CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO-FIBRA DE BURII COM ADIÇÃO DE OCTADECILAMINA

Fábio de Oliveira (IC) e Terezinha Jocelen Masson (Orientador)

Apoio:PIVITI Mackenzie

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu e estudou compósitos reforçados, tendo como matriz o polipropileno (PP) e, atuando como fazer dispersa, a fibra de Buriti (F_B), de origem natural, que foi tratada com octadecilamina (ODA). A fibra de buriti (F_B) foi tratada com octadecilamina (ODA) para melhorar a sua homogeneização na matriz polipropileno. Os compósitos foram desenvolvidos em Reômetro de Torque Haake, preparados em Extrusora de Rosca Dupla. A fibra de buriti foi incorporada ao PP utilizando-se o misturador MIX. Os compósitos obtidos foram C_1 (100%PP), C_2 (90%PP+10%F_B*); C_3 (80%+20%F_B*). Os compósitos foram caracterizados pelos ensaios morfológico (índice de fluidez), ensaios mecânicos (resistência à tração, resistência à flexão, resistência ao impacto, dureza) e ensaios térmicos (Temperatura de Distorção ao Calor sob Carga-HDT, Ponto de Amolecimento Vicat-PVA). A preparação dos compósitos possibilitou que, na moldagem por injeção, fossem obtidos corpos-de-prova com aspecto visual satisfatório e com bom acabamento e de acordo com os ensaios de processabilidade, os compósitos reforçados podem ser processados em condições similares ao polipropileno puro. De uma forma geral, a incorporação da fibra de buriti enriquecida com ODA, provocou um aumento na resistência dos compósitos, podendo ser utilizados para diversas aplicações.

Palavras-chave: Polipropileno. Fibra de Buriti. Octadecilamina.

ABSTRACT

The present work developed and studied reinforced composites based on polypropylene (PP) and, acting as a dispersant, Buriti fiber (FB), of natural origin, which was treated with octadecylamine (ODA). Buriti fiber (FB) was treated with octadecylamine (ODA) to improve its homogenization in the polypropylene matrix. The composites were developed in Haake Torque Rheometer, prepared in Double Screw Extruder. Buriti fiber was incorporated into PP using the MIX mixer. The composites obtained were C1 (100% PP), C2 (90% PP + 10% FB *); C3 (80% + 20% FB *). The composites were characterized by morphological tests (melt index), mechanical tests (tensile strength, flexural strength, impact strength, hardness) and thermal tests (HDT Load Distortion Temperature, Vicat-PVA Softening Point).). The preparation of the composites made it possible for injection molding to obtain specimens with satisfactory visual

appearance and good finish and, according to processability tests, the reinforced composites can be processed under conditions similar to pure polypropylene. In general, the incorporation of ODA-enriched buriti fiber has increased composites strength and can be used for a variety of applications.

Keywords: Polypropylene. Buriti fiber. Octadecylamine.

1. INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento e o desenvolvimento de novos materiais são impulsionados pelos limites de aplicação dos materiais tradicionais. Os materiais poliméricos compósitos estão sendo cada vez mais utilizados nas indústrias automobilísticas e aeronáutica. A utilização de fibras vegetais como material de reforço em termoplásticos tem despertado interesse de empresas e pesquisadores de diversos ramos de atuação em resposta a preservação ambiental e é uma alternativa renovável, biodegradável e de baixo custo. Esses materiais apresentam fase dispersa que geralmente são fibras, que promovem a redução do peso do material, aumentando as propriedades mecânicas e a resistência química, que são fatores que levaram ao estudo e ao desenvolvimento de novos materiais (CALLISTER JR, 2012).

O polipropileno, um dos materiais poliméricos mais comercializados, apresenta-se como um dos materiais mais utilizados no estudo de compósitos reforçados. Os compósitos de polipropileno são desenvolvidos utilizando resinas diferenciadas, que permitem uma ampla gama de variações estruturais e morfológicas nos diferentes tipos de homopolímeros e copolímeros produzidos. Entre os polímeros, o polipropileno (PP) é um dos mais estudados quando pretende-se obter polímeros carregados e/ou reforçados (MASSON, 1998).

Os materiais de reforço, modificam determinadas propriedades da matriz polimérica. As cargas minerais reforçantes proporcionam aumento na rigidez, dureza e, algumas vezes, aumento na temperatura de distorção térmica. As fibras, pela sua característica unidirecional, incrementam acentuadamente a maior parte das propriedades mecânicas em determinadas direções (MASSON, 1998).

O buriti (Mauritia Flexuosa) é uma palmeira de ampla ocorrência na América do Sul, alcançando até 40m de altura na região amazônica. Destaca-se devido aos usos de diversas partes da planta: do fruto - polpa e óleo; do pecíolo – móveis e utensílios; das folhas - cobertura de casas e fibras. No Brasil os principais produtos são: a fibra - na Amazônia, a polpa e o óleo cosmético - no Cerrado. Os maiores produtores de fibra são o Pará, Maranhão e Bahia, sendo que a Mesorregião dos Lençóis Maranhenses é responsável por 27,8% da produção nacional. (BARBOSA, 2011).

A octadecilamina é um sal produzido por hidrogenação catalítica da octadecanonitrila ($C_{18}H_{35}N$) que é um produto obtido a partir do ácido esteárico, que é um ácido graxo saturado encontrado no sebo bovino, no coco e na soja.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POLÍMEROS

São materiais que apresentam uma longa cadeia formada por elevado número de unidades repetitivas denominadas monômeros, formando uma macromolécula orgânica, que pode ser de origem natural ou sintética. Como o polipropileno é muito versátil a nível molecular, tem sido reconhecido como um bom material polimérico (ULLOA et al, 2004). Os polímeros são formados por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e outros elementos não metálicos, com ligação química covalente entre cada cadeia, enquanto que a ligação intercadeias é fraca. O grau de polimerização é definido como o número médio de unidades repetitivas que constituem as cadeias, macromoléculas que formam o material polimérico (ANTUNES, 2012).

O mercado atual exige a aplicação de materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais, ressaltando a necessidade de materiais mais rígidos, mais leves, mais resistentes, e que ao mesmo tempo não sejam facilmente corroídos. As combinações e as faixas dos valores das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas por meio dos materiais compósitos.

Os compósitos podem ser considerados como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que os constituem de tal forma que seja obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

2.2 POLIPROPILENO (PP)

O polipropileno é uma das matrizes poliméricas mais estudadas e utilizadas para a obtenção de polímeros carregados ou reforçados. É uma poliolefina obtida pela polimerização do monômero propileno (C_3H_6) com grande variedade de massa molar, polidispersão e cristalinidade (BEATRICE et al, 2010). É um termoplástico, semicristalino com densidade na faixa de 0.90 a 0.91 g/cm³ e índice de refração de 1,45. A sua temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão estão em torno de -18°C e 165°C, respectivamente (CALISTER, 2012).

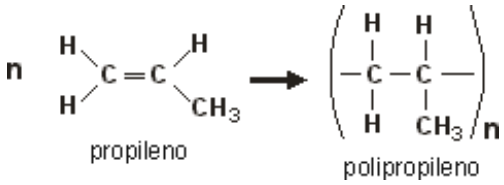
Os tipos de polipropileno são:

a) *homopolímeros:* sua polimerização é feita apenas com o propeno – monômero do polipropileno, e sua cadeia polimérica é composta por meros do mesmo tipo;

b) *copolímeros:* sua cadeia é composta principalmente por propeno e eteno em sua polimerização (tem sua cadeia composta por dois ou mais meros diferentes).

Devido a longa cadeia e o emaranhamento dos polímeros, os polímeros não são totalmente cristalinos. A temperatura de fusão do polímero (Tm) é sempre maior que a temperatura de transição vítrea (Tg). Assim, o polímero pode ser rígido e duro ou flexível. O desenvolvimento da cristalinidade em polímeros depende da regularidade da estrutura no mesmo.

O esquema 1 apresenta a equação da reação de obtenção do polipropileno.



Esquema 1: Reação de obtenção do polipropileno

2.3 MATERIAIS DE REFORÇO

São denominados materiais de reforço os constituintes que modificam determinadas propriedades da matriz polimérica. Os materiais de reforço, ou fase descontínua do compósito, dividem-se em dois grupos distintos: os fibrosos e os particulados. Ambos conferem à matriz polimérica propriedades mecânicas superiores às do material polimérico sem reforço. São vários os tipos de reforços e compreendem materiais orgânicos e inorgânicos (BARBOSA, 1995).

Em termos práticos a diferenciação entre um material fibroso e um particulado é dada pela razão de aspecto (**l/d**, onde **l** é o comprimento e **d** é o diâmetro):

l/d *: razão de aspecto* ***l/d*** □ ***1***

□ *material particulado* ***l/d*** □ ***1***

□ *material fibroso*

O material considerado é fibroso se a razão for maior que a unidade e particulado se for próxima ou inferior à unidade. As fibras podem ser contínuas ($l/d \rightarrow \square$) ou curtas (l/d □ 100). Ambos os reforços são envolvidos por uma matriz polimérica contínua.

Os reforços particulados proporcionam reforçamentos isotrópicos enquanto que os reforços fibrosos e laminados favorecem a reforçamentos anisotrópicos.

2.3.1 Fibras de Reforço

A principal função das fibras de reforço é levar a carga ao longo da direção do reforço, para elevar as propriedades mecânicas (resistência e rigidez). As propriedades são controladas através da distribuição e geometria das fibras.

Fibras naturais, também denominadas de fibras, fibras naturais ou fibras vegetais, têm sido cada vez mais utilizadas como reforçadores para termoplásticos, devido ao baixo custo da matéria-prima, sua biodegradabilidade e pelas boas propriedades mecânicas conferidas ao compósito (MANO, 2000). As fibras não são abrasivas a equipamentos e permitem o desenvolvimento de compósitos mais baratos, com menor densidade e maior tenacidade.

Durante os processos de moldagem convencionais as fibras passam por inúmeros esforços mecânicos e ataques termoquímicos, necessitando o estudo de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (GIACOMIN, 2003). Entre a grande variedade de fibras vegetais existentes, foi escolhida para ser caracterizada neste trabalho a fibra de buriti.

O Brasil, com seu solo fértil e condições ideais para o cultivo de várias espécies de plantas, é grande produtor de fibras, com uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km^2, dos quais cerca de 6% são terras aráveis, 22% pastagens permanentes e 58% florestas e bosques (BARBOSA, 2011, MONTEIRO, et al, 2009). O uso de fibras lignocelulósicas como reforço para materiais poliméricos como substituto de fibras sintéticas vem crescendo nos últimos anos. Entretanto, as fibras lignocelulósicas apresentam pontos de incompatibilidade com algumas matrizes poliméricas, como por exemplo, a alta absorção de umidade pelas fibras (KOZLOWSKI et.*al*., 2004).

O desenvolvimento de matriz-reforço requer uma excelente aderência entre matriz polimérica e fibra, o que é um grande problema – a adesão da fibra na matriz polimérica, pois a má aderência na interface significa que a plena capacidade do composto não pode ser explorada e o compósito fica vulnerável a ataques ambientais que pode enfraquecê-lo, reduzindo sua vida útil. Pouca aderência entre polímeros hidrofóbicos e hidrofílicos resultam em baixo desempenho mecânico devido à má ou boa interação com a água. Estas propriedades podem ser melhoradas através de tratamentos físicos e químicos (SATYANARYANA et. *al*., 2005).

As propriedades físicas das fibras vegetais são determinadas principalmente pela composição química e física, tais como a estrutura das fibras, celulose, ângulo das fibrilas e pelo grau de polimerização. A estrutura física das fibras vegetais pode ser modificada usando tratamento alcalino e processos de acetificação. Com exceção do algodão, os componentes das fibras vegetais são a celulose, hemicelulose, lignina, pectina, ceras e substâncias solúveis em água. A celulose e a hemicelulose são componentes básicos no que se diz respeito às propriedades físicas das fibras (MONTEIRO, et al, 2010).

A celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ é um polímero de cadeia longa composto de um só monômero (glicose), classificado como polissacarídeo ou carboidrato e é o componente essencial de todas as plantas e o polímero natural existente em maior abundância, possui fortes ligações

de hidrogênio, sendo altamente hidrofílica (MONTEIRO, et al, 2011). A unidade elementar da macromolécula da celulose é a anidro-*d*-glicose, que contém três radicais hidroxilas (-OH). Estas hidroxilas formam ligações de hidrogênio dentro das moléculas (intra-moleculares) e é um dos principais constituintes das paredes celulares das plantas (33% do peso da planta), em combinação com a lignina, com hemicelulose e pectina (BARBOSA, 2011).

2.3.2 Fibras de Buriti

As utilizações de materiais biodegradáveis, como a fibra de buriti, que se destaca devido ao seu custo/benefício, facilidade de fabricação e a sua facilidade de degradação sem emissão de poluentes (ZANATA, 2008; REEBERG, 2010). Encontrada principalmente no norte do Brasil e em parte da América Latina, é uma das fibras cuja aplicação em materiais compósitos vem sendo estudada (BARBOSA, 2011). A estrutura das fibras naturais é composta por três grupos principais: celulose, hemicelulose e lignina. Esses grupos conferem à fibra um caráter hidrofílico, incompatível com a natureza hidrofóbica da matriz polimérica.

Assim, torna-se importante a o desenvolvimento e a análise de compósitos de PP/fibras de buriti. Apesar do potencial de uso do fruto de buriti como um alimento e como cosmético, no Brasil, a fibra é o principal produto comercializado. A Fotografia 2 apresenta a fibra de buriti in natura.

Fotografia 2 – Aplicações da Madeira-Plástica (BARBOSA, 2011)

Poucos estudos mostram o potencial de reforço da fibra de buriti, abordando a possibilidade de substituição das fibras sintéticas. De acordo com os estudos de Santos e outros (2008)a, pela caracterização microestrutural e mecânica da fibra de buriti para utilização como reforço em compósitos poliméricos, o valor médio encontrado para resistência a tração foi de 684 Mpa e o valor médio encontrado para o Módulo de Elasticidade foi de 36,26 GPa, que são próximos dos valores encontrados em outras fibras.

A fibra de buriti apresentou densidade inferior à densidade da água 0,770 g/cm^3 o que resultou em valores específicos de resistência e módulo sob tração Tabela 1. Estes valores estão coerentes com os citados por Mueller et al., (2003), para fibras de Juta, fibras de linho, fibras de sisal.

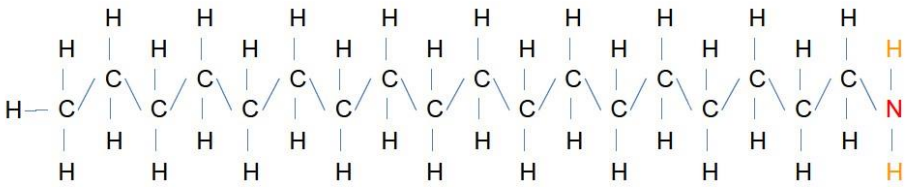
De uma forma geral, as fibras de buriti apresentam densidade entre 0,63 e 1,12 g/cm^3, tensão máxima entre 129 e 254 Mpa e uma relação entre tensão máxima e densidade de 403 MPa. g/cm^3.

A interface é a região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito, sendo a transferência dos esforços aplicados à matriz feita através desta região. Possíveis acúmulos de tensões, dificuldade de adesão ou umidade excessiva também podem influenciar as propriedades mecânicas. A qualidade da interface pode ser determinada por fatores químicos e físicos que, por sua vez, estão relacionados com a área da superfície, pureza do reforço, molhabilidade da matriz e diferenças nas propriedades térmicas e mecânicas dos materiais constituintes (BLEDZKI, GASSAN, 1999).

Os tratamentos físicos atuam na superfície das fibras, resultando em mudanças estruturais, que influenciam na ligação mecânica com os polímeros (BARBOSA, 2011).

2.4 OCTADECILAMINA (ODA)

A octadecilamina é um sal produzido por hidrogenação catalítica da octadecanonitrila (C18H35N) que é um produto obtido a partir do ácido esteárico, que é um ácido graxo saturado encontrado no sebo bovino, no coco e na soja. O Nitreto utilizado na obtenção de octadecilamina é obtido a partir da passagem da amônia sobre o metal aquecido. A fórmula da octadecilamina é apresentada no Esquema 1



Esquema 1. Estrutura da octadecilamina.

A octadecilamina vem sendo utilizada cada vez mais na organofilização de argilas. Este processo consiste em fixar moléculas orgânicas com grupos polares aos cátions interlamelares (trocáveis) das argilas (PAIVA, MORALES, DIAZ, 2008).

Este trabalho está baseado na utilização da fibra de buriti (FB) como material de reforço para a matriz de polipropileno (PP). Serão analisadas as propriedades mecânicas e o índice de fluidez dos corpos-de-prova, tendo como objetivo desenvolver e verificar o desempenho dos compósitos obtidos com a adição de octadecilamina, do termoplástico polipropileno modificado pela presença da fibra de buriti,

3. METODOLOGIA – MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica em livros, revistas especializadas, sites, *papers*, artigos da internet e normas técnicas.

A parte experimental foi desenvolvida nos Laboratórios de Ensaio de Materiais da Escola de Engenharia da UPM, com a realização de ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto Izod), ensaios térmicos (HDT e Vicat) e ensaios reológicos (índice de fluidez), realizados de acordo com as normas ASTM e ABNT.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Materiais Utilizados

Material	Fornecedor	Observações
Matriz Polimérica Polipropileno (PP)	Empresa Borealis Brasil S. A.	Tipo: copolímero – CP741, material: PX2524 Lote: 125054-1; IF: 0,6 – 1,1 g/10min (230°C/2,16kg)
Fibra de Buriti	Empresa Sisalsul Fibras Naturais.	Densidade Aparente: 0,63 a 1,12) g/cm^3 Tensão Máxima: 129 a 254 MPa
Octadecilamina	Merck	

As formulações utilizadas são constantes da Tabela 2, sendo Polipropileno (PP), Fibra de Buriti (F_B) e Fibra de Buriti enriquecida com octadecilamina (F_B*).

Tabela 2: Composição das formulações Experimentais Obtidas

Denominação	Formulações	Composição
C_o - PP_{puro}	Polipropileno puro	100% PP
C_1	PP + Fibra de Buriti enriquecida com octadecilamina	90% PP + 10% F_B*
C_2	PP + Fibra de Buriti enriquecida com octadecilamina	80% PP + 20% F_B*

3.2 MÉTODOS

O compósito foi desenvolvido em uma Homogeinizadora modelo MH-600-H, marca M. H. Equipamentos Ltda., preparado em Extrusora de Dupla Rosca e injetados em corpos de prova.

A carga de reforço utilizada – fibra de buriti, foi previamente tratada, para melhoria de suas características de acoplagem à matriz polimérica de polipropileno. O tratamento da fibra de buriti com octadecilamins (ODA), foi realizado de acordo com método desenvolvido por Zapata e outros (2008), utilizando-se uma massa m = 750g de fibra de buriti:

a) O enriquecimento da fibra de buriti com octadecilamina foi feito em uma solução 1:2 em volume água:álcool em uma manta térmica à temperatura aproximada de 80°C, durante dois dias (48h), seguido de dois dias de secagem em estufa;

b) A fibra de buriti enriquecida com ODA (WF*) foi adicionada ao polímero polipropileno
e estocado para extrusão.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ

Os ensaios para a medida referencial do índice de fluidez (IF) foram realizados no Plastômetro Tinius Olsen, modelo MP993a. Os ensaios seguiram a norma ASTM D1238, utilizando a condição E (temperatura T = 190ºC e massa M = 2,160kg). Os compósitos estavam na forma de grânulos irregulares, coletados após a etapa de moagem.

Foram realizados 5 ensaios para cada composição, na condição L (T = 230ºC e carga de 2,160 kg), na forma de grânulos, coletado após a etapa de extrusão das formulações em rosca dupla.

A Tabela 3 apresenta os valores médios do índice de fluidez nas condições g/10min, 230°C, 2,16 kgf, obtidos para os compósitos PP_{puro}; PP/WF, PP/WF*.

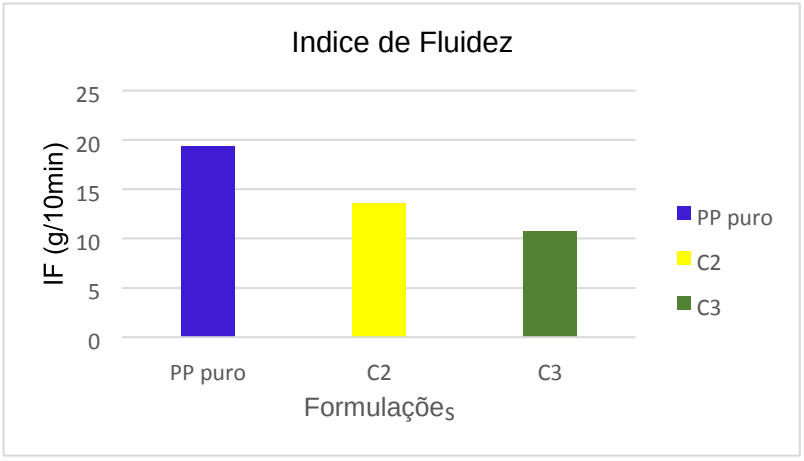
Tabela 3 – Resultados dos Ensaios de Índice de Fluidez

Formulações	C_1 PP_{puro}	C_2 90%PP/10%F_B*	C_3 80%PP/20%F_B*
IF (g/10min)	19,35 □ 0,01	13,60 □ 0,05	10,72 □ 0,09

A partir da Tabela 3, construiu-se o Gráfico 1.

A partir da Tabela 3 e do Gráfico 1, observou-se um decréscimo de aproximadamente 30% entre os valores do compósito C_2 em relação aos valores do PP_{puro} e um decréscimo de aproximadamente 44% do compósito C_2 em relação aos valores do PP_{puro}.

Gráfico 1 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios Índice de Fluidez
entre o PP_{puro} e as Formulações C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração foram realizados segundo a ASTM D 638-94, com 10 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova foi determinado a resistência à tração na ruptura - σ_T (MPa), o alongamento na ruptura - ε_B (Mpa) e módulo de tração na ruptura - σ_T (Mpa). As medições foram realizadas em Máquina Universal de Ensaios – Zwick/Roell, com pré-carga de 0,1Mpa, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da UPM.

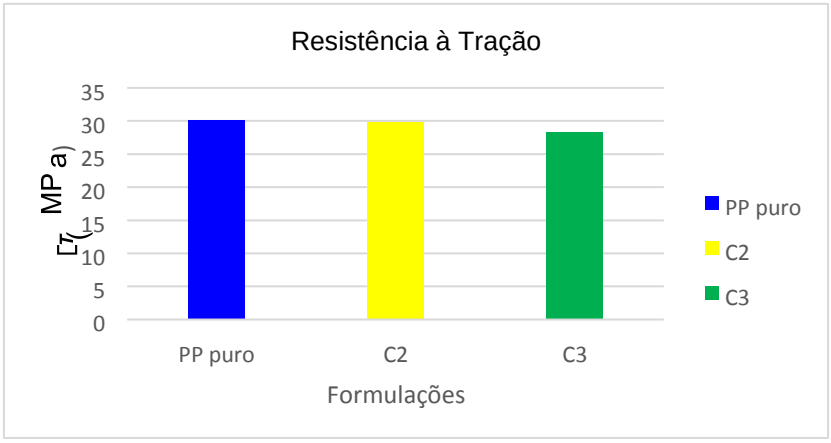
A Tabela 4 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão da resistência à tração na ruptura - σ_T (MPa), do alongamento na ruptura - ε_B (Mpa) e do módulo de tração na ruptura - σ_T (Mpa) obtidos para o polipropileno puro e as formulações C_2 (90%PP/10%F_B*), C_2 (80%PP/20%F_B*).

Tabela 4 - Valores Médios dos Ensaios de Resistência à Tração (MPa), do Alongamento na Ruptura (MPa) e do Módulo de Tração na Ruptura (Mpa).

Formulações	Resistência à Tração σ_T (MPa)	Alongamento sob Tração na Ruptura ε_B (%)	Módulo de Tração na Ruptura σ_T (Mpa)
PP_{puro}	30,1 □ 0,5	2,73 □ 3,4	2980 □ 90
C_2 (90%PP/10%F_B*)	29,8 □ 0,7	2,6 □ 0,2	4140 □ 21
C_3 (80%PP/20%F_B*)	28,4 □ 0,8	2,0 □ 0,4	4640 □ 31

A partir da Tabela 4, elaborou-se o Gráfico 2, da comparação da resistência à tração entre entre o PP_{puro} e as Formulações C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*).

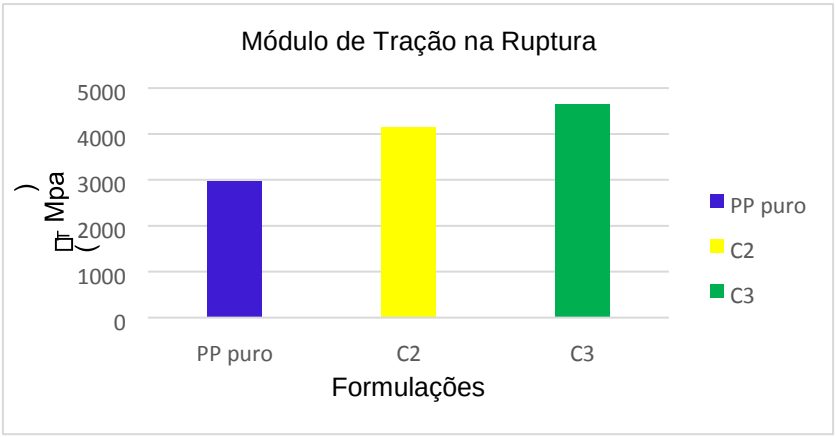
Gráfico 2 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência à Tração entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 4 e do Gráfico 2, observou-se um decréscimo na resistência à tração, de aproximadamente 1% no compósito C_2 e 5% nos valores do compósito C_3 em relação do PP_{puro}. A resistência à tração do compósito C_3 foi aproximadamente 5% menor que a do compósito C_2.

A partir da Tabela 4, elaborou-se o Gráfico 3, da comparação do módulo de tração na ruptura entre entre o PP_{puro} e as Formulações C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*).

Gráfico 3 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios de Módulo de Tração na Ruptura entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 4 e do Gráfico 3, observou-se um aumento no módulo de tração na ruptura, de aproximadamente 40% no compósito C_2 e 56% nos valores do compósito C_3 em relação do PP_{puro}. O módulo de tração na ruptura do compósito C_3 foi aproximadamente 12% maior que a do compósito C_2.

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO

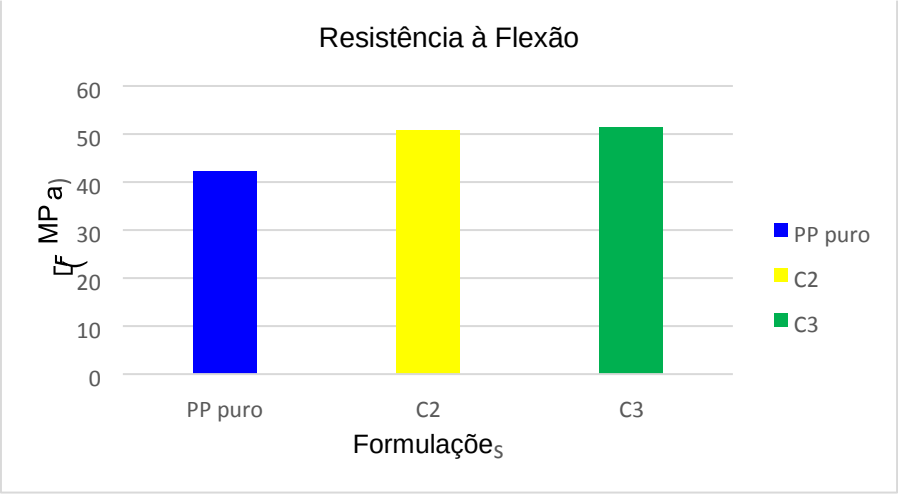
Os ensaios de flexão foram realizados segundo a ASTM D790, com 10 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova foi determinado a resistência à flexão - σ_F (MPa) e módulo de flexão - σ_F (Mpa). As medições foram realizadas em Máquina Universal de Ensaios – Zwick / Roell, com pré-carga de 0,1N, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie. A Tabela 5 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão da resistência à flexão e do módulo de flexão obtidos para o polipropileno reciclado puro e formulações C_2 e C_3.

Tabela 5 - Resultados de Resistência à Flexão (MPa) e do Módulo de Tração na Ruptura (Mpa).

Formulações	Resistência à Flexão σ_F (MPa)	Módulo de Flexão σ_F (Mpa)
PP_{puro}	42,2 ± 1,6	1290 ± 91
C_2(90%PP/10%F_B*)	50,8 ± 0,6	2020 ± 65
C_3 (80%PP/20%F_B*)	51,4 ± 0,9	1960 ± 16

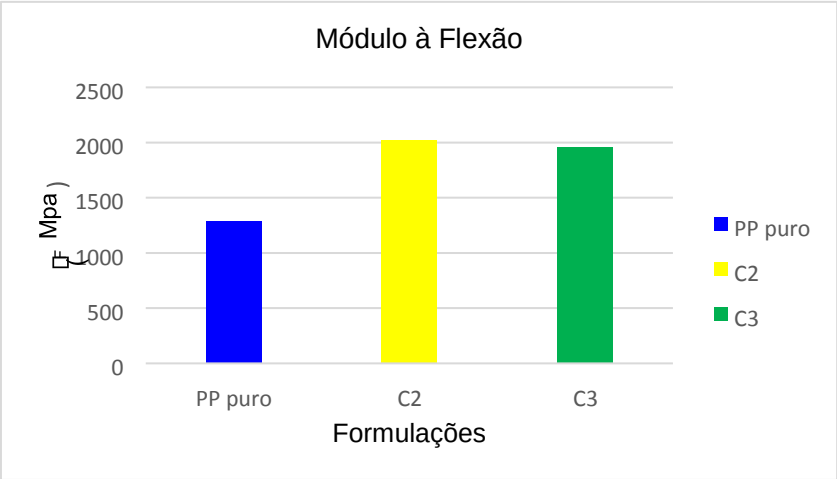
A partir da Tabela 4, elaborou-se o Gráfico 4 da resistência à flexão e o Gráfico 5 do módulo de resistência à flexão.

Gráfico 4 –Comparação dos Valores Obtidos nos Resistência à Flexão entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 5 e do Gráfico 4, observou-se um aumento na resistência à flexão, de aproximadamente 20% no compósito C_2 e 22% nos valores do compósito C_3 em relação do PP_{puro}. A resistência à flexão do compósito C_3 foi aproximadamente 1,2% maior que a do compósito C_2

Gráfico 5 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios do Módulo à Flexão entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 5 e do Gráfico 5, observou-se um aumento na resistência à flexão, de aproximadamente 57% no compósito C_2 e 52% nos valores do compósito C_3 em relação do PP_{puro}. A resistência à flexão do compósito C_3 foi aproximadamente 3% menor que a do compósito C_2

4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE IMPACTO IZOD

Os ensaios de Impacto foram realizados segundo a norma ASTM D 2240-97, com 10 medidas para cada composição. A Tabela 6 apresenta os valores médios dos ensaios de Impacto obtidos para o polipropileno PP_{puro} e as formulações C_2 (90%PP/10%F_B*), C_2 (80%PP/20%F_B*).

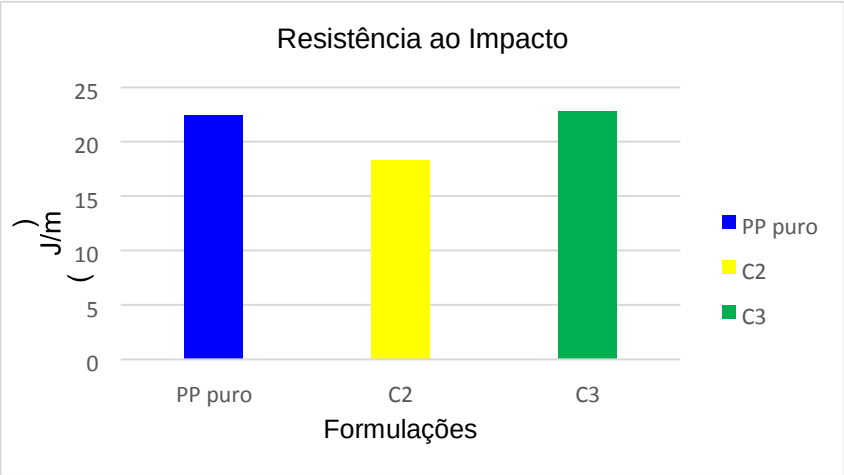
Tabela 6 - Resultados dos Ensaios de Impacto

Formulações	PP_{puro}	C_2(90%PP/10%F_B*)	C_3 (80%PP/20%F_B*)
Impacto Izod (J/m)	22,568 ± 1,377	18,333 ± 2,033	22,838 ± 1,218

A partir da Tabela 6, elaborou-se o Gráfico 6.

A partir da Tabela 6 e do Gráfico 6, observou-se uma redução na resistência à flexão, de aproximadamente 19% no compósito C_2 e um acréscimo de 1% nos valores do compósito C_3, ambos em relação do PP_{puro}. A resistência à flexão do compósito C_3 foi aproximadamente 25% maior que a do compósito C_2.

Gráfico 6 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios do Impacto Izod entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



4.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA

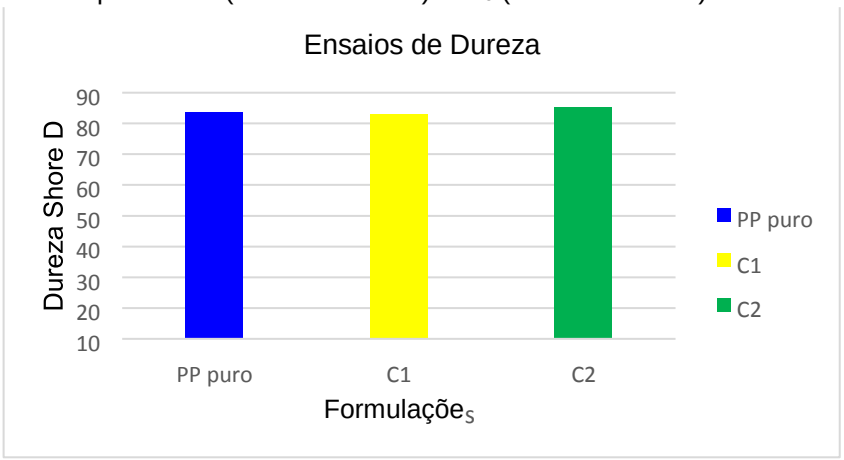
Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D 2240-97, com 5 medidas para cada composição.

A Tabela 7 apresenta os valores médios dos ensaios de dureza Shore D obtidos para o polipropileno PP_{puro} e as formulações C_2 (90%PP/10%F_B*), C_3 (80%/20%F_B*). Tabela 7 - Resultados dos Ensaios de Dureza Shore D

Formulações	PP_{puro}	C_2(90%PP/10%F_B*)	C_3(80%PP/20%F_B*)
Dureza	83,5 ± 1,1	83,1 ± 4,0	85,1 ± 0,5

A partir da Tabela 7, elaborou-se o Gráfico 7.

Gráfico 7 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios de Dureza entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 7 e do Gráfico 7, observou-se uma redução nos valores de dureza, de aproximadamente 0,5% no compósito C_2 e um acréscimo de 2% nos valores do compósito C_3, ambos em relação do PP_{puro}. Portanto os valores praticamente se equivalem.

4.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA

Os ensaios de Temperatura de Deflexão Térmica ou Distorção ao Calor (HDT) foram realizados segundo a ASTM D ASTM D790, com 5 ensaios para cada composição, no Medidor de Temperatura de Distorção Térmica (HDT) e Temperatura Vicat, marca TINIUS OLSEN, modelo HDT 6 Vicat P/N 6921, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da UPM.

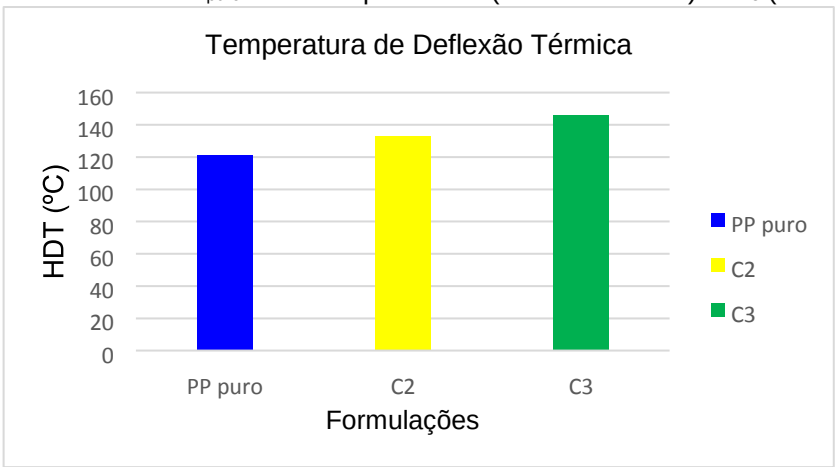
A Tabela 8 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão da Temperatura de Distorção ao Calor (HDT) dos valores obtidos para o polipropileno puro e formulações C_2 , C_3.

Tabela 8 - Resultados dos Ensaios Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)

Formulações	PP_{puro}	C_2(90%PP/10%F_B*)	C_3 (80%PP/20%F_B*)
HDT (ºC)	121 ± 6	133 ± 2	146 ± 2

A partir da Tabela 8, elaborou-se o Gráfico 8.

Gráfico 8 – Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios de Temperatura de Deflexão Térmica entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 8 e do Gráfico 8, observou-se uma redução nos valores de dureza, de aproximadamente 10% no compósito C_2 e de 20% nos valores do compósito C_3, ambos em relação do PP_{puro}. A temperatura de deflexão térmica do compósito C_3 foi aproximadamente 10% maior que a do compósito C_2.

4.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT

Os ensaios de Temperatura de Amolecimento Vicat foram realizados segundo a ASTM D 1525, com 5 ensaios para cada composição. As medições foram realizadas no Medidor de Temperatura de Distorção Térmica (HDT) e Temperatura Vicat, marca TINIUS OLSEN, modelo HDT 6 Vicat P/N 6921, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da UPM.

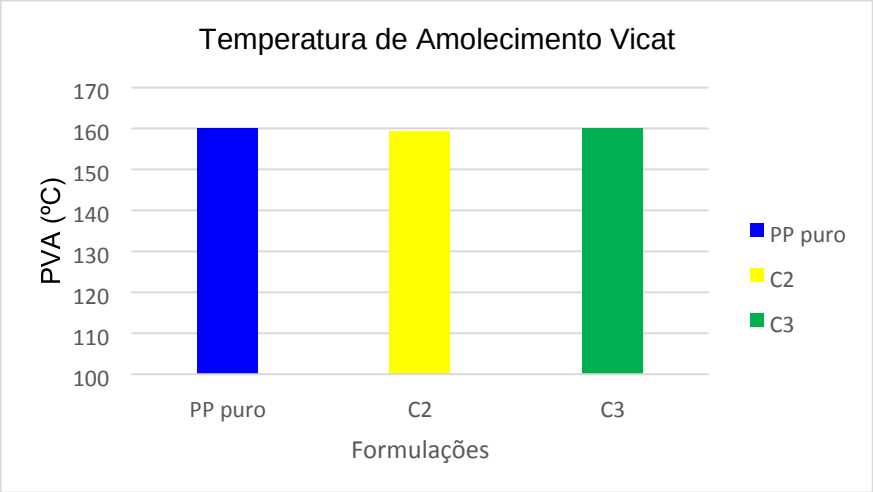
A Tabela 9 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão da Temperatura de Amolecimento Vicat dos valores obtidos para o polipropileno PP_{puro} e as formulações C_2 e C_3.

Tabela 9 - Temperatura de Amolecimento Vicat .

Formulações	PP_{puro} (ºC)	C_2 (ºC)	C_3 (ºC)
Valor Médio	160 ± 0	159,4 ± 0,1	160,0 ± 0,3

A partir da Tabela 9, elaborou-se o Gráfico 9.

Gráfico 9 –Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios de Temperatura de Amolecimento Vicat entre o PP_{puro} e os Compósitos C_2 (90%PP/10%F_B*) e C_3 (80%PP/20%F_B*)



A partir da Tabela 9 e do Gráfico 9, observou-se que os valores se equivalem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos nos ensaios desenvolvidos no presente trabalho, observou-se que:

- Foram obtidos compósitos de PP reforçados com fibra de buriti com boa homogeneidade e boa qualidade superficial;

- Os compósitos C_2 e C_3, reforçados com fibra de buriti tratada com ODA, podem ser processados nas mesmas condições em que o PP_{puro}, de acordo com os ensaios de processabilidade realizados no Reômetro de Torque Haake;

- A adição do material de reforço Fibra de Buriti (F_B) reduziu o índice de fluidez dos polímeros, pois a presença de reforços na matriz polimérica restringe a mobilidade das macromoléculas, dificultando o fluxo do polímero fundido e consequentemente aumentando a sua viscosidade;

- Com o aumento da percentagem de reforços no PP_{puro} houve uma pequena redução nos valores dos ensaios de resistência à tração. Os reforços provocaram descontinuidade na matriz polimérica, provocando um aumento de cristalinidade na matriz PP_{puro}, refletida pelo aumento do módulo de tração no compósito;

- A adição dos reforços à matriz de PP provocou um aumento de aproximadamente 20% nos valores de resistência à flexão;

- A incorporação dos reforços, diminuiu a resistência ao impacto devido ao aumento da cristalinidade provocado pela presença da fibra no compósito para o compósito C_2, mas quando se aumenta a percentagem da fibra no PP, a resistência ao impacto aumenta.

- Com a incorporação dos reforços, os valores de dureza praticamente se equivalem.

- O desempenho térmico dos compósitos, avaliado pelos ensaios de temperatura de distorção ao calor sob carga – HDT, foi superior aos obtidos para o polipropileno puro. No ensaio térmico de ponto de amolecimento Vicat, foi obtido o mesmo comportamento para a matriz polimérica e para os compósitos, ou seja, a incorporação de fibra de buriti ao polipropileno não interfere na Temperatura de Amolecimento Vicat dos compósitos.

6. REFERÊNCIAS

ANTUNES, M.C. Durabilidade mecânica de Compósitos de Polipropileno com Reforço Híbrido de Fibra de Coco e Talco. 2012. Dissertação - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

BARBOSA, A.P., Características Estruturais e Propriedades de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibra de Buriti. Tese de Doutorado Apresentada à Universidade Estadual do Norte Fluminenses, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

BARBOSA, M. G. Influência do Tratamento Superficial do Talco na Degradação Oxidativa de Compostos de Polipropileno Carregados com talco e Estabilizados com Negro de Fumo. 1995. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, l995.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. (1999) Composites reinforced with cellulose-based fibres. Prog. Polym. Sci, v. 24, p. 221-274.

CALLISTER JR., W.D., Ciencia e Engenharia dos Materiais, 8a. Ed., LTC Editora, 2012.

GIACOMIN, N P (2003) “Compósitos reforçados com fibras naturais para a indústria automobilística”, Dissertação de Mestrado, USP-Universidade de São Paulo, p.21, São Carlos-SP.

KOZLOWSKI R, RAWLUK M, BARRIGA J. State of the art-production, processing and applications of fibrous plants. In: Sivam RL, Araújo RC, editors. 2nd. IN International Conference on Textile Engineering (SINTEX-2004) Proceedings, September 7–11; 2004, Natal, in CD-ROM, Paper No.TIP-1-007.

MANO, E. B. (2000). *Polímeros como Materiais de Engenharia*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2000.

MASSON, T.J., Reciclagem e Desenvolvimento de Compósitos Híbridos de PolipropilenoTalco-Pó de Madeira. Tese de Doutorado apresentado a Universidade Presbiteriana Mackenzie, 1998.

MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; MOTTA, L.C.; MARQUES, L.S.; PORTELA, T.G.R. (2009b). “Statistical analysis to characterize the uniformity of mechanical properties of butiti fibers”. *Proceedings of the Characterization of Mineral, Metals & Materials, TMS 2009*, San Francisco, CA, USA, March 2009.

MONTEIRO, S.N., SATYANARAYANA, K.G., LOPES, F.P.D., (2010) “High strength natural fibers for improved polymer matrix composites”, *Mater Sci. Forum*, vol. 638-642, pp. 961-966, 2010.

MONTEIRO, S. N; PERISSÉ, F. D. L; COSTA, L. L; BEVITORI, A.. B; SILVA, I. A. S. BARBOSA A.P,(2011) Natural Lignocellulosic Fibers as engineering materials – na overview. The minerals, metals & materials Society and ASM International 2011, 2966-Vol 42A, octouber 2011.

MUELLER, D. H.; KROBJILOWSKI, A. (2003) “New discovery in the properties of composites reinforced with natural fibers”. J. ind. Text., V.33, p. 100-130.

PAIVA, L.B.; MORALES, A.R.; DIAZ, F.R.V.; Argilas organofílicas: característica, metodologia de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. Cerâmica, V.54, p.213-226, 2008.

REEBERG, J.H. SEBRAE. Unidade de Acesso a Mercado, Brasília, 2010.

SANTOS, N. S.; DIAS, C. G. B. T.; SANCHES, E. M. S.; ZAVAGLIA, C. A.; ALBUQUERQUE, E. “Caracterização microestrutural e mecânica da fibra de Miriti para utilização como reforço em compósitos poliméricos” 3565 – 3573 p 18º CBECiMat – 24 a 28 de novembro de 2008, Porto de Galinhas, PE, Brasil, 2008(a).

SATYANARAYANA, K.G.; WYPYCH, F.; GUIMARÃES, J.L.; AMICO, C.S.; SYDENSTRICKER,VT.H.D.; RAMOS, L.P. Studies on natural fibers of Brazil and green composites.VMet. Mater. Proc., v. 17(3-4), p. 183-194, 2005.

ULLOA, M.A E.; MAIORINO,R; MIRANDA, L. F.; MASSON, T.J. Reciclagem do polipropileno com adição de pó de madeira usando Tiba como agente de acoplagem**.** 2004. Congresso Brasileiro De Engenharia E Ciência Dos Materiais, Porto Alegre, 2004.

ZAPATA, P.; QUIJADA, R.; RETUERT, J.; MONCADA, E.; Preparation of Nanocomposites by in situ Polimerization. Journal of Chilean Chemical Society, V. 53, n.1, 2008.

ZANATTA, C.F.; MITJANS, M.; URGATONDO, V.; ROCHA FILHO, P.A. Low cytotoxicity of creams and lotions formulated with Buriti oil (Mauritia flexuosa) assessed by the neutral red release test. Food and Chemical Toxicology. 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691508002238>. Acesso em: setembro/2018.

Contatos:

e-mail: fabio_oliveira@gmail.com e-mail:

tmasson@mackenzie.br