.....	37
Tabela 3 - Resultados de dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.....	38
Tabela 4 - Resultados da resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.	39
Tabela 5 - Alongamento total do HIPS puro e dos compósitos com fibras de coco, obtido no trabalho realizado por BENINI (2011).....	40
Tabela 6 - Resultados dos valores de índice de fluidez.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo e Justificativa.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Fibras naturais	13
2.2	Fibras de casca de coco verde	15
2.2.1	Processos de extração das fibras	17
2.3	Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais.....	19
2.4	Matrizes de compósitos poliméricos	23
2.5	Poliestireno de alto impacto (HIPS)	24
2.6	A aplicação no setor automotivo	26
2.7	Determinação da massa específica dos compósitos via picnometria de hélio	28
2.8	Ensaio mecânico de resistência ao impacto.....	30
2.9	Dureza Shore A	31
2.10	Índice de Fluidez.....	33
3	Materiais e Métodos.....	34
3.1	Compósitos	34
3.2	Determinação da massa específica via Picnometria de Hélio	34
3.3	Determinação da dureza Shore A.....	35
3.4	Determinação da resistência ao impacto	35
3.5	Determinação do Índice de Fluidez.....	36
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	37
4.1	Resultados das massas específicas – Compósitos HIPS/fibra de coco..	37
4.2	Resultados da dureza Shore A – Compósitos HIPS/Fibra de coco	37
4.3	Resultados de resistência ao impacto – Compósitos HIPS/Fibra de coco	39
4.4	Resultados dos ensaios de índice de fluidez.....	41
5	CONCLUSÕES	43
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45
	APÊNDICE A.....	49

1 INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, a preocupação com a preservação do meio ambiente é uma questão global que tem feito com que grupos de pesquisas e indústrias invistam no desenvolvimento de novos materiais e métodos de produção que sejam considerados ecologicamente corretos (MULINARI et al., 2009).

Muitos pesquisadores e indústrias, motivados pela preocupação com a preservação do meio ambiente, têm investido na busca por materiais que sejam provenientes de fontes renováveis. As fibras naturais, por serem “ecologicamente corretas” e possuírem baixo custo, vêm sendo estudadas como possíveis substitutas, mesmo que parciais, das fibras sintéticas no desenvolvimento de compósitos poliméricos (FERNANDES, 2012).

Neste contexto, nos últimos anos houve um grande avanço tecnológico no desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais, proveniente do aumento do interesse de grupos de pesquisa e de indústrias em desenvolver e utilizar materiais feitos a partir de matérias primas renováveis, que se deu principalmente pelo grande apelo mundial para a utilização de produtos naturais e pela preservação do meio ambiente (BENINI, 2011).

A utilização de fibras de origem natural, como uma alternativa às fibras sintéticas, na confecção de produtos comerciais contribuiu com a geração de riquezas e com a redução do impacto ambiental causado pela produção e descarte de bens de consumo já que são materiais abundantes, de fonte renovável e que contribuem para o melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro. As fibras vegetais podem ser utilizadas como reforços em polímeros termoplásticos, termorrígidos e borrachas devido às suas inúmeras vantagens frente às fibras sintéticas como, por exemplo, o baixo custo, a baixa densidade, a biodegradabilidade e a baixa abrasividade (BESSADOK et al., 2009; BENINI, 2011).

Como reforço de polímeros termoplásticos, as fibras naturais conferem uma melhora nas propriedades mecânicas, quando comparado ao polímero puro, além da redução de custo do compósito associada à menor densidade do material (BENINI, 2011; SALEEM et al., 2008).

As fibras de coco verde têm sido muito estudadas para a utilização de reforço em polímeros, como por exemplo, o poliéster, o polietileno, o polipropileno e polímeros biodegradáveis, alterando as propriedades mecânicas destes compostos como resistência à tração e alongação na ruptura (BENINI, 2009).

1.1 Objetivo e Justificativa

Dentro deste contexto, o presente trabalho visa à caracterização de compósitos reforçados com fibras da casca do coco verde em matriz de poliestireno de alto impacto (HIPS), tendo como objetivo uma possível substituição dos materiais utilizados atualmente para a confecção de peças utilizadas nos automóveis.

Todos os compósitos de HIPS/fibra de coco verde foram gentilmente cedidos pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e fizeram parte do trabalho desenvolvido por Benini (2011), tendo sido obtidos da comercialização em quiosques da cidade de Guaratinguetá/SP.

Foram caracterizadas três famílias de compósitos, nas proporções de 10, 20 e 30% (m/m).

Desta forma, foram necessárias as seguintes etapas de caracterização:

1. Confecção de corpos-de-prova para os ensaios mecânicos de resistência ao impacto;
2. Determinação da massa específica dos compósitos e do HIPS puro via picnometria de hélio;
3. Determinação da dureza Shore A dos compósitos e do HIPS puro;
4. Determinação da resistência ao impacto dos compósitos e do HIPS puro;
5. Determinação do índice de fluidez dos compósitos e do HIPS puro.

Após a realização das etapas de caracterizações foi desenvolvido um manual interativo (produto do mestrado profissional), com o objetivo de informar aos profissionais da área e interessados no assunto as etapas de caracterizações do HIPS com inserção da fibra de coco verde tratado para aplicação e substituição no setor automotivo. Esse manual está disponível no Apêndice A.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibras naturais

De acordo com a afirmação de Marinelli et al. (2008), nos últimos anos tem crescido o interesse pelo desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem a utilização de produtos que apresentem menor impacto ambiental. Sendo assim, várias pesquisas e trabalhos na área de compósitos poliméricos foram e estão sendo realizados, com o intuito de garantir a preservação ambiental, resultando na melhora do padrão de vida da sociedade como um todo. E, entre as pesquisas que mais se destacam estão aquelas que buscam a aplicação para modificadores naturais, particularmente a utilização de fibras naturais que são aquelas encontradas na natureza e utilizadas *“in natura”* ou após beneficiamento (SILVA et al., 2009; BENINI, 2011).

As fibras naturais classificam-se de acordo com a fonte de extração em: fibras de origem animal; fibras de origem vegetal e fibras de origem mineral. Entre as fibras de origem animal estão as fibras de pelo e seda; entre as de origem vegetal estão as fibras de madeira e bambu, sementes, fibras de frutas e fibras de folha e o amianto está entre as fibras de origem mineral.

Marinelli et al. (2008) relatam que em virtude da grande variedade de plantas disponíveis na biodiversidade, passíveis de serem pesquisadas, bem como pelo fato de ser fonte de recursos renováveis importantes, a utilização de fibras naturais de origem vegetal tem se destacado.

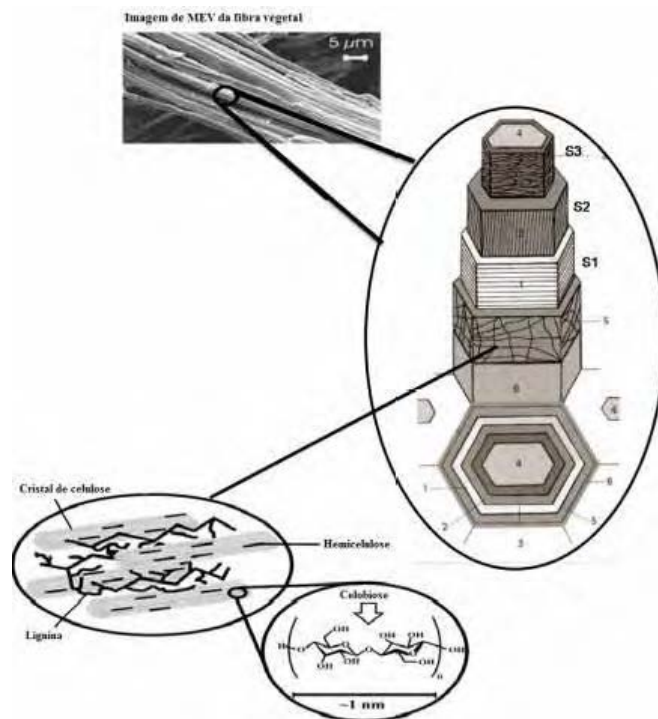
No Brasil, há uma diversidade de fibras vegetais com variadas propriedades químicas, físicas e mecânicas.

As fibras vegetais são compostas, principalmente por celulose, hemicelulose e lignina e são consideradas de grande importância comercial, pois podem ser utilizadas como reforço em compósitos, na construção civil e ainda, como filtros para a retenção de metais pesados (ALVES et al., 2010; GOMES et al. 2007).

Essa composição está arranjada nas fibras em uma complexa estrutura física, como mostrada na Figura 1.

Pode ser percebido que cada fibra é constituída por um lúmen central, responsável pelo transporte de água e nutrientes na planta, rodeado por uma parede primária, três paredes secundárias (S1, S2 e S3) e uma parede intermediária. Além desses componentes, podem-se ainda encontrar compostos inorgânicos e moléculas extraíveis com solventes orgânicos, como pectinas, carboidratos simples, terpenos, alcalóides, saponinas, polifenólicos, gomas, resinas, gorduras e graxas, entre outros (SILVA et al., 2009).

Figura 1 - Vista transversal da estrutura da fibra vegetal.



Fonte: Adaptado de Silva et al., 2009 apud Benini (2011)

No que se refere à composição química das fibras vegetais, também chamadas de fibras lignocelulósicas, bem como sua morfologia e propriedades, dependem de fatores como local de extração, idade da planta e ainda das condições do solo onde foram cultivadas (MARINELLI et al., 2008).

Silva et al. (2009) salientam que é de suma importância o conhecimento de cada um desses componentes, bem como a forma como estão dispostos na estrutura da fibra para o desenvolvimento do uso de fibras como reforço em compósitos.

As fibras lignocelulósicas, de acordo com a origem de sua parte vegetal, podem ser agrupadas da seguinte forma, conforme descrito por Lima (2009):

- Sementes - algodão;
- Líber - juta, linho, cânhamo etc.;
- Folha - sisal, abacá, piaçava etc.;
- Fruto - coco e paina;
- Raiz - zacatão

Algumas dessas fibras, como o algodão, juta, linho e sisal se destacam entre aquelas de maior significação econômica. Entretanto, não é impossível que algumas das fibras têxteis, atualmente de valor secundário, possam vir a se tornar sucedâneas de outras tradicionais, como por exemplo, a fibra da casca do coco verde, cuja utilização vem crescendo em vários segmentos, como é o caso do artesanato, têxtil e até mesmo, automotivo (LIMA, 2009).

2.2 Fibras de casca de coco verde

No período de 1990 a 2009 o Brasil passou de 10º para 4º maior produtor mundial de coco, sendo que existem perspectivas de crescimento não só na produtividade como também na abrangência do mercado (MARTINS et al., 2013).

A produção chega a pouco mais de três milhões de toneladas, colhidas em uma área com cerca de 290 mil hectares, sendo a região nordeste a responsável por 65% da produção brasileira (SOUZA et al., 2009).

A industrialização da água de coco no Brasil fez com que ocorresse uma aceleração de consumo do coco verde, gerando também uma grande quantidade de rejeitos que corresponde a 85% do peso do fruto. Além disso, os resíduos constituídos pelas cascas acabam contribuindo para a redução da vida útil dos aterros, representando um risco ao ambiente à saúde da população, uma vez que para se decompor, esses resíduos demoram de 10 a 12 anos (BARBOSA et al., 2010).

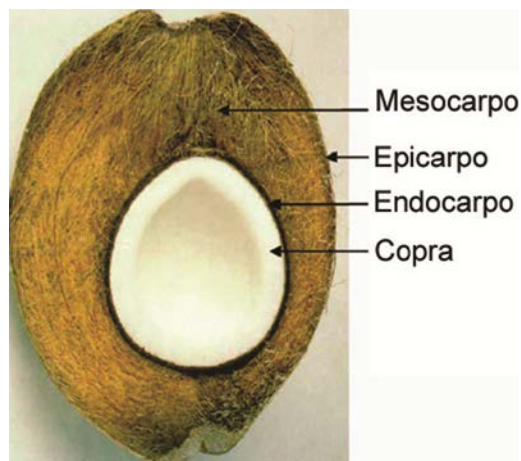
A fruta é composta de epicarpo (casca – epiderme lisa), mesocarpo (parte fibrosa), endocarpo (camada pétrea que envolve a parte comestível) e copra (parte comestível) (Figura 2).

Entre as principais propriedades da fibra de coco verde está a baixa densidade, maleabilidade, porosidade e retenção de água, que caracterizam qualidades excelentes para utilização no setor de agricultura (MARTINS et al., 2013).

Adquirida principalmente na agroindústria a partir do rejeito do pós-consumo da fruta *in natura*, a fibra de coco verde pertence à classe lignocelulósicas e é composta, principalmente, por celulose (36 a 43%), lignina (41 a 45%) e hemicelulose (3 a 12%) (MARTINS et al., 2013). Sua utilização na fabricação de compósitos é de suma importância, pois não só reduz a quantidade de resíduos como também é um processo barato, natural e renovável (BARBOSA et al., 2010).

Alguns autores descrevem ainda materiais que servem como reforço de polímeros, como o poliéster, o polipropileno e os polímeros biodegradáveis, tendo em vista sua composição alterar as propriedades mecânicas desses compósitos, tornando-os mais resistentes à tração e rupturas (BARBOSA et al., 2010).

Figura 2 - Corte longitudinal do coco e suas partes.



Fonte: Adaptado de Ferraz (2011) apud Martins et al. (2013)

A lignina, presente nas fibras de coco em maior concentração que os outros componentes, como já mencionado anteriormente, é responsável pela sustentação, força e resistência mecânica das fibras vegetais. Além disso, é considerada como um

material de baixa densidade e abrasividade, que possui características interessantes para o uso como carga em substituição a cargas inorgânicas. Assim a lignina com outros polímeros, em processamentos adequados, pode gerar compósitos parciais ou até completamente biodegradáveis. E, diante de sua natureza fenólica, ela pode aumentar a resistência de materiais poliméricos em relação à oxidação, irradiação e também exposição a temperaturas elevadas (SILVA et al., 2009).

Depois de apresentada a composição do fruto, bem como os componentes da fibra do coco, para melhor compreensão sobre como obter esse componente, o próximo item versará sobre o processo de extração da fibra do coco.

2.2.1 Processos de extração das fibras

Castilhos (2011) descreve que o processo de extração da fibra do coco pode ser realizado através de um método convencional que envolve duas fases, a primeira – chamada de maceração – é realizada nas fibras de coco verde, enquanto que a outra – desfibramento mecânico – é realizada nas fibras de coco seco. Na maceração, as cascas de coco são imersas em água por um período de 4 a 12 semanas, em um tanque (Figura 3), a fim de que haja uma fermentação anaeróbia, espontânea da matéria vegetal, o que colabora para a liberação dos feixes fibrosos. A variação do período mencionado se deve à dependência de fatores químicos e físicos, como por exemplo, pH e temperatura da água.

Figura 3 - Tanque de maceração.



Fonte: Castilhos, 2011.

Após a fase de maceração, as cascas então seguem para o desfibramento, na qual a fibra (parte celulósica) é separada do pó (semicelulósica), resultando num aproveitamento de cerca de 25% de fibras e 75% de pó (DUARTE et al., 2009).

As fibras então são lavadas em água corrente para a remoção parcial da lignina, sendo em seguida expostas ao sol para a secagem ou em colocadas em estufas e, através do peneiramento, as fibras longas são separadas das curtas (CASTILHOS, 2011).

Contudo, existe outro processo de extração desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com a Metalúrgica Fortalmag, Fortaleza/CE, onde foi criado um equipamento responsável pela obtenção do pó e da fibra da casca de coco verde. O processo se desenvolve em três etapas: trituração, prensagem e seleção.

Na trituração, a casca de coco é cortada e triturada por um rolo de facas fixas. A próxima etapa, a prensagem, é responsável por eliminar a alta concentração de sais tóxicos, utilizado no cultivo de algumas espécies vegetais. Essa eliminação é de suma importância para a seleção do material que acontecerá na próxima etapa, que é a seleção das fibras, bem como a adequação do nível de salinidade do pó obtido no processamento. E, por fim, a última etapa, a seleção, onde as fibras são separadas do pó na máquina selecionadora, equipada com um rolo de facas fixas e uma chapa perfurada, assim o material é “peneirado” ao longo do eixo da máquina, fazendo com que o pó caia pela chapa perfurada e a fibra siga para o final do percurso (Figura 4).

Figura 4 - Desfibrador de fibra de coco produzido pela Embrapa.



Fonte: Castilhos, 2011.

2.3 Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais

Conforme descrito por Ventura (2009), os materiais compósitos não possuem uma definição que seja aceita, universalmente, porém de forma geral, um material pode ser definido como compósito quando for constituído por dois ou mais componentes (fases) diferentes.

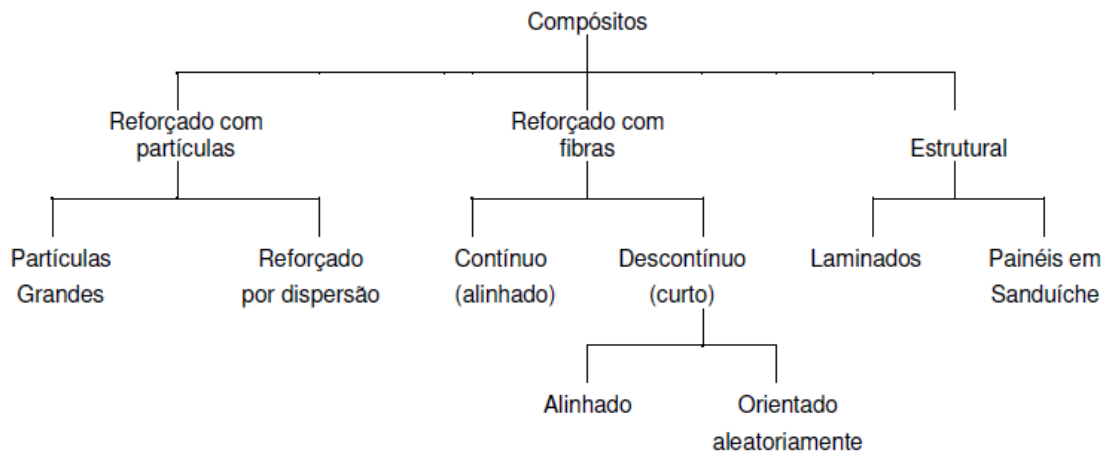
Para Callister (2002, p. 359) compósito é “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades”.

Dessa forma, os compósitos possuem como característica básica a combinação macroscópica de pelo menos duas fases distintas, definidas como matriz e reforço, as quais são fisicamente identificadas e possuem uma interface entre elas. A primeira é responsável pela distribuição da carga pelo compósito, enquanto a segunda tem a função de resistir aos esforços solicitados (CALLISTER, 2002; VENTURA, 2009).

A fase matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico responsável por fornecer estrutura ao material compósito sendo capaz de preencher os espaços

vazios encontrados no reforço, mantendo-o assim na sua posição. Já a fase dispersa ou reforço apresenta-se em diversas formas e, geralmente, é classificada em três categorias, compósitos particulados, compósitos de fibras descontínuas (*whiskers*) e compósitos de fibras contínuas (Figura 5).

Figura 5 - Esquema de classificação dos compósitos.



Fonte: Callister, 2002.

Regra geral, os constituintes do reforço dos compósitos propiciam força e rigidez e ainda, aumentam a resistência ao calor, corrosão e condutividade. Segundo exposto por Ventura (2009), o reforço pode ser realizado para facultar todas ou apenas uma dessas características, o que dependerá dos requisitos exigidos pelo novo material. Além disso, para que ele demonstre vantagem para o compósito, sua força e rigidez têm que ser maiores que a matriz, bem como em casos de apresentar falhas sua troca deve ser possível (VENTURA, 2009).

Os compósitos com fibras contínuas e alinhadas apresentam respostas mecânicas que dependem de diversos fatores, como o comportamento tensão-deformação das fases fibra e matriz, as frações volumétricas das fases e também a tensão ou carga que será aplicada. E entre os materiais mais utilizados para esse tipo de fibra está o carbono, o carboneto de silício, o boro, o óxido de alumínio e os metais refratários (NETO; PARDINI, 2006).

Apesar dos compósitos com fibras descontínuas e alinhadas apresentarem eficiência de reforço menor que os compósitos com fibras contínuas, cada vez mais eles estão sendo utilizados em inúmeras aplicações, como por exemplo, fibras de

vidro picadas, tipo de reforço usado com maior frequência, além das fibras descontínuas de carbono e aramida (CALLISTER, 2002).

O desempenho do compósito reforçado com fibras é aliado pelo comprimento, forma, orientação e composição das fibras, bem como pelas propriedades mecânicas da matriz. Segundo discutido por Neto e Pardini (2006), o arranjo das fibras em relação uma as outras, a concentração e ainda, sua distribuição influenciam de forma significativa na resistência e também em outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras.

De acordo com o exposto por Callister (2002), para os compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa possui geometria com uma razão alta entre comprimento-diâmetro. Tal relação denominada como coeficiente de forma, é utilizada para definir como fibras curtas aquelas cujo valor encontra-se abaixo de 100. As fibras utilizadas em compósitos influenciam nas suas propriedades, geralmente resistência e dureza, em função do comprimento da fibra (magnitude da ligação interfacial entre a fibra e a matriz) e da orientação e concentração das fibras quando se apresentam alinhadas e contínuas, alinhadas e descontínuas, e aleatórias e descontínuas.

O autor enfatiza que fibras alinhadas e de maior comprimento geralmente apresentam um melhor conjunto de propriedades. Na figura 6 estão ilustradas as possíveis orientações e concentrações das fibras quando utilizadas como fase dispersa em um compósito.

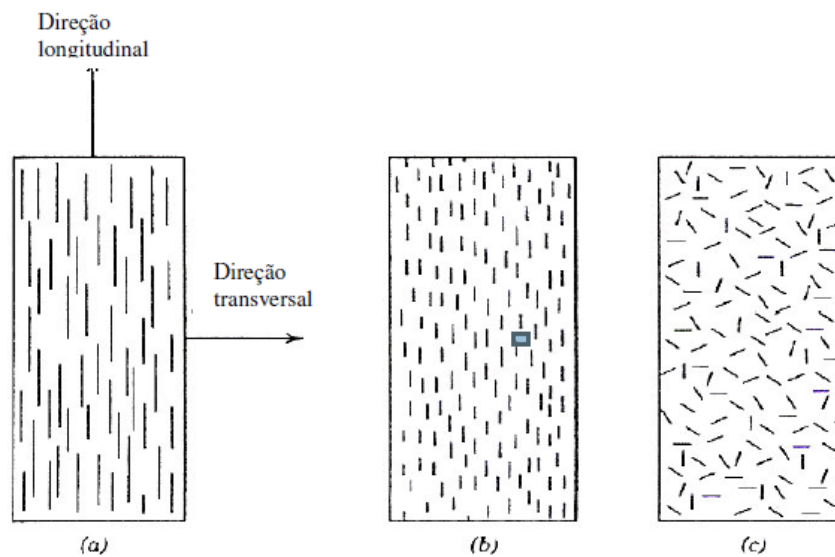
Callister (2002) relata que em função do diâmetro da fibra d , da sua resistência à tração, σ^*f , e de força de ligação entre fibra e matriz (ou da tensão limite de escoamento cisalhante da matriz, o que for menor), Fl , é possível calcular o denominado comprimento crítico, l_c , que passará a significar o tamanho mínimo para que a fibra desempenhe mais efetivamente o reforço em um compósito, conforme pode se perceber na equação a seguir:

$$l_c = \frac{\sigma^* f}{2Fl}$$

(Eq. 1)

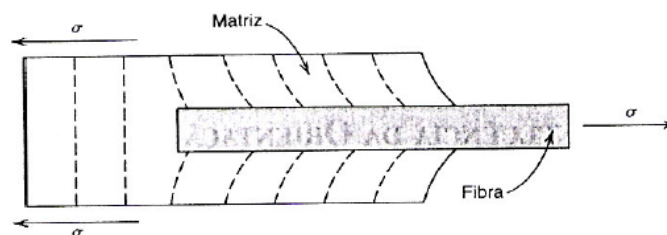
Nos compósitos reforçados por fibras, a fase matriz apresenta várias funções e, entre elas, a primeira é unir as fibras e atuar como um meio através do qual, as cargas aplicadas externamente são transmitidas e distribuídas nas fibras, sendo que somente uma pequena parte da carga é suportada pela fase matriz (Figura 7). Callister (2002) salienta que a interação entre matriz-fibra compete às características físicas e químicas das superfícies de ambas as fases.

Figura 6 - Compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas, e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.



Fonte: Callister, 2002.

Figura 7 - Transmissão carga matriz – fibra.



Fonte: Callister, 2002.

No que se refere à segunda função da fase matriz, Callister (2002) relata que é a de proteger as fibras de danos na superfície, tendo em vista a possível abrasão ou as relações químicas com o ambiente. A matriz então, finalmente, com sua ductilidade e plasticidade, consegue prevenir a propagação de rupturas, ou seja, funciona como uma barreira.

No que se refere às vantagens dos compósitos a base de fibras, Castilhos (2011) e Marinelli et al. (2008) descrevem as altas propriedades mecânicas específicas; biodegradabilidade e reciclabilidade; baixa densidade e não-abrasividade; baixo consumo de energia e custo de produção; oferta de empregos rurais e resistência a temperaturas (até 200°C) sem perda significativa das suas propriedades. Além disso, em virtude das propriedades das fibras serem passíveis de alterações pela modificação química, há um crescimento do seu potencial em aplicação tecnológica.

Como a matriz é um dos componentes dos materiais compósitos, optou-se por defini-la, bem como descrever sua classificação, a fim de fique clara sua função e composição, o que será feito no próximo item.

2.4 Matrizes de compósitos poliméricos

A matriz nos materiais compósitos possui como principal finalidade atuar como um meio de transferência de carga para os reforços, como já mencionado anteriormente, através do cisalhamento e protegê-los da abrasão mútua, danos e meios de degradação (BARROS, 2006).

Segundo Callister (2002) as matrizes se classificam em orgânicas (poliméricas), metálicas, cerâmicas, de cimento e de carbono-carbono, sendo as poliméricas as mais utilizadas, em virtude da versatilidade de formulação e baixo custo de processamento, quando comparadas com outras matrizes. Além disso, as poliméricas fazem parte do tema do presente trabalho.

As matrizes poliméricas são classificadas segundo os métodos de preparação da estrutura química e do comportamento mecânico (VENTURA, 2009).

No que se refere ao método de preparação da estrutura química, os polímeros podem ser classificados em etapas, sendo que as reações de polimerização podem acarretar vários tipos de cadeias poliméricas, que são classificadas como cadeia linear sem ramificações; cadeia linear com ramificações e cadeia com ligações cruzadas, tridimensionais ou reticuladas (BARROS, 2006).

De acordo com o exposto por Leão (2012), as variações estruturais afetam diretamente as propriedades físico-químicas dos polímeros, particularmente no que diz respeito à solubilidade e fusão. Quanto às características de fusão das matrizes poliméricas podem ser classificadas em termoplásticas ou termofixas.

As termoplásticas compreendem os quatro materiais mais importantes, como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e cloreto polivinílico (PVC). Conforme descrito por Leão (2012) e Ventura (2009), o termo termoplástico indica que esses materiais se fundem quando aquecidos e podem ser processados por diversas técnicas de moldagem e extrusão.

Já as matrizes poliméricas termofixas incluem os alquidos, resinas aminas e fenólicas, epóxi, poliésteres não-saturados e poliuretanas. Esses componentes não podem ser refundidos, porém possuem a capacidade de fixação irreversível. Sendo assim, pode-se perceber que a principal diferença entre eles está no comportamento quando são aquecidos, isto é, os termoplásticos são capazes de se moldarem várias vezes, diante de suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando ocorrer a redução da temperatura. Em contrapartida, os termofixos não se tornam fluidos, tendo em vista a presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares (LEÃO, 2012; VENTURA, 2009).

Diante das características estruturais dos termoplásticos e dos termofixos algumas questões podem ser explicadas, como a possibilidade de reciclagem dos termoplásticos e a baixa resistência ao impacto dos termofixos, quando não há um agente de reforço (LEÃO, 2012; VENTURA, 2009).

2.5 Poliestireno de alto impacto (HIPS)

Rovere et al. (2008) relatam que muitos polímeros amorfos ou vítreos demonstram comportamento frágil à fratura, o que limita sua aplicação. No entanto, o reforçamento com elastômeros é uma técnica conhecida e utilizada por muitas indústrias para aumentarem a resistência à fratura e a tenacidade desses materiais. O elastômero incorporado ao poliestireno (PS) é responsável pela relaxação do material a nível molecular, que dissipa parte da energia em calor, tendo efeito

sinérgico na absorção de impacto. E o poliestireno de alto impacto (PSAI), conhecido popularmente como HIPS (*High Impact Polystyrene*) é um desses polímeros.

Obtido a partir da polimerização *in situ* do estireno na presença de polibutadieno formando domínios discretos da fase elastomérica dispersos em uma matriz contínua de PS, o HIPS possui maior resistência ao impacto que o poliestireno homopolímero e blendas pós-reator de OS e elastômero, tendo em vista a polimerização elastômero-estireno. É resistente também a líquidos orgânicos, óleos e graxas. E, em virtude de sua maior tenacidade, o HIPS é bastante aplicado em componentes industriais, que necessitem maior resistência que o PS não-tenacificado, como por exemplo, gabinetes de refrigeradores, eletroeletrônicos, peças de máquinas e veículos, grades de ar-condicionado, saltos para calçados, brinquedos, acessórios para móveis, embalagens de proteção contra choques, além de peças internas e externas de aparelhos eletrônicos, guarda-chuvas, televisão, microcomputadores e toda a linha branca de eletrodomésticos (BENINI, 2011; RIBEIRO et al., 2012).

Entretanto, o bom desempenho do HIPS depende de vários parâmetros e um deles refere-se à fase vítrea (matriz) que seria a massa molecular, uma vez que ela influencia no tipo de processamento, na maneira como as cadeias encontram-se organizadas (faixas estreitas ou largas) e ainda, na viscosidade do polímero, o que resulta em polímeros com características distintas (ROVERE et al., 2008).

A escolha do polibutadieno no HIPS é determinada pelas características finais a serem atingidas no HIPS estando entre as principais, a viscosidade e a configuração molecular (isomeria). A primeira é decorrente do peso molecular e do grau de ramificações, enquanto a segunda refere-se às porcentagens relativas das insaturações nas configurações vinil, trans e cis. (ROVERE et al., 2008).

No que se refere às diferenças estruturais e morfológicas entre os tipos de HIPS, elas são resultantes das diferenças nos processos de produção e também do tipo e teor de borracha. No processo de polimerização em massa a morfologia resultante é do tipo salame, com espectro amplo de tamanho de partículas, com subinclusões de PS envoltos por uma membrana borrachosa, dispersa numa matriz

de PS. No entanto, quando de se trata do processo de polimerização em emulsão, o resultado geralmente são partículas de borracha esféricas, não-desejáveis em virtude do comprometimento da transparência, com estrutura do tipo core-shell, isto é, partículas compostas por um núcleo de PS (core) revestido por uma membrana (*shell*), com espectro de distribuição de tamanhos mais estreito (ROVERE et al., 2008).

Entre as principais propriedades do HIPS está o ponto de amolecimento entre 87 e 100°C e solubilidade parcial em hidrocarbonetos e cetonas, bem como sua temperatura de processamento abaixo da temperatura de degradação das fibras naturais, e ainda seu fácil processamento faz dele uma alternativa viável de matriz para compósitos reforçados com fibras naturais (NETO; PARDINI, 2006). Sua temperatura de fusão (T_m) é de 230°C, enquanto a temperatura do molde varia de 40 a 70°C (SOUZA E BORGES, 2011).

2.6 A aplicação no setor automotivo

A produção de fibra de coco no Brasil ainda é incipiente, porém a utilização de suas fibras longas e curtas (pó) como matéria-prima já pode ser percebida em alguns ramos industriais.

No setor automotivo, por exemplo, o emprego da fibra de coco na fabricação de peças como encostos de cabeça, pára-sol interno, assentos e encostos de bancos no revestimento interno de veículos, já é uma realidade na multinacional alemã Daimler-Chrysler, controladora das marcas Mercedes-Benz e Chrysler, pois desde 2001 os veículos Classe A da fábrica da Mercedes, em Juiz de Fora/MG, bem como os caminhões montados na fábrica do ABC Paulista, passaram a ser equipados com estofamentos de fibra de coco e látex natural, produzidos pela Poematec Fibras Naturais da Amazônia. Além disso, diversas fábricas europeias utilizam o estofamento de fibra de coco (FONTENELE, 2005; CASTILHOS, 2011).

A empresa Poematec de artefatos industriais é fruto de um projeto ecológico, Programa Pobreza e Meio Ambiente (POEMA), iniciado em 1992, no Estado do Pará e idealizado pela Universidade do Pará, com apoio da multinacional alemã e Unicef. Seu principal objetivo foi frear a devastação dos ecossistemas amazônicos,

oferecendo trabalho à população local e promovendo a utilização de matérias-primas renováveis (CASTILHOS, 2011).

Quando comparados os bancos processados com fibra de coco e os de espuma derivada de petróleo (poliuretano), considera-se a fibra superior à espuma, em virtude da condensação do vapor do corpo que a espuma provoca, além de outras vantagens como a permissão da troca de calor com o ambiente; fabricação com produtos naturais de fontes renováveis; por conter taninos, um fungicida natural; resistência a impactos; maior conforto devido a possibilidade de ter várias densidades em uma mesma peça; é biodegradável e reciclável; possui alta resistência; são retardantes de chama; sem odor; maior durabilidade que os materiais similares; é ecologicamente correto; isenção de ácaros e fungos (CASTILHOS, 2011).

É de se ressaltar, no entanto, que apesar de não haver pesquisas demonstrando resultados positivos sobre o uso da fibra de coco no setor automotivo podem-se encontrar empresas que investem nessa ideia, como é o caso do Grupo Aurantiaca, que a partir de janeiro de 2013 investiu R\$ 200 milhões no município baiano de Conde, a fim de iniciar a produção de fibra de coco (BAHIA NEGÓCIOS, 2012).

Os executivos apresentaram as ações em andamento para a construção da indústria do grupo - a obra está 85% concluída e produzirá o óleo e água de coco (BAHIA NEGÓCIOS, 2012).

De acordo com o grupo Aurantiaca, a unidade fabril está em pleno funcionamento, produzindo de fibras de coco e outros produtos provenientes da casca do coco seco que, por sua vez, são utilizados na bioengenharia, no agronegócio e na indústria automotiva. Para garantir a comercialização e distribuição desses produtos foi criada a Fibraztech, mais nova marca do grupo que oferece ao mercado o que há de mais avançado no ramo de fibras vegetais. As três empresas do Grupo Aurantiaca se consolidaram em um pilar único de inovação, sustentabilidade e bem servir, garantindo ao mercado qualidade, capacidade produtiva, eficiência fabril e distribuição (AURANTIACA, 2016).

Um complexo industrial em construção na cidade do Conde, a 25 km das fazendas do grupo, a Frysk Industrial é a responsável por beneficiar e aproveitar 100% do coco e transformar os seus componentes em produtos de alto valor agregado. A Frysk Industrial está sendo preparada para processar 800 mil frutos/dia. Frutos que virão na sua maioria da Aurantiaca Agrícola, como também de pequenos produtores locais, propiciando uma movimentação na agricultura local. Frysk Industrial iniciou em janeiro de 2013 a industrialização de fibras de coco seco, produzindo biomantas e biorolos, utilizando tecnologia de ponta e oferecendo ao mercado, equipe especializada e o complexo fabril mais avançado do mercado de fibras do Brasil com instalações modernas, que incluem equipamentos de tecelagem e biorretentor de última geração (AURANTIACA, 2016).

2.7 Determinação da massa específica dos compósitos via picnometria de hélio

De acordo com Caproni (2003), a picnometria de hélio é uma técnica que possibilita a obtenção do volume esquelético de um sólido através da redução do fluxo de gás em uma câmara de medida, ocasionada pela presença de um sólido. Quando o gás hélio penetra nos poros e nas superfícies irregulares, o volume obtido permite determinar a densidade aparente de um sólido.

Moura e Figueiredo (2002) relatam que o hélio é o gás mais utilizado em virtude de o mesmo penetrar facilmente nos poros da amostra, diante de seu reduzido tamanho dos átomos, o que propicia a determinação do volume do sólido com mais rigor. Além disso, o gás hélio é inerte.

Os autores descrevem que o picnômetro de hélio é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos (por calibração prévia): a câmara onde a amostra é colocada e ainda a câmara de expansão, que são unidas por uma válvula (válvula de expansão).

A amostra que é colocada na câmara, antes de iniciar a análise propriamente dita, sofre um processo de desgaseificação que consiste em repetidas purgas com hélio, com o intuito de remover impurezas e também umidade, que podem ser encontradas eventualmente. Todo o sistema então é levado à pressão atmosférica e

a câmara de expansão é isolada, a válvula de expansão é fechada e a câmara, que contém a amostra, é pressurizada até uma pressão P_1 (cerca de 17 psig). Posteriormente, abre-se a válvula de expansão e, dessa forma, a pressão é baixada para P_2 . Partindo do princípio do comportamento ideal do hélio, pode-se calcular o volume do sólido através da seguinte equação, de acordo com o descrito por Smith (1996), citado por Moura e Figueiredo (2002):

$$P_1 (V_a - V_s) = P_2 (V_a - V_s + V_e) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

$$V_s = V_a - \frac{V_e}{\frac{P_1 - 1}{P_2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

V_a - volume da câmara da amostra;

V_e - volume da câmara de expansão;

V_s - volume do sólido.

Os autores relatam ainda que a massa volúmica é automaticamente calculada pelo picnômetro, por meio da relação entre a massa do sólido (introduzida como dado de entrada) e o volume derivado da Eq. (3).

A medida de densidade dos compósitos e sua comparação é importante pois determina o peso das peças injetadas e a maior ou menor necessidade em massa a ser consumida e comprada para a produção de um determinado número de peças. Compósitos com menor densidade e propriedades adequadas ao fim que se destinam são os preferidos por fatores econômicos e também vão de encontro aos requisitos do programa INOVAR AUTO para peças mais leves, econômicas e menor consumo de combustíveis e geração de CO_2 (HENRIQUES, 2015).

2.8 Ensaios mecânicos de resistência ao impacto

De acordo com o exposto por Canevarolo (2004), em virtude dos requisitos que os vários polímeros devem atender em grande parte de suas aplicações, as propriedades mecânicas dos materiais compósitos passam a ser de grande interesse científico e tecnológico. Os valores de propriedades mecânicas como resistência à tensão, módulo de elasticidade, entre outros, podem servir como base de comparação de desempenho mecânico dos diversos polímeros. Tais valores podem ser obtidos através de ensaios mecânicos padronizados, dentre os quais se destacam o ensaio de solicitação mecânica sob tração, flexão, impacto, entre outros.

No que se refere ao ensaio de tração, Callister (2007) descreve que o mesmo é realizado através da fixação dos corpos de prova em dispositivos denominados garras. Estas, por sua vez, são acopladas à travessa fixa e à móvel da Máquina Universal de Ensaios. O mecanismo de direcionamento então controla a taxa de deformação, enquanto a célula de carga registra a tensão de tração sustentada pela amostra, porém ambas se encontram acoplados à travessa fixa.

Convém ressaltar que através dos ensaios de tração é possível medir ou calcular a resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade.

Quanto ao ensaio de flexão ele é responsável por observar a resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão, cujo resultado pode ser encontrado de forma semelhante ao ensaio de tração, calculando-se a razão entre tensão e a deformação dentro do momento elástico do ensaio. Contudo, em se tratando do ensaio de flexão a solicitação mecânica será maior na parte externa do corpo de prova, pois se encontra sujeito a dobramento no momento da ruptura (CALLISTER Jr., 2007).

Já o ensaio de impacto, um dos mais utilizados para o estudo de fratura frágil dos materiais, conhecido também como ensaio de choque ou de resiliência, é um ensaio dinâmico utilizado principalmente para teste de aceitação de materiais usados em baixa temperatura. Ele é responsável por indicar a energia necessária para quebrar corpos de prova entalhados sob condições padronizadas.

Podem ser utilizados corpos de prova com entalhes na forma de U ou em V, os quais são fixados na horizontal e golpeados por um pêndulo de energia padronizado em joules. Vale ressaltar que o ensaio de impacto não proporciona um valor quantitativo da tenacidade do material. Quanto à energia que o corpo-de-prova absorve, esta é obtida através da diferença entre a altura atingida pelo martelo antes e após o impacto, multiplicada pelo peso do martelo e, geralmente, é lida na própria máquina, através de um ponteiro que corre em uma escala graduada já convertida em unidade de energia (CLARO, 2000).

Há dois tipos padronizados de ensaio de impacto, Izod e Charpy. Porém, em ambos os casos o corpo-de-prova possui o formato de uma barra de seção transversal quadrada, onde é usinado o entalhe.

Como principal vantagem do ensaio de impacto, Claro (2000) descreve sua simplicidade, bem como o tamanho e custo dos corpos-de-prova, que são pequenos e baratos. Além disso, o fato do ensaio poder ser aplicado em um grande campo de temperaturas, até naquelas abaixo do ambiente, também torna-se outra importante vantagem.

Os ensaios de impacto são importantes para comparar a variação desta propriedade em função da concentração de fibra nas amostras dos compósitos.

2.9 Dureza Shore A

A dureza é uma propriedade bastante utilizada na indústria da borracha. Trata-se de uma propriedade importante na generalidade das aplicações. De acordo com Soares et al. (2000), as aplicações dos ensaios de dureza incluem a determinação aproximada das características de ductilidade e resistência de materiais, controle de qualidade em tratamento térmicos e mecânicos, controle de qualidade em processos de conformação e em etapas de fabricação, etc.

Os autores relatam que a dureza de um material pode ser definida de várias maneiras, sendo, no entanto, a definição mais usual de resistência do material à indentação ou penetração. Sua determinação tem o objetivo de saber se o material atingiu uma determinada condição metalúrgica e/ou mecânica, podendo servir como aproximação grosseira à determinação do valor da tensão de rotura.

Para a execução do teste de dureza Shore, recorre-se a um aparelho chamado durômetro, o qual indica a dureza de um dado material em função da penetração que um indutor consegue provocar num dado material. Utilizando este método é possível determinar a dureza de materiais, que vão desde a borracha vulcanizada mole até alguns plásticos duros, permitindo a medição de valores de indentação imediatos, em períodos de tempos específicos ou em ambos os casos (SOARES et al., 2000).

Uma relação de carácter sensitivo e a verdadeira dureza da borracha, medida em unidades Shore A é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de dureza

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

Fonte: Finocchio, 2001.

A medida da dureza fundamenta-se na penetração de uma esfera rígida num provete normalizado sob condições previamente fixadas. A relação entre a profundidade de penetração de uma esfera rígida e o módulo de Young, para um material perfeitamente elástico e isotrópico é conhecida através da fórmula a seguir (Eq. 4):

$$\frac{F}{E_0} = 0,0038 \cdot R^{0,65} \cdot P^{1,65} \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo:

F – a força de penetração, em Newton;

E₀ – o módulo de Young, em MPa;

R – o raio do penetrador esférico, em mm;

P – a profundidade de penetração, em mm.

Segundo Finocchio, (2001) a relação entre a dureza e o módulo de Young é de grande importância em todo o desenvolvimento da teoria das deformações.

2.10 Índice de Fluidiez

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 fluidiez. O teste de índice de fluidiez é uma técnica mais simples, mas é amplamente utilizado nas indústrias, principalmente na área automotiva (OTA, 2004).

A medida de índice de fluidiez 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 fluidiez 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.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Compósitos

Os compósitos de HIPS/fibra de coco verde foram gentilmente cedidos pela UNESP de Guaratinguetá/SP, onde foi utilizada uma matriz polimérica composta de um poliestireno de alto impacto, o HIPS 825, com reforço de fibras tratadas de coco verde. Foram fornecidos três famílias de compósitos: HIPS/10% fibras de coco tratadas (CT-10); HIPS/20% fibras de coco tratadas (CT-20) e HIPS/30% fibras de coco tratadas (CT-30).

3.2 Determinação da massa específica via Picnometria de Hélio

Foram realizadas análises de picnometria de hélio para a determinação da massa específica real do HIPS puro e das amostras dos compósitos. Utilizou-se um Analisador de Densidade Real, marca *Quantachrome Instruments*, modelo *UltraFoam 1200e* (Figura 8), locado no Laboratório de Caracterização de Compósitos do DMT/FEG/UNESP. 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.

Figura 8 - Analisador de Densidade Real, marca Quantachrome Instruments, modelo UltraFoam 1200e.



Fonte: (o autor).

3.3 Determinação da dureza Shore A

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 9), locado no Laboratório de Metrologia da empresa *Maxion Structural Components - Unidade de Cruzeiro/SP*. 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.

Figura 9 - Durômetro portátil, marca CV Instrument Limited, modelo CV Shore Durometers – Analogue.



Fonte: <http://www.bowersgroup.co.uk/product-range/cv-instruments/sha0003-cv-shore-durometers-analogue-digital-3870.html>. Acessado em 05/06/2015

3.4 Determinação da resistência ao impacto

Os ensaios de impacto foram realizados em uma máquina *Canti Lever XJU-22* do tipo *Izod* (Figura 10), disponível no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade de São Paulo (EEL/USP/Área II). Foram analisados cinco corpos de prova, com dimensões de acordo com a norma ASTM D 6110 – 06, CDP's com 12mm de largura, 55 mm de comprimento e 3mm de espessura, usando a máquina de impacto com capacidade de 5,5 J. Foram avaliadas a energia absorvida ao impacto e a resistência.

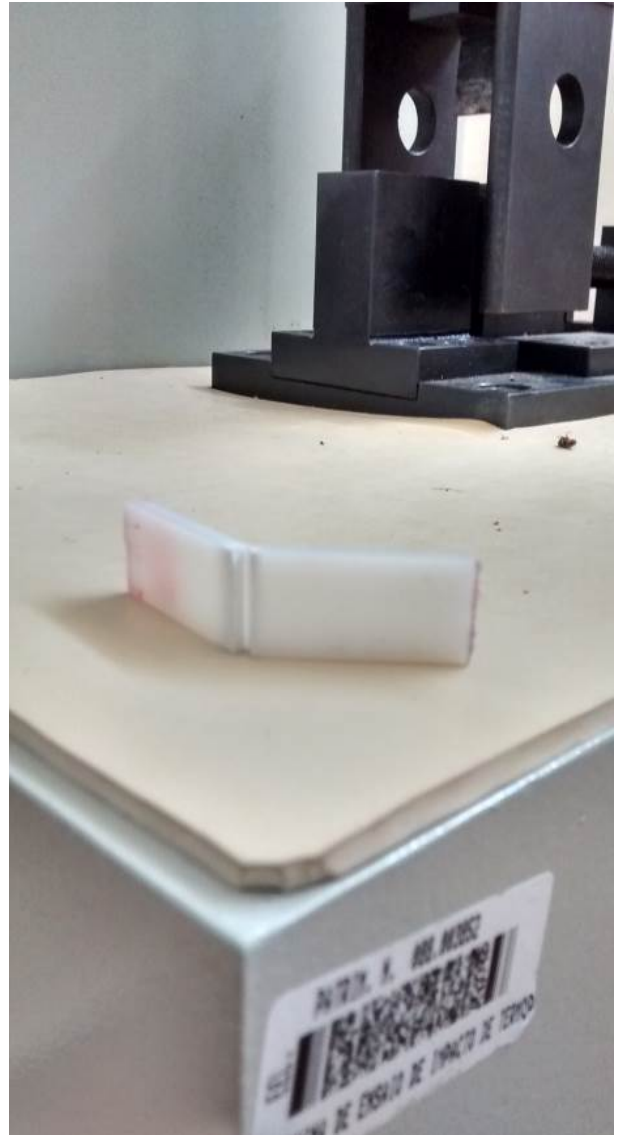
Figura 10 - (A) Máquina PANTEC para ensaio de impacto Izod, (B) detalhe na colocação do CDP de impacto e (C) detalhe do CPD rompido após o a realização do ensaio de impacto.



(A)



(B)



(C)

Fonte: (o autor)

3.5 Determinação do Índice de Fluidez

Os ensaios para a determinação dos índices de fluidez foram realizados 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 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Resultados das massas específicas – Compósitos HIPS/fibra de coco

A partir das análises de picnometria de hélio, verificou-se que a adição da fibra de coco ao HIPS não acarretou um aumento significativo na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao HIPS puro, conforme apresentado na Tabela 2. Esses resultados se mostraram interessantes, pois futuras peças produzidas com os compósitos reforçados com as fibras de coco apresentarão praticamente o mesmo peso se as mesmas fossem produzidas com HIPS puro. Entretanto, a utilização de, por exemplo, 30% de fibras de coco ($\rho = 1,1151 \text{ g/cm}^3$), acarretará uma redução de 30% no consumo de HIPS puro ($\rho = 1,1064 \text{ g/cm}^3$) e, conseqüentemente, uma redução no custo das peças produzidas.

Tabela 2 - Resultados das massas específicas por meio da análise de picnometria de hélio.

AMOSTRAS	Massa Específica (g/cm ³)
HIPS PURO	1,1064 ± 0,0074
Fibra de Coco	1,5844 ± 0,0098
CT-10	1,1281 ± 0,0123
CT-20	1,1589 ± 0,0018
CT-30	1,1151 ± 0,0032

Fonte: O autor

4.2 Resultados da dureza Shore A – Compósitos HIPS/Fibra de coco

A partir das análises de dureza Shore A, verificou-se que a adição da fibra de coco ao HIPS não acarretou alterações nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao HIPS puro, como é mostrado na Tabela 3.

Os valores da dureza Shore A encontrados nas amostras de HIPS e dos compósitos foi considerada muito dura, pois apresentou valores entre 90 – 100 (FINOCCHIO, 2001).

Tabela 3 - Resultados de dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.

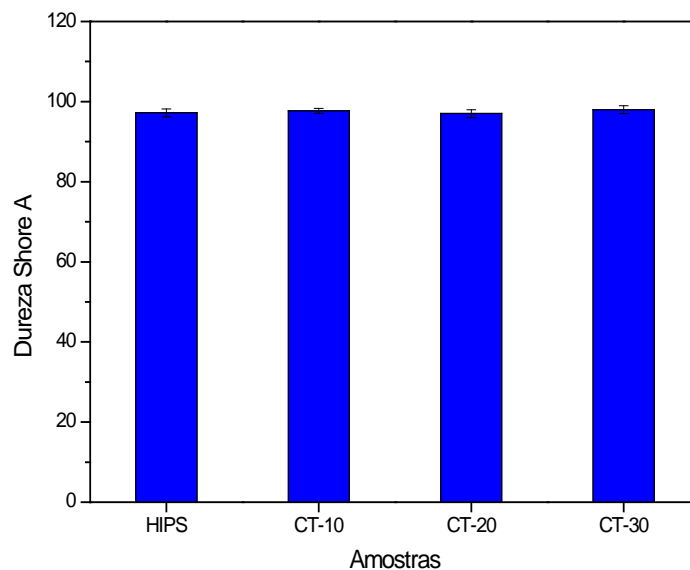
AMOSTRAS	DUREZA SHORE A
HIPS PURO	97,7 ± 0,8
CT-10	97,7 ± 0,6
CT-20	97,0 ± 1,0
CT-30	98,0 ± 1,0

Fonte: O autor

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

A Figura 11 evidencia claramente os valores de dureza Shore A, mostrando a influência da inserção de fibras de coco na dureza do HIPS.

Figura 11 - Resultados de dureza Shore A do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.



Fonte: O autor

4.3 Resultados de resistência ao impacto – Compósitos HIPS/Fibra de coco

A partir das análises de resistência ao impacto, verificou-se que a adição da fibra de coco ao HIPS acarretou uma diminuição significativa na resistência ao impacto, quando comparados ao HIPS puro. A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de impacto realizados no HIPS puro e nos compósitos CT-10, CT-20 e CT-30.

A diminuição da resistência ao impacto pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento do volume de fibra. Lembrando que a ductilidade corresponde à elongação total material devido à deformação plástica.

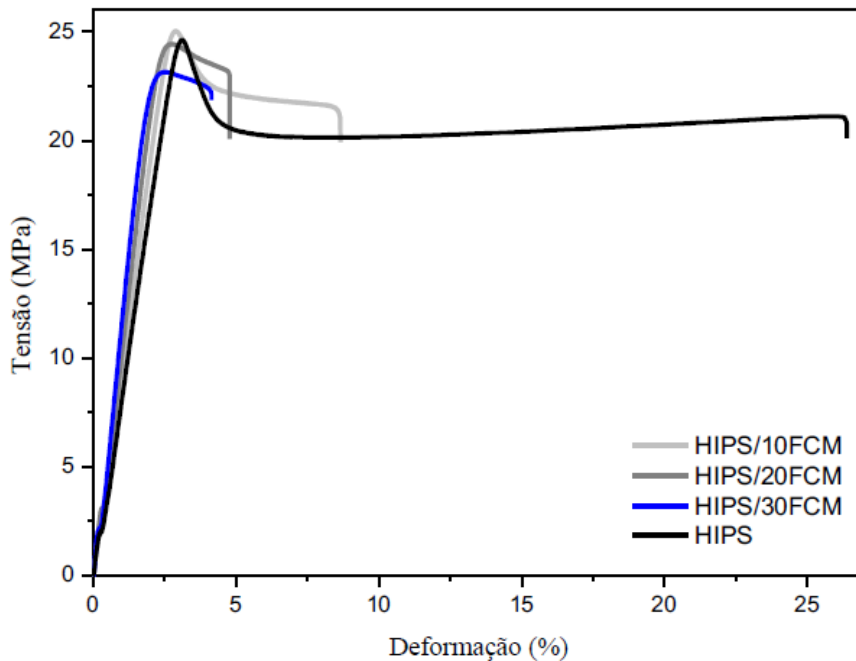
Tabela 4 - Resultados da resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.

AMOSTRAS	Energia Absorvida (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
HIPS PURO	1,887 ± 0,424	57,095 ± 12,917
CT-10	0,726 ± 0,105	22,076 ± 3,198
CT-20	0,705 ± 0,067	21,456 ± 2,032
CT-30	0,636 ± 0,095	19,350 ± 2,907

Fonte: o autor

No trabalho realizado por Benini (2011), o autor constatou através de ensaios de tração que, a adição de fibras de coco na matriz polimérica de HIPS praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima (parcela referente à deformação elástica), porém provocou uma redução em torno de 85% na deformação total do material, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Gráfico Tensão x Deformação para o HIPS e para os compósitos HIPS/fibra de coco verde.



Fonte: Benini, 2011.

Ainda segundo Benini (2011), com o aumento do volume de fibras foi possível observar uma redução na elongação total dos compósitos, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Alongamento total do HIPS puro e dos compósitos com fibras de coco, obtido no trabalho realizado por BENINI (2011).

AMOSTRAS	ALONGAMENTO TOTAL (%)
HIPS PURO	26,2 ± 8,1
CT-10	9,4 ± 0,7
CT-20	5,0 ± 0,3
CT-30	3,8 ± 0,2

Fonte: Adaptado de BENINI (2011).

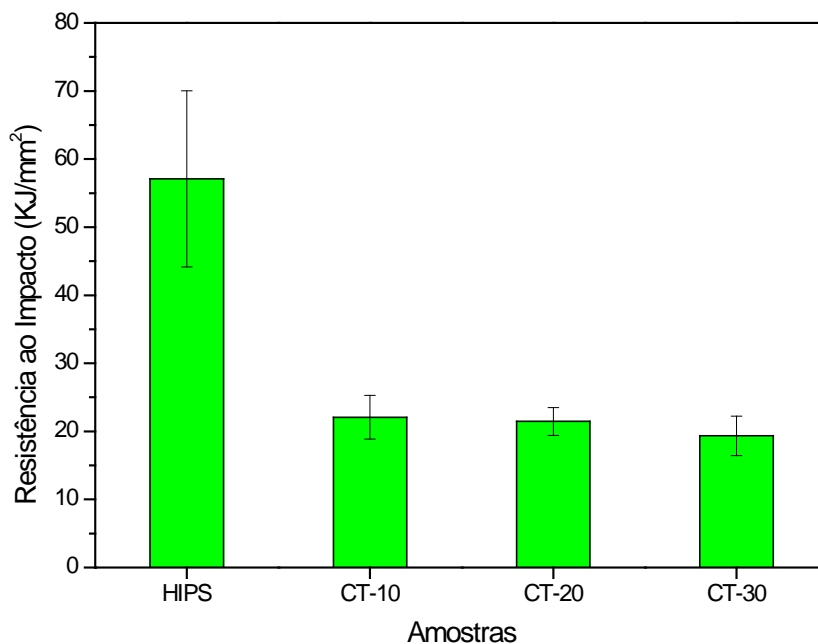
Este fenômeno pode ser associado, segundo mencionado no trabalho de Benini (2011) ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade do material e, conseqüentemente, acarretou a redução da resistência ao impacto, como mostrado na Tabela 5.

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 da curva tensão versus deformação, conforme mostrado na Figura 13.

A Figura 13 evidencia claramente a resistência ao impacto dos materiais, mostrando a influência da inserção de fibras de coco na resistência do HIPS.

Figura 13 - Resistência ao impacto do HIPS puro e dos compósitos HIPS/fibra de coco verde.



Fonte: o autor

4.4 Resultados dos ensaios de índice de fluidez

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios para a determinação do índice de fluidez do HIPS puro e dos compósitos de fibra de coco estudados. Pode-se observar uma tendência de redução do índice de fluidez com o aumento do teor de fibras de coco no HIPS.

O baixo índice de fluidez obtido nos compósitos 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 coco na matriz de HIPS que, por sua vez, apresenta um valor de IF de 6,70 g/10 min, a inserção de 10%, 20% e 30% de fibras de coco acarretaram uma redução no IF de 0,30%, 56,12% e 26,9%, respectivamente. A amostra CT-20 apresentou um resultado fora do esperado e por isso, será refeita. Dessa forma, a inserção de 10% de fibras de coco 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 em aproximadamente 27% ainda pode ser considerada viável, dependendo do tipo de peça que será injetada. Por exemplo, o compósito CT-30 poderá ser usado para peças que apresentam pouca complexidade e que não necessitem de espessuras de parede elevadas.

Tabela 6 - Resultados dos valores de índice de fluidez.

AMOSTRAS	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min)
HIPS PURO	6,70 ± 0,15
CT-10	6,68 ± 0,13
CT-20	2,94 ± 0,16
CT-30	4,90 ± 0,08

Fonte: o autor

5 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de fibras de coco verde no HIPS sobre algumas propriedades dos compósitos de HIPS reforçados com essas fibras e sua possível aplicação na indústria automobilística. Quanto à caracterização dos compósitos as principais conclusões foram:

A partir das análises de picnometria de hélio, verificou-se que a adição da fibra de coco ao HIPS não acarretou um aumento na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao HIPS puro.

A partir das análises de dureza Shore A, verificou-se que a adição da fibra de coco ao HIPS não acarretou alterações nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao HIPS puro.

A partir das análises de resistência ao impacto, verificou-se que a adição da fibra de coco ao HIPS acarretou uma diminuição na resistência ao impacto, quando comparados ao HIPS puro. Desta forma, para utilização no segmento automobilístico, esta aplicação seria viável na fabricação de materiais internos, pois para este tipo de utilização, acredita-se que tais materiais não sofrerão impacto quando comparados aos materiais externos. Como exemplos de aplicações em peças internas em automóveis, podem-se citar aqueles utilizados nos revestimentos de para sóis, bancos, revestimento do teto, revestimento do porta-malas entre outros e que não demande um percentual acentuado quanto a sua resistência.

Portanto, com a adição de fibras de coco verde 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.

E por fim, a partir das análises para a determinação do índice de fluidez, foi observado que a inserção de 10% de fibras de coco 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 em aproximadamente 27% ainda pode ser considerada viável, dependendo do tipo de peça que será injetada.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Processar novos compósitos de HIPS/fibra de coco verde com e sem tratamento utilizando-se um agente compatibilizante e comparar as suas propriedades com os compósitos de HIPS/fibra de coco verde tratadas, objetivando-se avaliar as influências do uso do agente compatibilizante e do tratamento das fibras de coco.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C.; FERRÃO, P. M. C.; SILVA, A. J.; REIS, L. G.; FREITAS, M.; RODRIGUES, L. B.; ALVES, D. E. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p.313-327, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652609003503>>. Acesso em: 07 set 2014.
- BAHIA NEGÓCIOS. Ano XVIII, nº 190. Salvador/BA, 2012. Disponível em: <http://www.bahianegocios.com.br/wp-content/uploads/2012/10/190.pdf>. Acesso em: 07 set 2014.
- BARBOSA JR, V.; RAMIRES, E. C.; RAZERA, I. A. T.; FROLLINI, E. Biobased composites from tannin–phenolic polymers reinforced with coir fibers. **Industrial Crops and Products**, In press, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010001366>>. Acesso em: 07 set 2014.
- BARROS, A. R. F. **Compósitos híbridos: desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM). Natal, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/1/11194/1/AlyssonRFB.pdf>>. Acesso em: 07 set 2014.
- BENINI, K. C. C. C. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <<http://www.bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/85465/desenvolvimento-e-caracterizacao-de-compositos-polimericos-r/>>. Acesso em: 07 set 2014.
- BESSADOK, A.; ROUDESLLI, S.; MARAIS, S.; FOLLAIN, N.; LEBRUN, L. Alfa fibres for unsaturated polyester composites reinforcement: Effects of chemical treatments on mechanical and permeation properties. **Composites: Part A**, v. 40, p.184-195, 2009.
- CALLISTER Jr. W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 5ª ed. Rio de Janeiro, R: LTC, 2002.
- CANEVAROLO Jr., S. V.; **Técnicas de Caracterização de Polímeros**, Artliber: São Paulo, 2004.
- CAPRONI, E. **Preparação de eletrólitos sólidos cerâmicos de zircônia estabilizada com cálcia**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo.

CASTILHOS, Lisiane Fernanda Fabro de. **Aproveitamento da fibra de coco.** Dossiê Técnico. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR 8/8/2011.

CLARO, Ana Carolina Rosifini Alves. Ensaio de Impacto. Departamento de Materiais e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista. Campus Guaratinguetá. Disponível em: www.debiq.eel.usp.br/~prado/AnaisFatea2000.doc. Acesso 07 set 2014.

DUARTE, Denise; IMAI, Estela Mari; NII, Patricia Megumi. **Fibras naturais e sua aplicação na arquitetura.** São Paulo: USP, 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos_Finais_2009/Fibras_Naturais.pdf>. Acesso em: 07 set 2014.

FERNANDES, R. I. M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais modificadas e híbridos:** Fibras da coroa do abacaxi/ Polipropileno e Fibras da Coroa do Abacaxi/ Fibras de Vidro/ Polipropileno. 2012. 53f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

FERRAZ, M. A. F. **Determinação de tensões residuais em materiais compósitos de matriz polimérica aplicando a técnica do furo incremental.** Estudo da influência do processo de furação. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Mecânica. Coimbra/Portugal, 2011. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/202581/Relat%C3%B3rio%20Final>>. Acesso em: 07 set 2014.

FONTENELE, R. E. S. Cultura do Coco no Brasil: Caracterização do Mercado Atual e Perspectivas Futuras. In: CONGRESSO DA SOBER, 43, 2005, Ribeirão Preto. Instituições, eficiência, gestão e contratos no sistema agroindustrial: anais. Ribeirão Preto. **Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, 2005. p. 1-20. Disponível em: sober.org.br/palestra/2/168.pdf. Acesso em: 07 set 2014.

FINOCCHIO, M. A. F. **Notas de aulas.** Disponível em <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/mafinocchio/disciplinas-da-graduacao/et35p-materiais-e-equipamento-elétricos/DUREZA.pdf>>. Acesso em 10/05/2016.

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. Disponível em: <www.sciencedirect.com/...rticle/pii/S1359835X07000747>. Acesso em: 07 set 2014.

GRUPO AURANTIACA. Disponível em: <<http://aurantiaca.com.br/empresas-do-grupo/frysk-industrial/produtos/>>. Acesso em: 03 out. 2016.

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.

LEÃO, R. M. **Tratamento superficial de fibra de coco e aplicação em materiais compósitos como reforço do polipropileno**. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica. Brasília, 2012. Disponível em: <repositorio.unb.br/handle/10482/11071>. Acesso em: 07 set. 2014.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, 313p.

LIMA, A. C. **Caracterização e propriedades de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Campos dos Goytacazes/RJ, 2009. Disponível em: <http://uenf.br/pros-graduacao/engenharia-de-materiais/files/201307Tese-Doutorado-Amanda-Camerini>. Acesso em: 07 set. 2014.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/po/v18n2/a05v18n2.pdf>. Acesso em: 07 set. 2014.

MARTINS, A.; TOSHIKO, W.; SILVA, P.; BORELLI, C.; MARCICANO, J. SANCHES, R. **Aproveitamento de fibra de coco verde para aplicabilidade têxtil**. **REDIGE** v. 4, n. 02, ago. 2013. Disponível em: <http://www.cetiqt.senai.br/ead/redige/index.php/redige/article/view/201>. Acesso em: 07 set 2014.

MOURA, Maria José; FIGUEIREDO, Maria Margarida. Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de E. globulus. *Silva Lusitana*, Lisboa, v. 2, n. 10, p.207-216, jun. 2002.

MULINARI, D. R.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H.; DA SILVA, M. L. C.P.; CRUZ, T. G.; SARON, C. Sugarcane bagasse cellulose/HDPE composites obtained by extrusion. **Composites Science and Technology**, v.69, p. 214-219, 2009.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C, **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, Editora Edgar Blucher, 2006 418p.

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.

RIBEIRO, Vanda F.; DOMINGUES JUNIOR, Nei S.; RIEGEL, Izabel C. Estudo da recuperação das propriedades de poliestireno de alto impacto (HIPS) através da incorporação de borracha termoplástica tipo estireno-butadieno-estireno (SBS). **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 186-192, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47022798012>>. Acesso em: 25 jul 2015.

ROVERE, J.; CORRÊA. C. A.; GRASSI, V. G.; PIZZOL, M. F. Caracterização morfológica do poliestireno de alto impacto. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 1, p. 12-19, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v18n1/07.pdf>. Acesso em 07 set 2014.

SALAZAR, Vera Lúcia Pimentel; LEÃO, Alcides Lopes. Aproveitamento da fibra de coco com látex para aplicação em assentos automobilísticos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES-RS, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-009.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2011.

SALEEM, Z.; RENNEBAUM, H.; PUDEL, F.; GRIMM, E. Treating bast fibres with pectinase improves mechanical characteristics of reinforced thermoplastic composites. **Composites Science and Technology**, v.68, p. 471-476, 2008.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, 661-671, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300010>. Acesso em: 07 set 2014.

SMITH, D., 1996. Characterization of Lactose by Helium Pycnometer. In Stephens, K. (ed.), **The Microreport: News and Ideas for Decision Makers**, 2nd Quarter, 7(2) Micro-meritics Instrument Corporation, USA.

SOARES, Ana Rita; SÁ, Fernanda; BALTAREJO, José; BARBOSA, Pedro; MARTINS, Ricardo; PEDROSA, Ricardo. Materiais Polímeros e Compósitos. Relatório. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2000. Disponível em: <https://web.fe.up.pt/~em00018/MCM2/relatorio.doc>. Acesso em 07 set. 2014.

SOUZA, Luciane Soares de; BORGES, Thábata Ferreira. Influência da adição de copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS) no poliestireno de alto impacto (HIPS) reprocessado. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Materiais. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2011. Disponível em: <http://biblioteca.univap.br/dados/000003/00000399.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2015.

UOL. **Rural Centro**. Disponível em: <<http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/industria-na-bahia-comeca-a-produzir-fibra-de-coco-em-janeiro-64030>>. Acesso em: 07 set 2014.

VENTURA, Ana Mafalda F. M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3/4, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/pdfctmv21n3-4v21n3-4a03>>. Acesso em: 07 set. 2014.

APÊNDICE A

MANUAL PARA HOMOLOGAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS: HIPS + FIBRA DA CASCA DE COCO VERDE PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

cartilha digital

1. Apresentação	02
2. Objetivo	03
3. Fibras Naturais	04
4. Coco Verde	05
5. Utilização da fibra de coco verde	06
6. Extração da fibra do coco verde	07
6.1. Método convencional	07
6.2. Método EMBRAPA	08
7. Tratamentos na fibra do coco verde	09
8. HIPS	10
9. Compósitos	11
10. Matriz e Reforço	12
11. Processamento dos compósitos	13
11.1. Termocinético	13
11.2. Extrusão	14
11.3. Injeção	15
12. Corpos de prova	16
13. Métodos e caracterizações	17
13.1. Massa	17
13.2. Dureza	18
13.3. Resistência	19
13.4. Fluidez	20
14. Aplicações	21
15. Conclusão	22

BUSCAR RECURSOS NATURAIS ALTERNATIVOS

A preocupação com a preservação do meio ambiente é uma questão global que tem feito com que grupos de pesquisas e indústrias invistam no desenvolvimento de novos materiais e métodos de produção que sejam considerados ecologicamente corretos.

A indústria automobilística está à procura de novas soluções tecnológicas

Possível substituição dos materiais utilizados atualmente para a confecção de peças utilizadas nos automóveis.

Fibras naturais vegetais, como a fibra da casca do coco verde, é uma excelente alternativa

Essas fibras, além de seu baixo custo, detém de propriedades mecânicas e térmicas excelentes.

... Objetivo

Apresentar métodos de ensaios de compósitos reforçados com fibra da casca do coco verde em matriz de poliestireno de alto impacto (HIPS) para possível substituição dos materiais utilizados na fabricação de peças no segmento automotivo.



Compósitos?

Reforço?

Matriz?

HIPS?

Esses "termos" serão explícitos ao decorrer desse manual.

Fibras Naturais

São fibras retiradas prontas da natureza.

Servem de matéria prima para manufatura.

Classificadas de acordo com a fonte de
extração

1 Fibras de origem animal:
como exemplo as fibras de pelo e seda.

2 Fibras de origem vegetal:
como exemplo as fibras de madeira, bambu,
sementes, frutas entre outros.

3 Fibras de origem mineral:
como exemplo o amianto.

COCO VERDE

O Brasil tornou-se um
um dos maiores produtores
de coco verde.



Produção anual
ultrapassando a marca de

3 milhões de toneladas.

Região Nordeste responsável por

65%

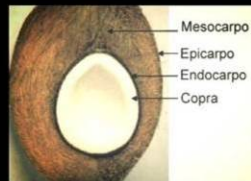
da produção nacional.

A industrialização da água de coco
no Brasil fez com que houvesse um
aumento no consumo de coco verde,
gerando também uma grande
quantidade de rejeitos



Composição do coco verde

A fruta é composta por epicarpo (a casca da fruta), mesocarpo (parte fibrosa), endocarpo (envolve a parte comestível) e copra (parte comestível da fruta).



Propriedades da fibra do coco verde

baixa densidade

maleabilidade

porosidade

retenção de água

Utilização da fibra do coco verde

**SUMA IMPORTÂNCIA, POIS REDUZ A
QUANTIDADE DE RESÍDUOS.**

PROCESSO NATURAL, BARATO E RENOVÁVEL

**REFORÇO NOS POLÍMEROS TORNANDO-OS
MAIS RESISTENTES**





Extração da fibra

Como ocorre?

Método convencional



Maceração
as cascas do coco verde
são imersas em água para
fermentação liberando
seus feixes fibrosos

processo químico para
remover coloração e
responsável pela
reorientação da fibra

Branqueamento

Desfibramento



onde as fibras são
separadas do pó

Existe outro processo de extração desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) onde foi criado um equipamento responsável pela obtenção do pó e da fibra da casca de coco verde. O processo se desenvolve em três etapas: trituração, prensagem e seleção.

Método produzido pela EMBRAPA

Desfibrador produzido pela EMBRAPA

- **Trituração:** a casca do coco é cortada e triturada
- **Prensagem:** elimina a concentração de sais tóxicos
- **Seleção:** as fibras são separadas do pó através de "peneirado"



EFEITO DOS TRATAMENTOS NAS FIBRAS



"in natura"



"in natura"



mercerizadas



branqueadas

HIPS...

Poliestireno de alto impacto

Matriz polimérica obtida a partir da polimerização *in situ* do estireno.

Maior resistência ao impacto

Resistente também a líquidos orgânicos, óleos e graxas.

Aplicado em componentes industriais, que necessitem maior resistência.

COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

Um material pode ser definido como compósito quando for constituído por dois ou mais componentes (fases) diferentes.

"FASES?"

Possuem como característica básica a combinação de pelo menos duas fases distintas, definidas como matriz e reforço

MATRIZ E REFORÇO

A matriz é responsável pela distribuição da carga pelo compósito, enquanto o reforço tem a função de resistir aos esforços solicitados

MATRIZ

A fase matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico responsável por fornecer estrutura ao material compósito.

REFORÇO

O reforço apresenta-se em diversas formas e, geralmente, é classificada em categorias: compósitos particulados e compósitos de fibras.

REFORÇO PROPICIA...



PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Termocinético



Matriz

+



Reforço

HIPS + FIBRA COCO VERDE



A mistura entre as fibras (mercerizadas e branqueadas) e o polímero ocorre dentro da cápsula bipartida, refrigerada externamente com água e após por um moinho granulador.



Compósito

PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Extrusão



Matriz

+



Reforço

HIPS + FIBRA COCO VERDE



Também é possível obter o composto através de mistura por extrusão.



Compósito

PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Injeção



Compósito



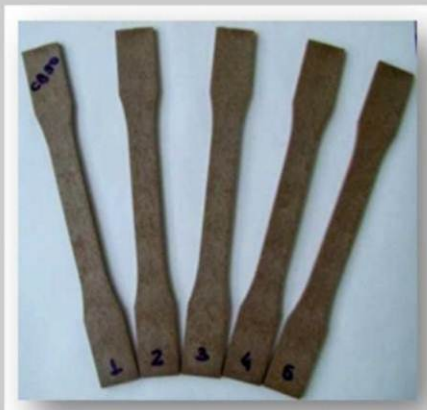
Através de uma máquina injetora foram inseridas amostras de compósitos para confeccção dos corpos de prova.



Corpos de prova

CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova produzidos com compósitos constituídos da matriz polimérica HIPS juntamente com o reforço das fibras de coco verde.



Foram submetidos a testes e análises para obtenção de: massa, dureza e resistência ao impacto.

MÉTODOS E CARACTERIZAÇÕES

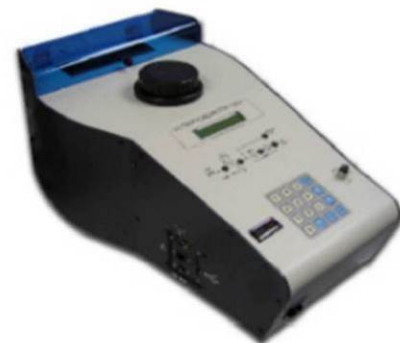
Massa específica

Determinação da massa específica é uma técnica que possibilita a obtenção da densidade de um sólido.

Amostras HIPS puro e
Compósitos HIPS/Fibras de coco
Média de 3 corridas

Temperatura = 20°C

Equipamento: Picnômetro de He -
Quantachrome Instruments



MÉTODOS E CARACTERIZAÇÕES

Dureza Shore

Determinação aproximada das características de ductilidade e resistência de materiais.

Amostras HIPS puro e
Compósitos HIPS/Fibras de coco
Média de 3 leituras

Temperatura = 20°C

Equipamento: Durômetro portátil - CV
Instrument Limited



MÉTODOS E CARACTERIZAÇÕES

Resistência ao impacto

Teste de aceitação de materiais.
Responsável por indicar a energia
necessária para quebrar corpos de prova.

Amostras HIPS puro e Compósitos HIPS/
Fibras de coco

Média de 5 CDP's ensaiados

Temperatura = 20°C

Equipamento: PANTEC para ensaio de
impacto Izod – martelo de 5,5 J



MÉTODOS E CARACTERIZAÇÕES

Índice de Fluidiez

Relação entre viscosidade e massa molecular do material.

O índice de fluidez é um indicativo para a condição de processamento dos materiais nos processos de moldagem por injeção dos compósitos.

Amostras HIPS puro e Compósitos HIPS/
Fibras de coco

Norma ASTM D 1238:2013, método A.
Temperatura média 200°C, 5Kg,
tempo de corte 30 segundos.

Equipamento: Aparelho para ensaios
de índice de fluidez DMS

APLICAÇÃO NO SETOR AUTOMOTIVO



Estofamento
dos assentos

Frisos



Retrovisores



Parachoques

Maçanetas



Revestimento
interior do veículo



CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados obtidos até o momento, foi possível avaliar o efeito da adição de fibras de coco verde no HIPS, algumas propriedades dos compósitos de HIPS reforçados com essas fibras e sua possível aplicação na indústria automobilística.