



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – UFBA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA – PPEQ

THIAGO FERNANDES BARBOSA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS
UTILIZANDO POLIPROPILENO RECICLADO E FARINHA DE
MADEIRA**

Salvador, BA

2017

THIAGO FERNANDES BARBOSA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS
UTILIZANDO POLIPROPILENO RECICLADO E FARINHA DE
MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Luporini

Co-Orientador: Prof. Dr^a Joyce Batista Azevedo

Salvador, BA

2017

Barbosa, Thiago Fernandes
Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Utilizando
Polipropileno Reciclado e Farinha de Madeira / Thiago
Fernandes Barbosa. -- Salvador, 2017.
68 f.

Orientador: Samuel Luporini.
Coorientadora: Joyce Batista Azevedo.
Dissertação (Mestrado - Engenharia Química) -- Universidade
Federal da Bahia, Programa de Pós Graduação em Engenharia
Química, 2017.

1. Compósitos. 2. Polipropileno Reciclado. 3. Agentes de
Acoplamento. 4. Farinha de Madeira. I. Luporini, Samuel. II.
Azevedo, Joyce Batista. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



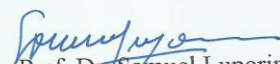
UFBA


EPUFBA

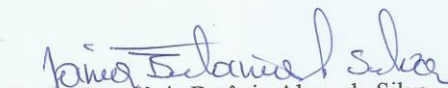
A Comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação
“DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS
UTILIZANDO POLIPROPILENO RECICLADO E FARINHA DE
MADEIRA” de **Thiago Fernandes Barbosa** como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.

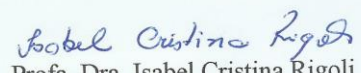
Salvador Ba, 03 de abril de 2017.

Comissão Examinadora:


Prof. Dr. Samuel Luporini
(Orientador-UFBA)


Profa. Dra. Joyce Batista Azevedo
(Co-orientadora- SENAI CIMATEC)


Profa. Dra. Jânia Betânia Alves da Silva
(UFRB)


Profa. Dra. Isabel Cristina Rigoli
(UFBA)

Com carinho à memória do meu avô Agenor e à minha avó Marina.

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador, pela saúde física e mental, para que eu pudesse ter vigor na elaboração deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ/UFBA), pelo apoio, estrutura, conhecimento cedido e por acreditar no meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Samuel Marques Macedo por ter me inserido, ainda na graduação, na iniciação científica, neste mundo de pesquisa e inovação.

Aos meus estimados orientadores Prof. Dr Samuel Luporini e a Prof. Dra Joyce Batista Azevedo, pela paciência, dedicação, instrução e aprendizado.

Ao SENAI CIMATEC pelo apoio e cessão dos laboratórios.

Aos amigos que fiz no programa de mestrado, pelos bons momentos no campus, biblioteca e laboratório.

À minha amada Mãe, Rosa e a Demosthenes pelo incentivo e apoio incondicional.

À Marcele por toda a cumplicidade, apoio, dedicação e companheirismo.

A Central de Plástico Abrantes (CPA) pela disponibilização do polipropileno reciclado.

A Rosimery Rodrigues de Oliveira e UFPI pelos ensaios de DSC.

A Inoquímica pela disponibilização do compatibilizante Protack.

A Madeireira Campina Grande pela disponibilização da farinha de madeira.

*“O homem é feito visivelmente para pensar; é toda a sua
dignidade e todo o seu mérito;
E todo o seu dever é pensar bem.”*
Blaise Pascal.

RESUMO

O consumo de resinas termoplásticas no Brasil tem crescido a uma taxa de 4,7% ao ano, tendo em 2014 um consumo superior a 6,3 milhões de toneladas, sendo que, no Brasil, o percentual de plásticos reciclados é de apenas 7,9%. Para diminuir a quantidade de resíduos plásticos, é necessário o reuso e reciclagem do plástico existente, seja reprocessado puro, com fibras vegetais ou com fibras sintéticas para a obtenção de melhores propriedades mecânicas, redução de resíduos no ambiente e inserção como materiais de engenharia. Neste contexto, pelo descarte desses materiais ser um dos atuais problemas ambientais enfrentados, o desenvolvimento de compósitos de materiais plásticos reforçados com fibras naturais tem sido objeto de estudo para amenização de tal problema. Neste trabalho foram desenvolvidos e caracterizados compósitos de matriz de polipropileno reciclado processados com farinha de madeira proveniente de MDF. Foram avaliadas as propriedades de resistência ao impacto, tensão máxima na flexão e tração. A influência de diferentes percentuais de fibra, granulometria da fibra e dos agentes compatibilizantes Protack RA-C70 e Orevac CA 100 foi avaliada. Foi observado que com a inserção da farinha de madeira na densidade manteve-se com poucas alterações e o índice de fluidez reduziu proporcionalmente à adição de farinha de madeira. As formulações com 20% de farinha de madeira e menor granulometria apresentaram melhores resultados nas propriedades mecânicas. Porém o uso de compatibilizantes em compósitos com Polipropileno reciclado influenciou negativamente as propriedades mecânicas, inclusive prejudicando o ancoramento entre as fases carga/matriz. Esse efeito negativo foi atribuído à contaminação do Polipropileno reciclado com outras resinas como o Polietileno e Politereftalato de Etileno as quais os compatibilizantes não possuem afinidade.

Palavras chave:, polipropileno reciclado; compatibilizantes; compósitos; farinha de madeira.

ABSTRACT

The consumption of thermoplastic resins in Brazil has grown at a rate of 4.7% per year, with a consumption of more than 6.3 million tons in 2014, but only 7,9% is recycled in Brazil. In order to reduce the amount of plastic waste, it is necessary to reuse and recycle the existing plastic. The recycling process can be with pure plastics, natural fibers or synthetic fibers to obtain better mechanical properties, reduction of waste in the environment and production of engineering materials. In this context, the disposal of these materials is a current problem, so the development of composites of fiber-reinforced plastic materials has been object of study to solve such problem. In this work, composites of recycled polypropylene matrix extruded with wood flour from MDF were developed and characterized. The properties of tensile strength, impact flexural were evaluated. It was evaluated the influence of different percentages of fibers, fiber granulometry and coupling agents Protack RA-C70 and Orevac CA 100 in the mechanical behavior of composites. It was observed that the addition of wood flour did not make significant variations in the composite density but the melt index was reduced proportionally to the addition of wood flour. The best results were obtained using 20% of wood flour and lower particles size. However, the use of compatibilizers in composites with recycled polypropylene has influenced the mechanical properties negatively, including the anchoring between the phases filler/matrix due to the contamination of Polypropylene with other resins. This negative effect was attributed to the contamination of recycled polypropylene with other resins such as polyethylene and polyethylene terephthalate, which compatibilizers have no affinity.

Keywords: recycled polypropylene; compatibilizers; composites; wood flour.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
SUMÁRIO	X
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS E QUADROS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVI
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Matrizes Poliméricas	4
3.2 Fibras Vegetais	6
3.3 Agentes Compatibilizantes	8
3.4 Compósitos de Matriz Polimérica Reciclada	10
3.5 Processos de Transformação de Plásticos	11

3.5.1 Extrusão	12
3.5.2 Injeção	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Materiais.....	13
4.2 Metodologia	13
4.2.1 Processamento dos Compósitos.....	13
4.2.2 Caracterização da farinha de madeira	16
4.2.3 Determinação do Índice de Fluidez do Polipropileno reciclado.....	16
4.2.4 Determinação da densidade	17
4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	17
4.2.6 Caracterização mecânica dos compósitos	18
4.2.7 Caracterização térmica dos compósitos	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1 Índice de fluidez e densidade.....	19
5.2 Caracterização da farinha de madeira.....	21
5.3 Propriedades mecânicas	23
5.4 Microscopia eletrônica de varredura	35
5.5 Calorimetria exploratória diferencial	39
5.6 Espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier.....	42
6 CONCLUSÃO	45
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46

8 REFERÊNCIAS.....	47
---------------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Taticidade, i- isotático, ii-sindiotático, iii- atático	5
Figura 2: Pó de madeira do MDF.....	8
Figura 3: Percentual de processos de transformação de plásticos no Brasil.....	11
Figura 4: Configuração do perfil de rosca da extrusora dupla rosca utilizada para a produção dos compósitos.....	15
Figura 5: Processamento dos compósitos.....	16
Figura 6: Determinação do índice de fluidez	17
Figura 7: Variação do índice de fluidez com os percentuais de fibra.....	20
Figura 8: Variação da densidade com os percentuais de fibra.....	21
Figura 9: Farinha fina (FF) e tamanho de partícula	22
Figura 10: Forpos de prova com diferentes concentrações da fg. (a) polímero reciclado puro; (b) 20% de FG; (c) 30% de FG; (d) 40% de FG.....	23
Figura 11: Módulo elástico de formulações com diferentes concentrações de FG.....	24
Figura 12: Tensão máxima sob flexão de formulações com diferentes concentrações de FG.....	25
Figura 13: Resistência ao impacto de formulações com diferentes concentrações de FG	26
Figura 14: Tensão máxima na flexão: comparação entre as granulometrias.....	28
Figura 15: Tensão máxima na flexão: avaliação da presença de CAM e CMIX	28
Figura 16: Resistência ao impacto de formulações com diferentes concentrações de FG	29
Figura 17: Resistência ao impacto: avaliação da presença de CAM e CMIX.....	31
Figura 18: Tensão máxima sob flexão: avaliação dos compatibilizantes PTK e CMIX.....	33

Figura 19: Resistência ao impacto: avaliação dos compatibilizantes PTK e CMIX.....	34
Figura 20: Tensão máxima sob tração: avaliação de F7 e F10 em relação a F1.....	35
Figura 21: MEV da FG	36
Figura 22: MEV da formulação F10 (20% FF,PTK 2%).....	36
Figura 23: MEV da formulação F2 (20%FG, 3% CAM, 6% CMIX).....	37
Figura 24: MEV da formulação F6 (20%FF, 3% CAM, 6% CMIX).....	37
Figura 25: MEV da formulação F5 (20% FG).....	38
Figura 26: MEV da formulação F11 (20% FF, 6% CMIX e 2% PTK)	39
Figura 27: MEV da formulação F10 (20%FF, 2% PTK).....	39
Figura 28: 1º aquecimento.....	40
Figura 29: 2º aquecimento.....	40
Figura 30: DSC de blenda de PErec/PPrec produzida pela Embrapa.....	41
Figura 31: Espectro de I.R. do PPreC.....	43
Figura 32: Espectro de I.R. das formulações	44

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabelas

Tabela 1: Composição das fibras naturais.....07

Tabela 2: Descrição das malhas das peneiras utilizadas na caracterização das partículas de madeira e o resultado da distribuição de tamanho das partículas de madeira.....22

Quadros

Quadro 1: Composição das formulações.....14

Quadro 2: Formulações 2..... 32

Quadro 3. Relação de nº de onda, ligações, componentes correspondentes e grupos funcionais.....42

LISTA DE SIGLAS

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria de Plásticos

ASTM - American Society of Testing and Materials

CAM - Compatibilizante a base de anidrido maleico

CIMATEC - Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia

CMIX - mistura de aditivos

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

CPA - Central de Plásticos Abrantes

DSC - Calorimetria exploratória diferencial

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA - Estados Unidos da América

F1 a F11 - Formulações de 1 a 11

FF - Farinha fina

FG - Farinha grossa

FTIR - Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier

IR - Infravermelho

ISO - International Organization for Standardization

L/D - Razão entre comprimento e diâmetro da câmara

MDF - Médium density fiberboard

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

PE - Polietileno

PEAD - Polietileno de alta densidade

PErec - Polietileno reciclado

PET - Politereftalato de etileno

PP - Polipropileno

PPrec - Polipropileno reciclado

PET - Poli(tereftalato de etileno)

PPEQ - Programa de Pós graduação em Engenharia Química

PTK - compatibilizante Protack

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

UFBa - Universidade Federal da Bahia

UFPI - Universidade Federal do Piauí

UV - Ultra violeta

1 INTRODUÇÃO

A matéria prima para a produção de polímeros é baseada em derivados do petróleo ou do álcool da cana-de-açúcar. O consumo de resinas termoplásticas no Brasil tem crescido a uma taxa de 4,7% ao ano, tendo em 2014 um consumo superior a 6,3 milhões de toneladas (BRASKEM, 2015). Porém, para diminuir a quantidade de resíduos plásticos, é necessário o reuso e reciclagem do plástico existente, seja reprocessado puro, com fibras vegetais ou com fibras sintéticas para a obtenção de melhores propriedades mecânicas, redução de resíduos no ambiente e inserção como materiais de engenharia. A ABIPLAST (2015) estima que 7,9% dos plásticos usados já são reciclados.

As resinas termoplásticas usadas largamente no dia-a-dia podem ser recicladas e reprocessadas juntamente com as fibras vegetais para serem novamente aplicadas no cotidiano na forma de compósitos. Os materiais compósitos apresentam potencial tecnológico e estão sendo usados na indústria de construção civil, design, arquitetura e automobilística. O estudo do uso destes novos materiais oriundos do reprocessamento de termoplásticos com fibras vegetais pode evitar o descarte indevido de grande quantidade de resíduos plásticos e diminuir a exploração dos recursos não renováveis.

Este conceito está vinculado à conscientização da sociedade firmada no desenvolvimento sustentável ao qual exige a produção de materiais ecológicos de baixo custo e consumo de energia reduzida. Buscam-se produtos capazes de satisfazer requisitos fundamentais como a conservação de recursos naturais não renováveis e a manutenção de um ambiente saudável (LIGOWSKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015).

Dentre as fibras vegetais que possuem potencial para obtenção de compósitos com matrizes termoplásticas estão as de sisal, de coco e a de madeira. Estas fibras são matérias primas abundantes no Brasil, sendo a Bahia o responsável por mais de 90% da produção nacional de sisal e o maior produtor de coco. Em 2010 a produção nacional de coco foi de 1,89 bilhões frutos e de sisal em 2012 foi 100 mil toneladas. Em relação ao resíduo do processamento de madeira, em 2012 o Brasil produziu 1,72

milhão de toneladas de cavaco e particulados de madeira (EMBRAPA, 2011; CONAB, 2012). Com isso o Brasil é também um grande gerador de resíduos de fibras que podem ter diversos usos, um deles é a aplicação destas fibras como carga ou reforço em compósitos.

Os compósitos são materiais com duas ou mais fases, constituídas, por uma matriz polimérica e uma fase dispersa, que no objeto deste estudo são as fibras vegetais, oriundas do processamento de madeira, MDF. Os materiais compósitos possuem propriedades únicas e possível efeito sinérgico, diferentes daquelas de seus componentes individuais (LIGOWSKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015).

As fibras de madeira utilizadas em reforços e cargas para plásticos, também podem substituir materiais de alto custo, como a fibra de vidro. Nos WPC's (Wood-Plastic Composites), o plástico melhora a resistência à umidade e ao ataque de insetos e fungos. Assim, as boas características de superfície, resistência e baixo custo são atrativos para o desenvolvimento de pesquisas com compósitos e suas possíveis aplicações de produtos inovadores (BATTISTELLE et al, 2014).

A adesão das fibras à resina polimérica, em algumas aplicações de compósitos, nem sempre é satisfatória, sendo necessário o uso de compatibilizantes, também chamados de agentes de acoplamento. Estes são usados para promover o ancoramento entre as fases do compósito. A melhor interação entre as fases resulta em uma transferência de esforços mecânicos mais eficaz da matriz para a fase dispersa (AZEVEDO,2013).

Um dos maiores desafios que podem ser encontrados na produção de compósitos plástico-madeira e que apresentam resultados satisfatórios nos ensaios físicos e mecânicos, segundo as normas relacionadas, é a adesão das fibras com a matriz polimérica, tendo em vista que muitos estudiosos fazem uso de agentes compatibilizantes na composição, a fim de proporcionar tal adesão (BATTISTELLE et al, 2014)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar compósitos de matriz de polipropileno reciclado processados com farinha de madeira.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento mecânico através das tensões máximas na flexão, tração e resistência ao impacto
- Avaliar o comportamento térmico dos compósitos com o intuito de verificar contaminações no polipropileno reciclado através da Calorimetria Exploratória Diferencial e da Espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier
- Avaliar a influência de diferentes percentuais de carga e granulometria;
- Avaliar a influência de agentes compatibilizantes em compósitos de matriz polimérica reciclada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matrizes Poliméricas

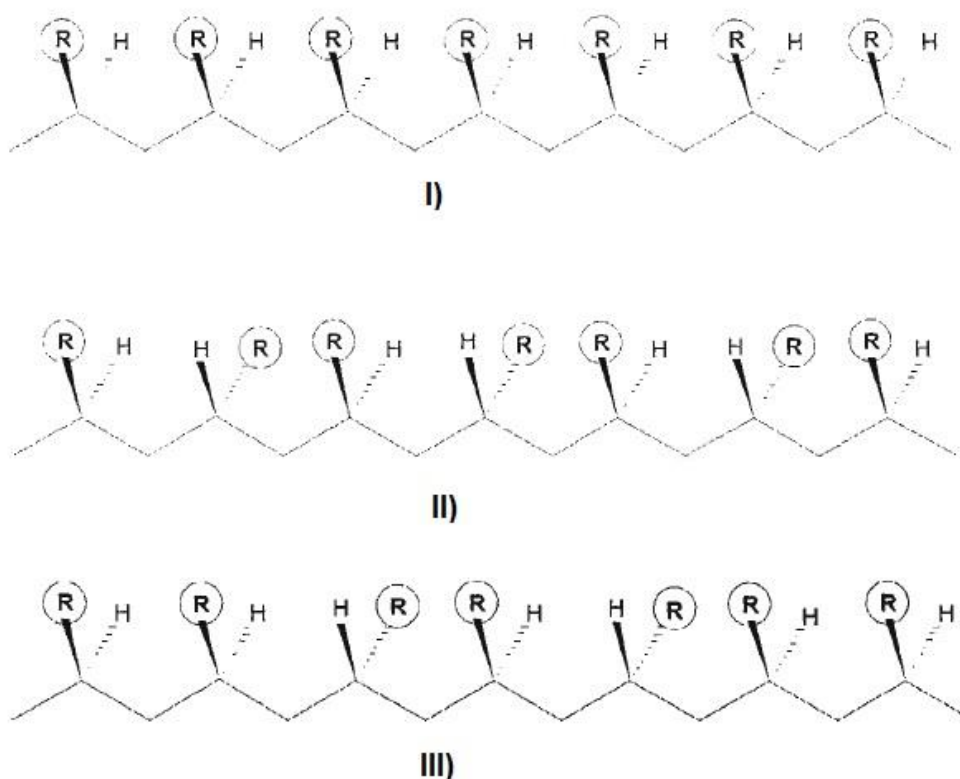
Polímero é um material orgânico ou inorgânico de alta massa molar, cuja estrutura consiste na repetição de pequenas unidades chamadas meros. São macromoléculas formadas pela união de moléculas simples ligadas por ligação covalente (CANEVAROLO, 2006).

O Polipropileno (PP) é um polímero termoplástico da classe das poliolefinas, essencialmente linear e altamente cristalino (ROSÁRIO, 2011). Poliolefinas são polímeros originários de monômeros de hidrocarboneto alifático insaturado contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa. Os termoplásticos são polímeros com a capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura. Quando estes são retirados, o polímero solidifica-se em um produto com formas definidas (CANEVAROLO, 2006). Os termoplásticos são materiais poliméricos sintéticos, que, quando sujeitos à ação de calor, facilmente se deformam podendo ser remodelados e novamente solidificados a uma nova estrutura. Se apresentam como uma excelente matriz polimérica devido a sua alta abundância, podendo o mesmo ser reciclado (LIGOWISKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015). Do contrário, as matrizes termorrígidas tornam-se permanentemente duras e não amolecem quando aquecidos devido à grande densidade de ligações cruzadas. Durante o processamento dos termorrígidos as ligações cruzadas ligam as cadeias proporcionando uma maior resistência a vibração, rotação e altas temperaturas (CALLISTER, 2008).

As resinas de polipropileno (PP), assim como a maioria das poliolefinas, são resistentes a muitos solventes e produtos químicos. São fortemente atacadas pelos ácidos inorgânicos fortes, como o ácido nítrico fumegante a temperatura ambiente e o ácido sulfúrico 98% a 60 °C (BRASKEM, 2010). O polipropileno tem ponto de fusão superior ao da maioria das poliolefinas, em razão da maior rigidez estrutural ocasionada pela rotação do grupo lateral metil. Para o PP isotático, o ponto de fusão pode alcançar o valor máximo de 176 °C, enquanto para o PP sindiotático tal limite é de 135 °C. O ponto de fusão, em ambos os casos, é dependente da porcentagem de fase cristalina no polímero. Como o PP atático não cristaliza, não possui ponto de fusão e apresenta somente temperatura de transição vítrea. (ROSÁRIO, 2011).

Canevarolo (2006) define a taticidade como a regularidade espacial com que grupos laterais são alocados na cadeia polimérica. Os isotáticos possuem todos os grupos laterais de um mesmo lado do plano definido pelos átomos da cadeia principal. O sindiotático possui os grupos laterais dispostos de maneira alternada. E o atático possui os grupos laterais sem regularidade definida.

Figura 1 – Taticidade, I) Isotático, II) Sindiotático, III) Atático



Fonte: Canevarolo (2006)

O PP virgem é amplamente explorado, mas o aumento do custo das resinas plásticas, pressionado pelas constantes flutuações do preço do petróleo no mercado internacional, tem estimulado as pesquisas em reciclagem deste polímero (ROSÁRIO,2011).

O comportamento mecânico de compósitos de matriz reciclada continua menos entendido do que o comportamento mecânico das matrizes poliméricas isoladas (LEÃO et al, 2015). Estudos recentes, tem avaliado o comportamento mecânico e

térmico do uso de polímeros reciclados como matrizes de compósitos com fibra vegetal (BATISTELLE et al, 2013; LISPERGUER et al, 2013; LIGOWSKI et al, 2015).

A pesar das resinas recicladas apresentarem as vantagens de serem sustentáveis e possuírem menor custo em relação as resinas virgens, o reprocessamento do polipropileno traz a desvantagem de reduzir as propriedades mecânicas e térmicas do material. Por outro lado, Leão e colaboradores (2015) afirmam que aditivos podem ser usados para manter ou até melhorar as propriedades do material reciclado em relação ao virgem e que as propriedades de materiais fabricados com plásticos reciclados são semelhantes aos fabricados com resina virgem. Por isso, a quantidade de produtos fabricados com resinas recicladas está aumentando, inclusive, de compósitos com farinha de madeira, devido ao baixo custo desta fibra.

A matriz é o que confere estrutura ao material compósito, preenchendo os espaços vazios que ficam entre os materiais de reforços e mantendo-os em suas posições relativas (LIGOWSKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015). A matriz polimérica, em um compósito, possui diversas funções sinérgicas com as fibras vegetais. Ela transfere os esforços mecânicos à carga além de proteger as fibras da abrasão, intempéries, biodegradação por fungos e pragas e reduzir a absorção de água.

3.2 Fibras Vegetais

As fibras vegetais são abundantes, não-tóxicas, de baixo custo, de baixa densidade, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos e provêm de fontes renováveis. Com isso, podem servir como um excelente agente de reforço para os polímeros, uma vez que suas propriedades mecânicas são comparáveis às de outros reforços comumente empregados (ROSÁRIO,2011)

Diversos vegetais têm sido estudados e usados no reforço de materiais compósitos como Pinus, MDF, Eucalipto, Bananeira, Sisal, Coco, Cana de Açúcar, dentre outros (HILLIG et al ,2008; SANTANA, 2012; LISPERGUER et al, 2013; BATISTELLE et al, 2013; GONÇALVES, 2014; LIGOWSKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015).

A propriedade final dos compósitos sofre grande influência das características das fibras. As fibras de uma mesma planta podem sofrer variações de acordo com as condições climáticas, plantio e posicionamento da fibra em relação a raiz da planta, uso de adubos dentre outros fatores. As fibras vegetais já são um material compósito natural formado por celulose, lignina e hemicelulose. A quantidade desses três componentes nas fibras varia de vegetal para vegetal (BARBOSA, 2013; AZEVEDO 2013).

A proporção destes componentes nas fibras naturais pode ser vista na tabela a seguir, onde (B) representa fibras extraídas no Brasil e (O) fibras extraídas em outros países.

Tabela1 - Composição das fibras naturais.

Fibras	Origem	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)
Bagaço de cana	B	54,3-55,2	16,8-29,7	25,3-24,6	1,1	0,7-3,5
	O	32-44	27-32	19-24	4,3	-
Banana	O	60-65	6-8	5-10	1,2	-
	B	60	22,1	15,9	1,0	-
Juta	O	59-71	12-13	11,8-12,9	0,7	0,5-2
	O	80-85	3-4	0,5	-	6,4
Piçava	B	31,6	-	48,4	-	-
Curauá	B	70,7-73,6	21,1	7,5-11,1	0,8-0,9	2,5-2,8
	B	74-75,2	10-13,9	7,6-8	-	-
Sisal	O	60-67	10-15	8-12	0,14-0,9	1,7-6
	B	43,4-53	14,7	38,3-40,7	-	3,5
Coco	O	43,7	<1	45	-	4,5

Fonte: Santos, 2007

O consumo de madeira em grande escala pelos diversos setores da sociedade faz com que surjam discussões e questionamentos sobre os impactos dos resíduos madeireiros ao ecossistema, instigando a ciência no desenvolvimento de pesquisas sobre soluções mitigadoras dos impactos ambientais gerados nos processos produtivos, onde a matéria-prima madeira é o principal componente (WEBER e IWAKIRI, 2015). CONAB (2012) afirma que o Brasil é um grande produtor de resíduos de processamento de madeira e que grande parte desses resíduos são descartados não sendo aproveitados.

As fibras como reforço de compósitos contribuem não apenas por incrementar as propriedades mecânicas do compósito, mas também por apresentarem um custo inferior ao da resina polimérica. Em média, o custo de pó de madeira seja Pinus, MDF, ou Eucalipito é de R\$ 120,00 a tonelada, R\$ 0,12 por quilograma. Enquanto PP reciclado custa de R\$ 4,00 a R\$ 5,00 o quilograma e o PP virgem acima de R\$ 6,00, a inserção de fibras vegetais tornam o produto final mais viável economicamente.

Em relação ao incremento nas propriedades mecânicas, estudos realizados por Hillig e colaboradores (2008), Lisperguer e colaboradores (2013), Batistelle e colaboradores (2013) e Ligowski Santos, Fujiwara (2015) mostraram melhorias significativas nas propriedades mecânicas com a inserção das fibras vegetais.

O MDF (medium density fiberboard) é um material derivado da madeira, inclusive do Pinus. O principal uso deste material é a fabricação de móveis e construção civil. Comumente vendido e cortado em marcenarias, o MDF foi escolhido para uso neste trabalho pela facilidade de obtenção gratuita da serragem (pó), que sem uso, é descartado de forma indevida.

Figura 2 - Pó de madeira do MDF



3.3 Agentes Compatibilizantes

As fibras vegetais possuem caráter hidrofílico (polar) e as matrizes poliméricas possuem caráter hidrofóbico (apolar), com isso há uma baixa interação entre fibra e matriz. A baixa aderência da fibra à matriz é altamente prejudicial pois a fibra não aderida pode atuar como defeito estrutural, gerando pontos frágeis onde acontece a ruptura do material quando o esforço, seja por flexão, tração, torção ou cisalhamento

é aplicado. Então são necessários tratamentos prévios às fibras antes do processamento do compósito, ou a inserção de agentes compatibilizantes.

Um dos principais desafios na tecnologia que envolve os materiais compósitos é a obtenção de uma adequada interface reforço/matriz. Os métodos mais estudados são os que envolvem interação química através da adição de agentes de acoplamento, a modificação da fibra ou a modificação da matriz (BECKER, 2011).

O agente de acoplamento atua de forma diferente dos tratamentos prévios, pois a atuação é feita na promoção de ligações entre a fibra e a matriz. São substâncias que possuem dupla função podendo ligar-se tanto a componentes hidrofílicos (fibras) como a hidrofóbicos (matriz) causando uma maior aderência interfacial e um módulo de elasticidade intermediário entre a fibra e a matriz. Os agentes de acoplamento mais comuns em compósitos de matriz de polipropileno e polietileno são os organossilanos como o viniltrióxido e o anidrido maleico. (SANTOS, 2007).

O agente de acoplamento promove a união entre as fases ou altera a energia superficial da carga para permitir um molhamento eficiente. Dessa forma, reduzirá as tensões interfaciais e melhorará a adesão entre as fases, interferindo nas propriedades e aplicações do compósito (SANTANA, 2012). Os compatibilizantes (agentes de acoplamento) são aditivos que promovem a interação entre as cadeias poliméricas e a fase dispersa (fibras de reforço). Atuam como pontos moleculares que na interface entre dois substratos (JAFELICE, 2013)

Entre os agentes de acoplamento utilizados estão os polímeros enxertados com anidrido maleico, pois as interações entre os grupos anidrido dos agentes de acoplamento e hidroxilas das fibras lignocelulósicas aumentam a adesão entre as fases podendo melhorar as propriedades dos compósitos (BECKER,2011).

Matrizes poliméricas modificadas com anidrido maleico tem obtido resultados satisfatórios, aumentando a adesão fibra/ matriz e incrementado as propriedades mecânicas de compósitos (SANTANA, 2012; LISPERGUER et al, 2013; GONÇALVES, 2014).

Neste trabalho foram usados compatibilizantes a base de anidrido maleico e poliéster glicol.

3.4 Compósitos de Matriz Polimérica Reciclada

Compósitos são materiais com duas ou mais fases em escala macroscópica, obtidos a partir da mistura de dois ou mais materiais distintos, cujas propriedades mecânicas devem ser superiores às dos materiais constituintes (AZEVEDO, 2013 apud DANIEL E ISHAI, 1994). Compósitos são materiais formados pela combinação de dois ou mais diferentes materiais, produzindo propriedades únicas e sinérgicas, diferentes daquelas de seus componentes individuais. Eles são, portanto, constituídos de duas fases: a matriz e o elemento de reforço e são desenvolvidos para otimizar os pontos fortes de cada uma das fases (LIGOWISKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015).

A combinação de materiais diferentes gera um novo tipo de material, com diferentes propriedades, que quando processado em adequadas proporções gera um incremento das propriedades mecânicas (resistência a impacto, tração e flexão e tempo de vida útil). Esse novo material é chamado de compósito (BARBOSA, 2013)

Com a globalização e o crescimento populacional, existe a necessidade de se estudar o desenvolvimento de novos produtos a partir de seus resíduos (em diferentes formulações) com a inserção, ou não, de materiais poliméricos pós-consumo, de forma a minimizar o emprego da matéria prima virgem e reduzir o descarte de materiais nobres. (BATTISTELLE et al, 2014). Esses compósitos inserem-se na política de aproveitamento de recursos renováveis. (LIGOWISKI, SANTOS, FUJIWARA, 2015).

Pelo descarte desses materiais ser um dos atuais problemas ambientais enfrentados, o desenvolvimento de compósitos de materiais plásticos reforçados com fibras naturais tem sido objeto de estudo para amenização de tal problema. (ROMAN et al, 2015).

Os trabalhos existentes mostram que a farinha de madeira em alguns casos incrementa o módulo de elasticidade, porém em outros diminui a resistência ao impacto e tração devido a contaminação do PP reciclado com outros termoplásticos quando a tecnologia de reciclagem e seleção do material não são eficientes. (LISPERGUER et al, 2013 apud AL-SALEM *et al.* 2009).

Lisperguer e colaboradores (2013) obtiveram resultados de resistência ao impacto em compósitos com o uso de PP reciclado superiores ao do PP virgem.

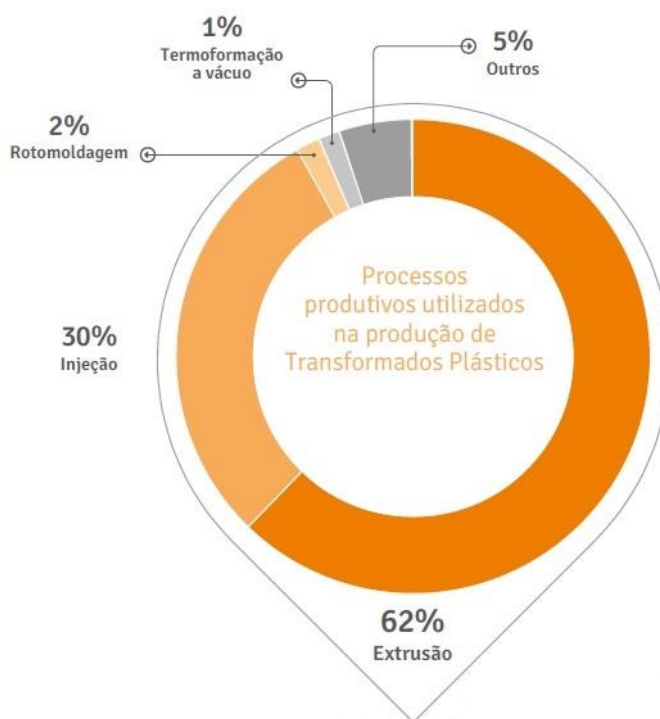
Este material é novo no Brasil e o uso tem crescido a cada ano, até 2013 o país possui apenas 6 empresas que fabricam e que abastecem o sul e sudeste, são elas: Wisewood Soluções Ecológicas S/A, Reciplast, PolyRio Polímeros Ltda, Policog Cogumelo, EcoWood Rio, Ecoblock Indústria e Comércio Ltda. Porém nos EUA e Europa este compósito já é usado e fabricado a 20 anos. (OLIVEIRA et al, 2013).

3.5 Processos de Transformação de Plásticos

Os plásticos podem ser processados por diversos processos, entre eles extrusão, sopro, injeção, rotomoldagem, transformação a vácuo entre outros. (Adaptado ABIPLAST,2011). Vários processos de transformação de plásticos têm sido usados na produção de compósitos poliméricos. Em se tratando de compósitos de matriz termoplástica, o processo de extrusão vem sendo o mais reportado em artigos científicos e utilizado industrialmente, destacando-se principalmente o emprego de extrusoras dupla rosca. (SANTANA, 2012).

ABIPLAST (2015), afirma que 62% dos processos de transformação de plásticos são feitos por extrusão e 30% por injeção conforme figura abaixo.

Figura 3 - Percentual de Processos de Transformação de plásticos no Brasil



Fonte: Adaptado ABIPLAST (2015)

3.5.1 Extrusão

A extrusão consiste em forçar a passagem (controlada) do material plástico fundido através de um cilindro e na sua saída, o material é comprimido em uma matriz com a forma desejada do produto, ou seja, chapa, perfil ou filme, para posterior acabamento. (ABIPLAST, 2015)

A extrusão é o processo de transformação de plásticos mais importante industrialmente. O termo extrusão refere-se a empurrar ou forçar a saída de um material através de uma matriz (AZEVEDO, 2013 apud RAUWENDAAL, 2001)

A extrusora dupla rosca possui vantagens em relação à monorrosca, tais como, ação de mistura mais intensa, flexibilidade na configuração da geometria da rosca, dosagem de material em diferentes pontos da extrusora, controle da dosagem através dos alimentadores. A ação de mistura é mais eficiente no caso das roscas corrotacionais do que nas contra-rotacionais, devido à maior alternância de fluxo de uma rosca para a outra. (SANTANA, 2012).

3.5.2 Injeção

Esse processo confere detalhes muito específicos aos produtos como roscas, furos e encaixes perfeitos sendo muito utilizado na indústria de autopeças (como painéis de carros) fabricando produtos intermediários que servem como insumos para a indústria automotiva e também na produção de utilidades domésticas que se destinam ao consumidor final (ABIPLAST, 2015).

A injeção é um processo de moldagem de materiais poliméricos na qual o material é fluidificado por aquecimento, e a seguir injetado em um molde de uma ou mais partes. Na injetora existe um conjunto denominado rosca-pistão, onde o polímero é fluidificado para ser injetado no molde. (SANTANA, 2012). O material é depositado em um recipiente de alimentação da injetora, (funil), de onde é direcionado para dentro de um cilindro que contém um fuso que o empurra, promovendo seu cisalhamento e homogeneização, contribuindo para sua plastificação (ABIPLAST, 2011). Este

processo é muito utilizado na confecção de corpos de prova para a avaliação das propriedades do material.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para obtenção dos compósitos foram utilizados os materiais listados abaixo:

- Polipropileno reciclado (PP rec): fornecido pela empresa CPA (Central de Plásticos Abrantes) com MI igual a 6,9 g/10min.
- A farinha de madeira de resíduo de MDF com tamanho médio de partícula de 841µm denominada de FG (Farinha grossa), fornecido pela Madeireira Campina Grande.
- Farinha de madeira de resíduo de MDF com tamanho médio de partícula de 207µm denominada de FF (Farinha fina), fornecido pela Madeireira Campina Grande.
- Carbonato de Cálcio (CaCO₃): com granulometria de 325 mesh.
- Compatibilizante Mix (CMIX): Concentrado de aditivos (lubrificantes, agente de acoplagem, anti UV e agente estabilizante antioxidante).
- Compatibilizante Protack RA- C70 (PTK): fornecido pela Inoquímica, é um polímero termoplástico de base poliéster-glicol de baixo peso molecular e alto teor de glicol, apresenta densidade entre 1,18 e 1,25 g/cm³.
- Compatibilizante Orevac CA 100 (CAM): Aditivo utilizado em polímeros a base de anidrido maléico para compatibilização de polipropileno e partículas de madeira a ser utilizado especificamente em compósito de matriz termoplástica e partículas de madeira.

4.2 Metodologia

4.2.1 Processamento dos Compósitos

As formulações desenvolvidas foram processadas no SENAI CIMATEC no Laboratório de Transformação de Plásticos em uma extrusora dupla rosca modular corrotacional, fabricada pela Imacom, modelo DRC 30:40 IF com diâmetro de rosca de 30 mm e razão L/D = 40.

Foram processadas 11 formulações, denominadas F1, F2, F3 e assim sucessivamente, conforme quadro 1. Usou-se três percentuais de farinha de madeira (20%, 30% e 40%), duas granulometrias (207µm e 841 µm) e três aditivos (CAM, CMIX e PTK) a fim de avaliar a influência de cada variável nas propriedades dos compósitos.

Quadro 1 - Composição das formulações

Formulação	PP Rec	FG	FF	CAM	CMIX	PTK	Carbonato de cálcio	Total
F1	100%							100%
F2	61%	20%		3%	6%		10%	100%
F3	51%	30%		3%	6%		10%	100%
F4	40%	40%		4%	6%		10%	100%
F5	70%	20%					10%	100%
F6	61%		20%	3%	6%		10%	100%
F7	70%		20%				10%	100%
F8	68%	20%				2%	10%	100%
F9	62%	20%			6%	2%	10%	100%
F10	68%		20%			2%	10%	100%
F11	62%		20%		6%	2%	10%	100%

Os percentuais de fibra (20% a 40%) foram escolhidos através de resultados obtidos anteriormente pelo grupo de estudo. Os percentuais dos compatibilizantes foram usados conforme recomendação do fabricante. O carbonato de cálcio é usado por ser um facilitador do escoamento da mistura no interior da extrusora e por ser estabilizador dimensional.

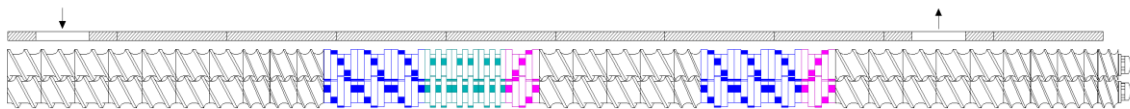
As condições de processamento para estes compósitos estão descritas abaixo:

- Velocidade da rosca: 94 rpm.
- Velocidade de alimentação: 9 rpm

- Perfil de temperatura: Z1 = 40°C; Z2 e Z3 = 170°C; Z4= 165°C; Z5 e Z6=175°C; -Z7= 190°C; Z8= 195°C; Z9=205°C; Z10 = 210°C e Z11=27°C.

O perfil de rosca (Figura 4) utilizado é típico para produção de compósitos com fibras naturais, e pode ser classificado como um perfil de média intensidade de mistura. É composto por duas zonas de mistura, formadas com blocos amassados, de baixo relevo de 45° e 90° para auxiliarem no processo de homogeneização da mistura plástico/madeira e os demais elementos são cisalhadores, destinados ao transporte de material.

Figura 4 - Configuração do perfil de rosca da extrusora dupla rosca utilizada para produção dos compósitos (diagrama exportado do Software WinTXS, versão3).



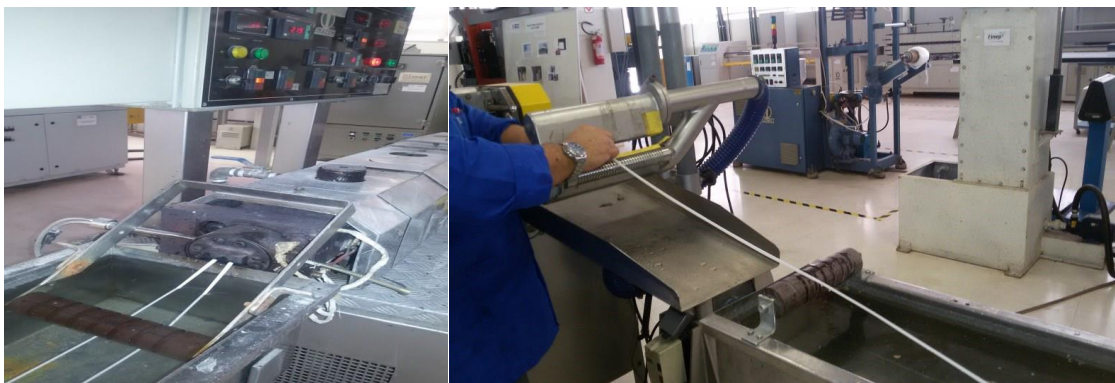
Em virtude das fibras naturais serem geralmente higroscópicas, a farinha de madeira foi seca a $100 \pm 5^\circ\text{C}$ por um período de 8 horas em estufa. Após secagem da fibra, os materiais foram pesados e, então, foi realizada uma pré-mistura, em seguida as composições foram dosadas no ponto de alimentação principal da extrusora (início da rosca), através de um dosador volumétrico da marca Brabender.

Após obtenção dos compósitos, estes foram secos a 60°C por um período de 4 horas e somente após a secagem os mesmos foram utilizados para a preparação dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram preparados pelo processo de injeção, segundo as normas ISO 178 para ensaio de flexão. Para esta etapa utilizou-se uma injetora com capacidade de 100 toneladas de força de fechamento, fabricada pela ROMI modelo Primax.

As condições de processamento e injeção foram mantidas para todas as formulações.

Figura 5: Processamento dos compósitos



4.2.2 Caracterização da farinha de madeira

Para obtenção do tamanho das partículas de madeira na farinha denominada farinha grossa (FG), antes do processamento, foi realizada uma classificação por peneiramento segundo a norma ASTM 6913-04, 2009. Este processo teve o auxílio de um agitador eletromecânico para 6 peneiras de 8"x2", com dispositivo para controle da frequência de vibrações e relógio automático até 30 min. Inicialmente, uma amostra de 100 g foi seca em estufa por 4 horas à temperatura de 100°C, e peneirada durante 30 min.

Para a farinha de madeira denominada de farinha fina (FF) também foi usada a MEV pois uma classificação granulométrica apenas através de peneiramento não é confiável devido à relação entre o tamanho das partículas e o conjunto de peneira disponível.

Através das imagens foi possível estimar uma distribuição de tamanho de partícula. Foram realizadas quatro micrografias das fibras e cinco medições do tamanho de partícula em cada imagem, totalizando 20 medições do comprimento das fibras. As micrografias foram obtidas em microscópio da marca Jeol brand, model JSM - 6510LV.

4.2.3 Determinação do Índice de Fluides do Polipropileno reciclado

Com o intuito de verificar a adequação reológica da resina reciclada ao processo de extrusão dos compósitos, foi realizado o ensaio para a determinação do índice de fluidez no polipropileno (PP) reciclado fornecido pela CPA – Central Plásticos Abrantes.

O ensaio foi realizado em plastômetro padronizado no laboratório de Ensaios Mecânicos do SENAI CIMATEC. Utilizaram-se 230°C e peso de 2,16 kg. O ensaio foi realizado sob a norma ASTM 1238.

Figura 6 - Determinação do índice de fluidez de PRec.



4.2.4 Determinação da densidade

O ensaio para determinação de densidade foi realizado no medidor de densidade DSL 910 utilizando a norma ISO 1183.

4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia da superfície de fratura de algumas formulações foi avaliada. As micrografias foram obtidas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em microscópio da marca Jeol brand, model JSM - 6510LV.

4.2.6 Caracterização mecânica dos compósitos

As propriedades mecânicas sob flexão, tração e resistência ao impacto das formulações foram determinadas.

As propriedades mecânicas sob flexão e tração foram avaliadas em máquina universal de ensaios Emic Modelo DL 2000, aquisição e tratamento dos dados através de Software Tesc seguindo as normas ISO 178 e 527 respectivamente. O ensaio de impacto foi realizado seguindo a norma ISO 180, em uma máquina Instron, modelo CEAST 9050, com martelo de 2,7 J e configuração IZOD.

4.2.7 Caracterização térmica dos compósitos

4.2.7.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

Os pontos de fusão foram avaliados através da calorimetria exploratória diferencial.

O calorímetro usado foi o TA Instruments modelo SDT Q600.

4.2.7.2 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os grupos existentes e seus compostos correspondentes foram avaliados através de FTIR.

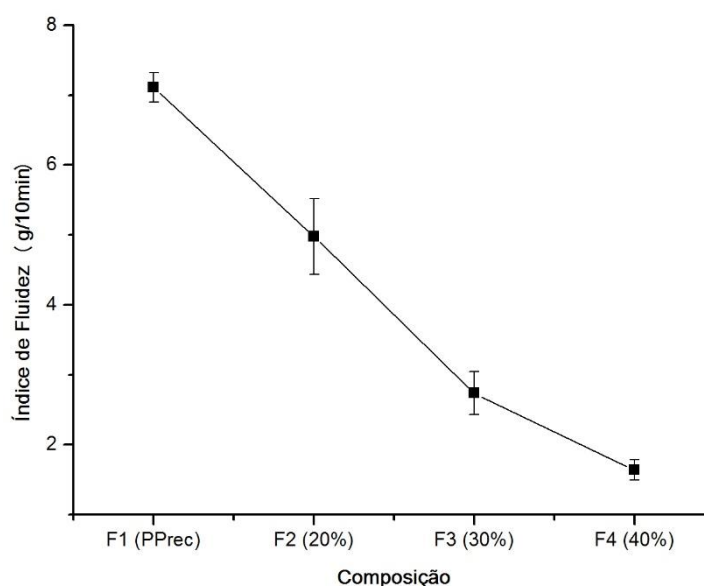
O espectrômetro utilizado foi o da marca Bomem, modelo ABB Bomem MB Series. Os espectros foram registrados na faixa de 4.000 a 400 cm^{-1} .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Índice de fluidez e densidade.

O índice de fluidez das formulações do PPre e dos três percentuais de farinha de madeira (FG) foram determinadas, como pode ser visualizado na figura 7. Observou-se que o PPre possui um índice de fluidez de 6,91 g/10 min e houve reduções gradativas com a inserção de percentuais maiores de farinha de madeira, tendo F4 apresentado redução do índice de fluidez de 77% em comparação à matriz polimérica pura. Este comportamento de redução do índice de fluidez já foi evidenciado em outros estudos (AZEVEDO,2013; BATISTELE et al, 2014). A adição de carga em polímeros aumenta a viscosidade e diminui a elasticidade do sistema, estes efeitos estão proporcionalmente ligados ao teor de carga (AZEVEDO,2013 apud BARNES et al, 1989), inclusive sendo necessário um torque de cerca de 40% maior para processar um compósito com maiores teores de carga (LISPERGUER, 2013; CORREA, 2003). A redução de aproximadamente 77% no índice de fluidez em F4 não é ideal para o processamento, pois é necessária a realização de maior torque nas roscas da extrusora para que o processo de mistura e escoamento ocorram além da consequente degradação do material visto que um maior torque eleva a temperatura e posteriormente aumenta a absorção de água pelo compósito durante a futura aplicação. O resultado mostra que o PPre apresenta um índice de fluidez adequado para o processo de obtenção das formulações para o compósito.

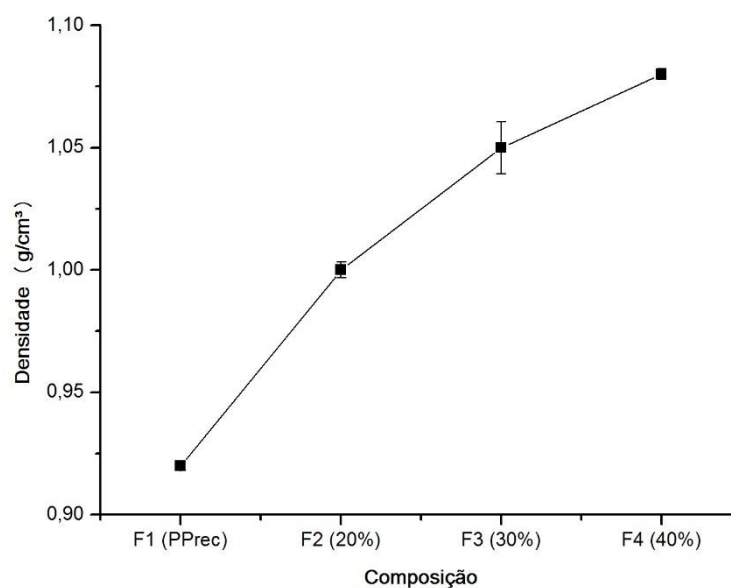
Figura 7 – Variação do índice de fluidez com os percentuais de fibra



A densidade não apresentou grandes variações quando comparada com o índice de fluidez que reduziu aproximadamente 77% entre as formulações F1 e F4. Com o aumento do percentual de fibras, houve o aumento da densidade. Este resultado era esperado e é justificado pelo fato de a farinha de madeira ter uma densidade superior à da resina.

A densidade do compósito é importante porque influenciará diretamente no peso dos produtos em que o material será aplicado. Materiais mais leves são ergonomicamente favoráveis, pois proporcionam menores riscos do trabalhador adquirir doenças do trabalho e aumentam a produtividade.

Figura 8 - Variação da densidade com os percentuais de fibra



5.2 Caracterização da farinha de madeira.

5.2.1 Caracterização da Farinha Grossa

Utilizou-se um conjunto de peneiras, cujas malhas estão indicadas na tabela 2. Após a classificação, mediu-se a quantidade de material retido em cada peneira e obteve-se sete grupos de tamanho de partículas diferentes.

Os dados indicam que aproximadamente 68% das partículas de madeira apresentam um tamanho médio acima de 841 μm , porém toda amostragem foi usada como fase dispersa e não apenas esta fração granulométrica específica.

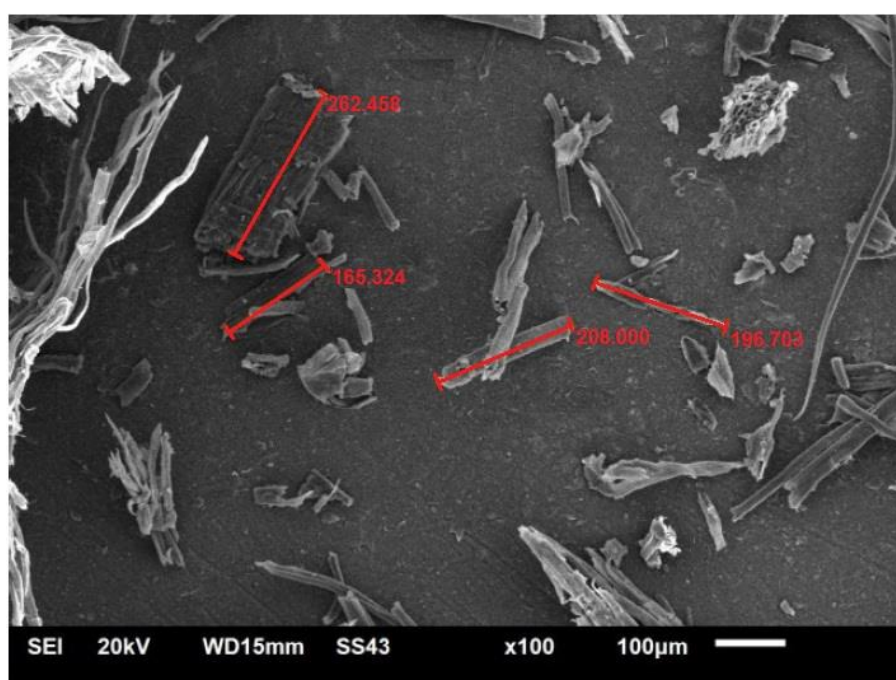
Tabela 2 - Descrição de malhas das peneiras, utilizadas na caracterização das partículas de madeira e o resultado da distribuição de tamanho de partículas de madeira.

Malha ASTM	Abertura da peneira (µm)	Tamanho médio das partículas (µm)	% Retirada FG
20	841	Acima de 841	68
30	595	718	15
40	420	507,5	8
50	297	358,5	4
70	210	253,5	3
100	149	179,5	2
Fundo		Menor que 149	1

5.2.2 Caracterização da Farinha Fina

Após o peneiramento a morfologia foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Através da Figura 9 pode ser visto o tamanho das partículas, nesta figura o tamanho de partículas para a farinha fina está entre 165,324 µm a 262,458 µm. O tamanho médio encontrado após as vinte medições foi de $207 \pm 86,3 \mu\text{m}$

Figura 9 - Farinha fina (FF) e tamanho de partícula

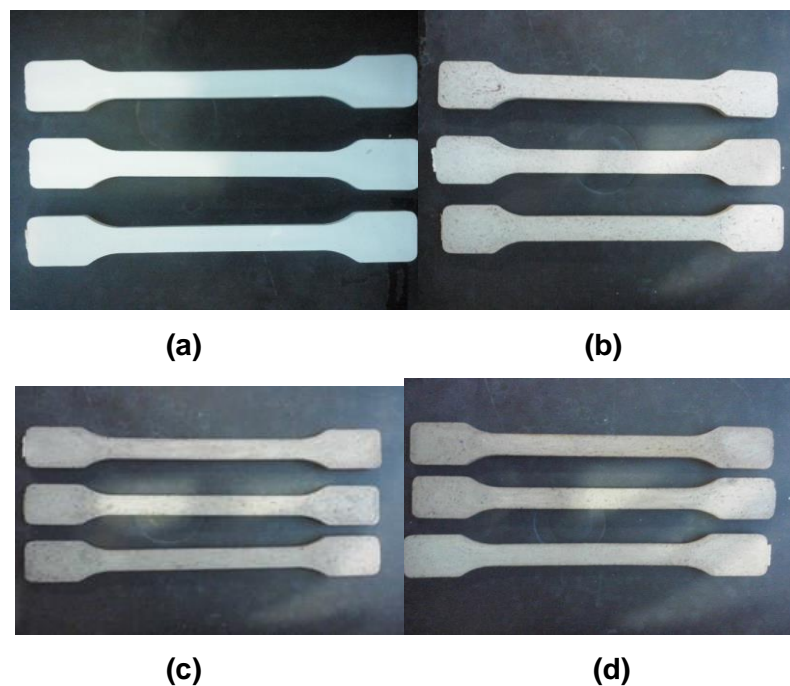


5.3 Propriedades mecânicas

5.3.1 Avaliação do percentual de farinha de madeira

Conforme visualizado no Quadro 1, as formulações F2, F3 e F4 foram processadas com 20%, 30% e 40% de farinha de madeira (FG), respectivamente, e seus corpos de prova foram injetados para avaliação do comportamento mecânico comparativamente com F1. Na Figura 10 são apresentados os corpos de prova obtidos com as formulações processadas.

Figura 10 - Corpos de prova com diferentes concentrações da FG. (a) Polímero reciclado puro; (b) 20% de FG; (c) 30% de FG; (d) 40% de FG.



Nos ensaios mecânicos foram avaliadas três propriedades: tensão máxima na tração e flexão e a resistência ao impacto. Essas três propriedades correspondem aos esforços mais exigidos em aplicações de compósitos polímero/madeira, seja na construção civil, fabricação de móveis ou outra aplicação correlata tais como formagem de concreto, caibros, ripas, decks, pallets, pergolados, dentre outras.

As Figuras 11 e 12 mostram respectivamente, o módulo elástico e a tensão máxima sob flexão dos compósitos e do PPreco puro. Observa-se que houve um aumento significativo do módulo elástico com relação ao polímero puro. A formulação com 40% de madeira (F4) apresentou um aumento de 373% no módulo elástico quando comparado ao polímero puro. Este comportamento já era esperado considerando que a farinha de madeira é uma constituinte com maior rigidez quando comparada a matriz polimérica, resultando em um produto com maior módulo elástico e menor deformação, este comportamento também foi verificado por Lisperguer e colaboradores (2013).

Apesar da ascensão do incremento do módulo elástico acompanhar o aumento do percentual de farinha de madeira, verificou-se que a tensão máxima sob flexão aumentou em F2 e em F3 e F4 foi reduzida em até 25%. Este comportamento se deve ao fato do aumento do percentual de farinha de madeira atuar como defeito estrutural no compósito. Comportamento semelhante foi observado nos trabalhos de Lisperguer e colaboradores (2013)

Figura 11 – Módulo elástico de formulações com diferentes concentrações de FG.

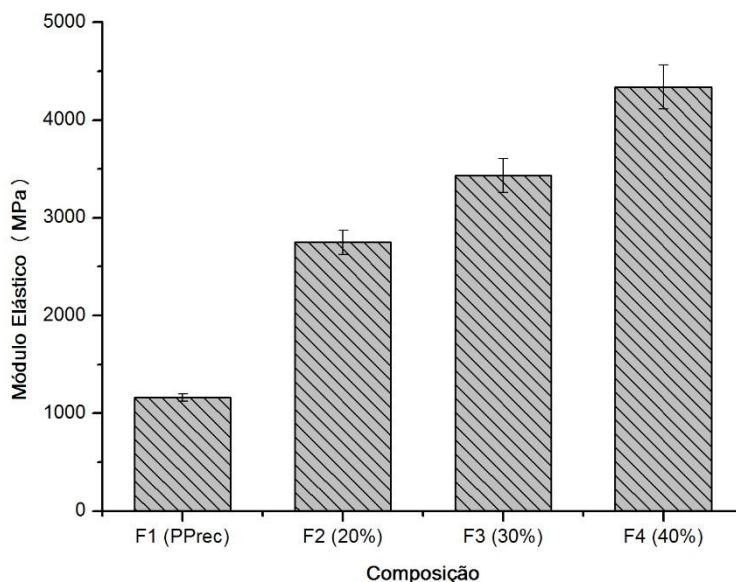
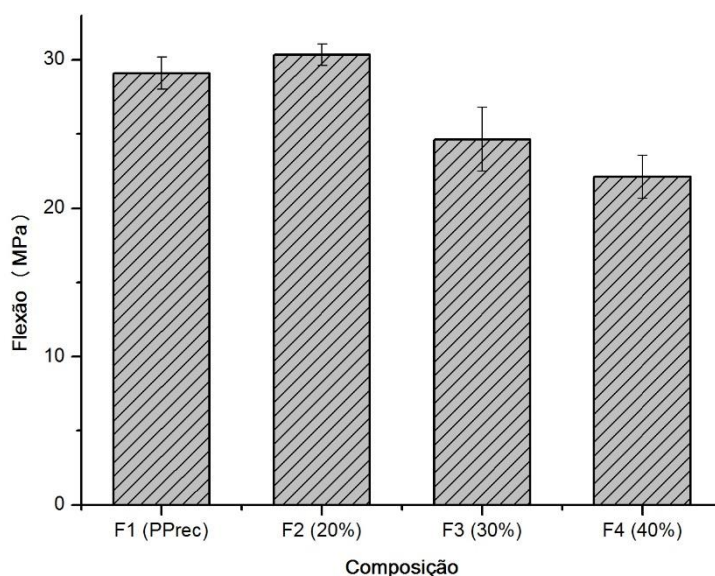


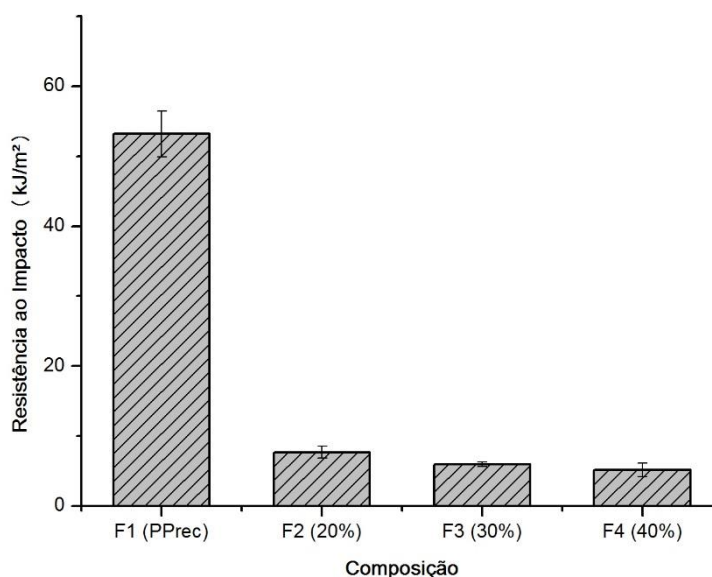
Figura 12 – Tensão máxima sob flexão de formulações com diferentes concentrações de FG.



Quanto à resistência ao impacto (figura 13) verifica-se uma perda significativa desta propriedade com a presença da farinha de madeira. Como a farinha de madeira aumenta a rigidez dos compósitos, tornou o sistema menos tenaz e, conseqüentemente, reduzindo a resistência ao impacto (AZEVEDO, 2013; LISPERGUER et al, 2013). Segundo Mondardo (2012) citado por Batistele (2014), diversos estudos demonstraram que as fibras curtas melhoram a rigidez do produto final, porém prejudicam os resultados de resistência ao impacto. Em F2 houve a redução de 85% quando comparado ao polímero reciclado puro. Para F3 e F4 essa redução foi de 88% e 90%, respectivamente. Com o aumento da concentração de farinha de madeira pode-se também aumentar a probabilidade de formação de aglomerados de carga que atuam como concentradores de tensão, proporcionando a formação de trincas o que reduz a energia absorvida sob impacto. (BATTISTELLE, 2014).

Lisperguer e colaboradores (2013) citam o trabalho realizado por Spinacé e colaboradores (2009), o qual estudaram a resistência ao impacto em compósitos de PPrec com 20%, 30% e 40% de fibra de Carauá. Foi observado, tal como neste trabalho, que o melhor resultado de resistência ao impacto foi na composição que continha 20% de fibras.

Figura 13 – Resistência ao impacto de formulações com diferentes concentrações de FG.



Na construção civil, é usado o compensado plastificado para a formagem do concreto, este material é fabricado a partir de madeira recoberto com uma resina fenólica para diminuir a aderência do concreto à madeira. Uma vez usado, o compensado é descartado. O material desenvolvido neste trabalho visa também, como futura aplicação, a substituição do compensado plastificado, eliminando a resina fenólica que é um material cancerígeno e o reprocessamento após o uso, evitando assim o descarte, conseqüentemente reduzindo o consumo de madeira.

Portanto, objetivando desenvolver um compósito e sabendo que a flexão nas aplicações deste tipo de material é o esforço ao qual é mais submetido, a formulação F2 apresenta melhor combinação de propriedades para uma futura aplicação. Visto que, houve aumento na resistência à flexão, menor redução na resistência ao impacto e considerável aumento no módulo elástico. Outro fator importante é que F2 ainda mantém um bom índice de fluidez para ser processado

5.3.2 Avaliação da granulometria da farinha de madeira e dos compatibilizantes CAM e CMIX

Considerando que na avaliação do percentual de fibras realizado com a farinha de madeira de 807 μ m (FG) os melhores resultados foram obtidos com compósitos tendo 20% de fibras, F2, e buscando uma melhor interação entre as fases

polímero/farinha de madeira, buscou-se a utilização de farinha de madeira com menor granulometria. Sendo assim, foi utilizada uma farinha de madeira com 207 μ m. Observa-se uma variação significativa no tamanho das partículas de madeira utilizadas nas formulações. A partícula de madeira das formulações processadas anteriormente (F2 a F4) é 4 vezes maior que a partícula de madeira denominada de fina (FF). A princípio a interação entre os componentes na região interfacial depende de dois fatores: o grau de contato (molhabilidade) das superfícies na interface e as forças coesivas ou de adesão nesta região. Uma boa adesão física é controlada por um bom molhamento entre a fibra e a matriz, que por sua vez depende fortemente da energia de superfície dos materiais envolvidos. A energia de superfície é maior com partículas pequenas.

Então, nesta etapa foi realizado um estudo comparativo das formulações com 20% de FF (F6) e com 20% de FG (F2) a fim de avaliar se o mesmo comportamento também é verificado em matrizes poliméricas recicladas. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 14, 15 e 16.

Na Figura 14 é verificado que o uso de FF na formulação F6 resultou em um aumento de 46% da Tensão Máxima sob Flexão quando comparado ao polímero puro (F1) e de 40% quando comparado a F2 que contém FG. Este comportamento deve-se ao melhor ancoramento entre as fases, devido à menor granulometria da farinha de madeira.

Para a propriedade de tensão máxima na flexão (Figuras 14 e 15), observa-se que a formulação com FG e aditivos (F2) apresentou menor resultado, menor inclusive, do que F5 que contém FG e não contém aditivos, este comportamento não foi evidenciado em outros trabalhos. Para as formulações com FF (F6 e F7) a presença de CAM e CMIX não influenciou significativamente pois não houve variação significativa.

Figura 14– Tensão máxima na flexão: comparação entre as granulometrias.

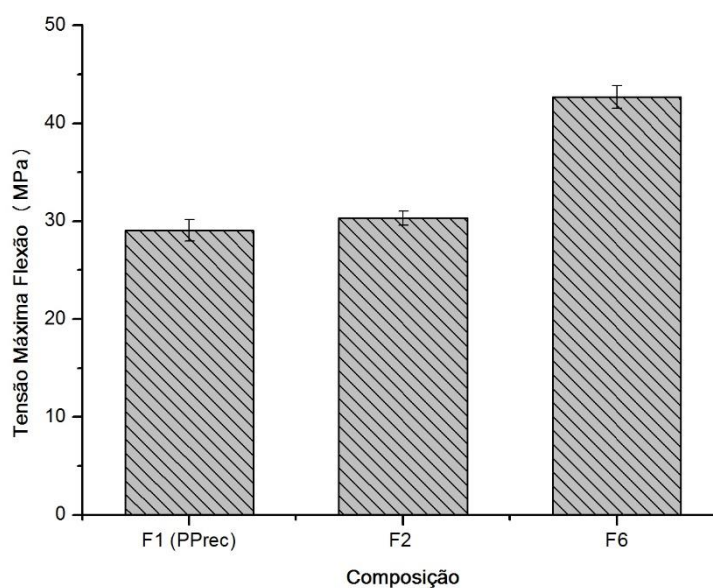
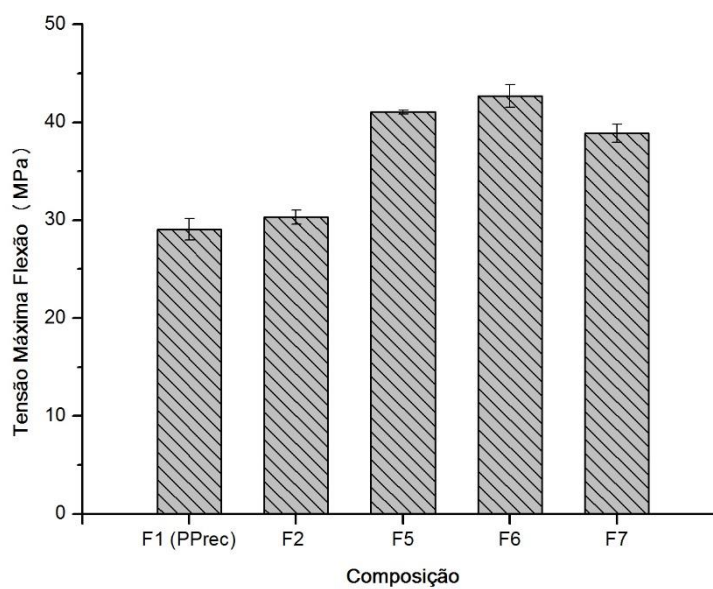


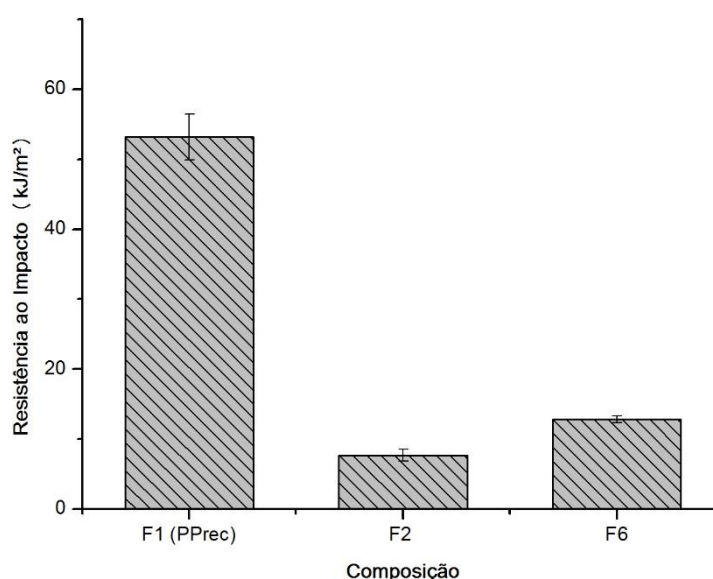
Figura 15 - Tensão máxima flexão: avaliação da presença de CAM E CMIX



Os resultados de resistência ao impacto (Figura 16) mostram que esta propriedade aumentou 66% comparando-se F6 a F2, o aumento no resultado desta propriedade evidenciando novamente a maior interação da fibra de menor granulometria com matriz.

Lisperguer e colaboradores (2013), utilizaram granulometrias de 60 e 100 mesh e, para formulações com anidrido maleico, obtiveram resultados similares aos verificados neste trabalho, incremento das propriedades de flexão e resistência ao impacto quando usado uma granulometria menor.

Figura 16 – Resistência ao impacto de formulações com FF e FG



O polímero utilizado como matriz é uma resina reciclada. Sendo assim, foram avaliadas formulações sem o uso de compatibilizantes para as duas granulometrias de farinha de madeira, já que existe pouca literatura com matriz polimérica reciclada variando a granulometria e o uso de compatibilizante, podendo os compatibilizantes atuar de forma distinta ao comportamento esperado.

Em trabalhos anteriores (LISPERGUER et al, 2013; CORREA et al, 2003; JAFELICE, 2013) o uso de agente compatibilizante incrementou significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos, embora o único que usou matriz reciclada foi Lisperguer e colaboradores (2013). Neste trabalho não foi evidenciado melhora

significativa com o acréscimo do agente compatibilizante CAM e com a mistura CMIX que também contém agente compatibilizante, e isso é atribuído ao fato do PPrece estar contaminado por outras resinas que não apresentam compatibilidade com os agentes de acoplamento usados. Essa atribuição também foi evidenciada por Lisperguer e colaboradores (2013) citando Al-Salem e colaboradores (2009) quando é afirmado que o PPrece pode estar contaminado por outros termoplásticos quando as tecnologias de reciclagem não são eficientes ocasionando decréscimos nas propriedades devido a contaminação. A contaminação do PPrece é evidenciada através da calorimetria exploratória diferencial e da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier.

Por outro lado, a diminuição da granulometria da farinha de madeira permite um melhor ancoramento entre as fases, o que pode justificar o aumento da tensão na formulação utilizando FF e compatibilizantes (F6). A formulação de FF sem compatibilizantes (F7) apresenta uma redução de aproximadamente 10% quando comparada a F6.

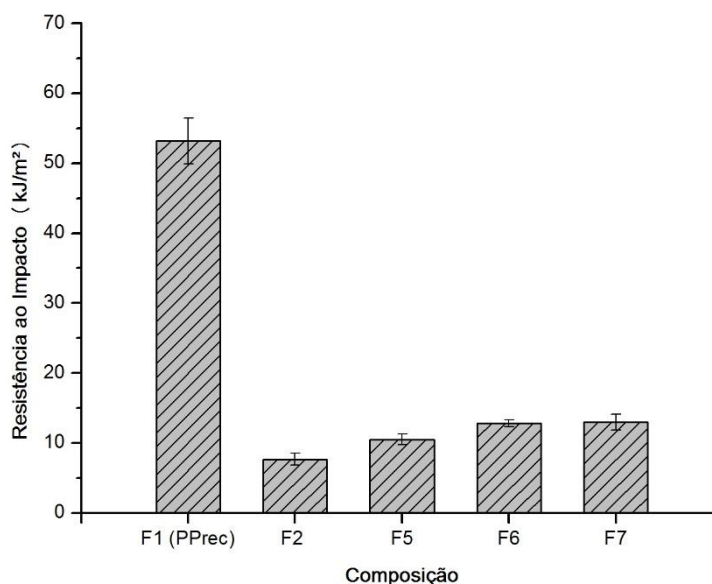
Os valores de resistência ao impacto de F6 e F7 são similares (Figura 17), esta propriedade, quando comparada à formulação contendo FG e aditivos (F2), apresentou um aumento de 68%. A resistência ao impacto da formulação com FG sem aditivo apresentou resultados superiores à formulação com aditivos, reforçando a hipótese de que os aditivos não são compatíveis com a resina reciclada. Este comportamento de decréscimo na resistência ao impacto nas formulações que contém FG com e sem aditivos, assim como na tensão máxima na tração, não foi verificado em trabalhos anteriores.

Os melhores resultados obtidos com as formulações contendo FF podem ser justificados devido ao melhor ancoramento entre as fases e não devido à presença dos compatibilizantes.

Considerando apenas os resultados nas propriedades de tensão máxima na flexão e a resistência ao impacto, a melhor formulação para uma futura aplicação considerando as propriedades mecânicas é F6. Porém, o custo do PP modificado com anidrido maléico é alto e não viabiliza o seu uso para um baixo incremento, quando se compara F6 a F7 que não possui aditivos na sua formulação. Portanto, avaliando-

se a granulometria, os agentes de acoplamento e os custos, a formulação F7 apresenta melhores condições para aplicações futuras.

Figura 17 - Resistência ao impacto: avaliação da presença de CAM E CMIX



5.3.3 Avaliação da granulometria da farinha de madeira, dos compatibilizantes Protack e CMIX.

A fim de verificar a interação de compatibilizantes com a matriz polimérica reciclada, outro compatibilizante foi usado na confecção dos compósitos. Foi utilizado um compatibilizante a base de poliéster – glicol, de nome comercial Protack RA- C70.

O PTK, fornecido pela Inoquímica, segundo ficha técnica, é um polímero termoplástico de base poliéster-glicol de baixo peso molecular e alto teor de glicol, apresenta densidade entre 1,18 e 1,25 g/cm³. É compatível com a maioria dos elastômeros e plásticos, e o teor a ser empregado depende do tipo de polímero, teor de cargas, de plastificante, dureza e especificações de cada formulação. A sua função em compósitos é modificar o polímero base e auxiliar durante o processamento. Ele atua quebrando as tensões superficiais entre as fases, transferindo características viscoelásticas. Para o uso com polipropileno, o fabricante recomenda entre 0,2 e 2% (Inoquímica, 2015).

A avaliação do PTK foi realizada de forma análoga à do CAM, variou-se a granulometria da fibra na presença e ausência do compatibilizante. Porém, também foi avaliado a influência do compatibilizante CMIX, retirando-o da formulação (F8 e F10).

As composições avaliadas neste tópico podem ser visualizadas no quadro abaixo.

Quadro 2 - Formulações 2

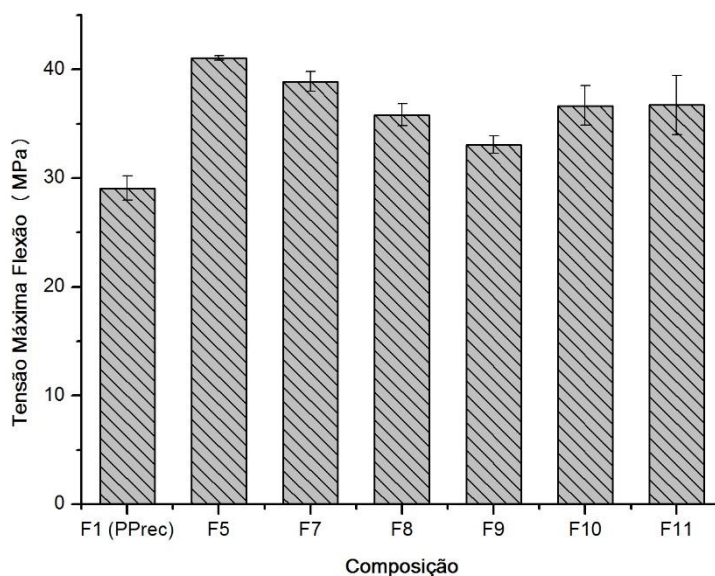
Formulações	PP Rec	FG	FF	CMIX	PTK	Carbonato de cálcio	Total
F1	100%						100%
F5	70%	20%				10%	100%
F7	70%		20%			10%	100%
F8	68%	20%			2%	10%	100%
F9	62%	20%		6%	2%	10%	100%
F10	68%		20%		2%	10%	100%
F11	62%		20%	6%	2%	10%	100%

Avaliando apenas a influência da presença do PTK e do CMIX na tensão máxima sob flexão (Figura 18), observou-se que não foi proporcionado incremento nesta propriedade, quando comparado às formulações sem estes compatibilizantes (F5 e F7), outrossim foi verificado o decréscimo. Assim como o CAM, o PTK também não possui afinidade com a matriz polimérica reciclada devido a contaminação da matriz polimérica, possuindo a mesma justificativa.

Considerando as formulações com compatibilizantes (PTK e CMIX), verifica-se que houve pouca variação, com um brando incremento nas formulações com a FF (F10 e F11). Mostrando, assim como nas formulações com o CAM, que a FF proporciona um maior molhabilidade e interação com a matriz polimérica.

A ausência do CMIX não proporcionou variações relevantes, podendo este ser retirado da formulação sem prejuízos às propriedades mecânicas, além de tornar mais viável o custo de produção em uma futura aplicação do material.

Figura 18 – Tensão Máxima Flexão: Avaliação dos compatibilizantes PTK e CMIX



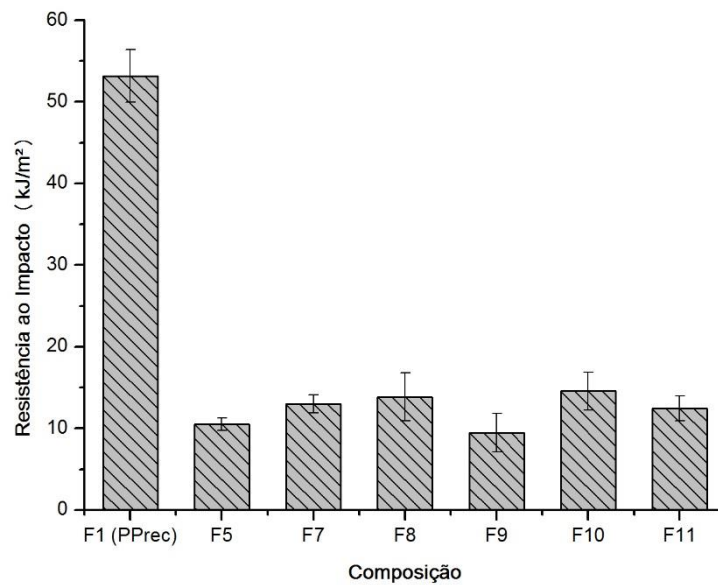
Para resistência ao impacto (Figura 19), verifica-se que os melhores resultados são observados nas formulações sem o CMIX (F8 e F10), mostrando que este aditivo pode estar restringindo o ancoramento entre as fases e, assim, reduzindo a resistência ao impacto. A variação dos resultados obtidos para resistência ao impacto nas amostras com o PTK foi maior do que nas análises realizadas, anteriormente, com o CAM, resultando em maiores desvios padrões e maiores valores nesta propriedade. O maior desvio padrão pode estar relacionado à menor homogeneização que o PTK proporciona, mesmo com melhores resultados de resistência ao impacto, resultando em corpos de provas com variações.

Verifica-se que a formulação com FF e o PTK (F10) apresentou os melhores resultados de resistência ao impacto, sendo menor apenas que o PPrec puro. Comparando com a formulação que utilizou FF sem a presença de aditivos (F7) verifica-se um aumento de aproximadamente 14% nesta propriedade.

Para a resistência ao impacto deve-se considerar o mecanismo de fratura sofrido pelo material, esta propriedade é uma combinação entre resistência, rigidez e tenacidade. Em geral, sistemas mais tenazes são também mais resistentes ao impacto (Azevedo, 2013). A adição do Protack na matriz polimérica pode ter

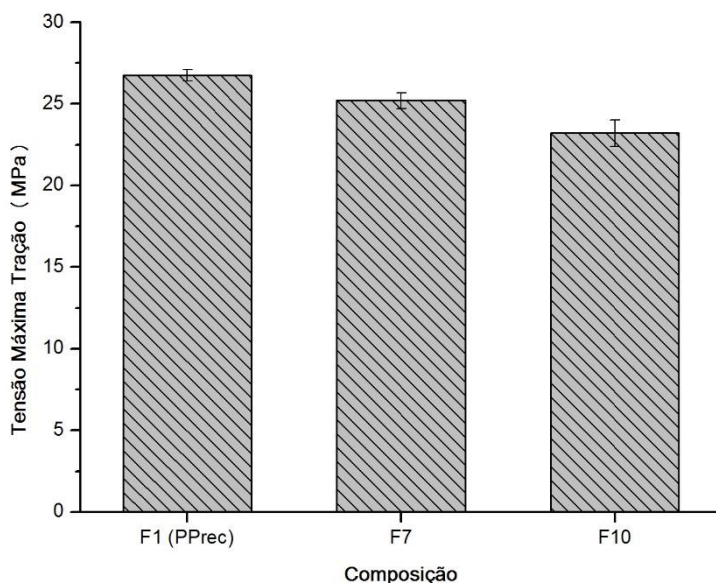
proporcionado a interrupção de propagação das trincas que, durante o tensionamento do polímero, absorveu mais energia aumentando a resistência ao impacto do sistema.

Figura 19 – Resistência ao Impacto: Avaliação dos compatibilizantes PTK e CMIX



Tendo F7 (sem aditivos) como a formulação mais indicada para uma futura aplicação através dos testes realizados com CAM e CMIX e F10 como a formulação que obteve os melhores resultados de resistência ao impacto, foi avaliada a tensão máxima sob tração destas formulações comparativamente com a matriz polimérica reciclada pura (F1).

Figura 20 - Tensão Máxima sob Tração: Avaliação de F7 e F10 em relação a F1



Para a tensão máxima sob tração, o comportamento dos compósitos estudados neste trabalho foi semelhante ao encontrado por Lisperguer e colaboradores (2013) e Jafelice (2013). Nestes dois trabalhos, também houve a redução nesta propriedade com a adição de farinha de madeira e incremento com a adição de compatibilizante, que na grande maioria das formulações, os resultados foram inferiores ao da matriz polimérica reciclada pura.

5.4 Microscopia eletrônica de varredura

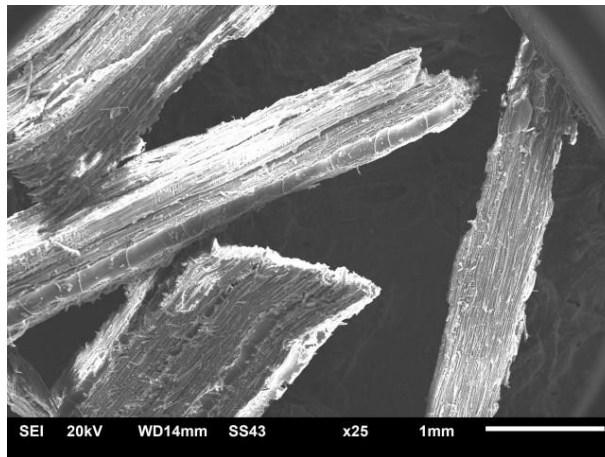
As microscopias foram realizadas a partir da superfície de fratura após impacto.

Através das imagens de MEV das figuras 21 a 27 foram observados que:

- A fibra apresenta superfície rugosa constituída de microfibrilas
- O compósito com PTK (F10) não houve uma boa adesão da fibra ao polímero
- A formulação com FG e CAM (F2) apresenta regiões com descontinuidade (vazios) evidenciando a baixa interação entre a FG com a matriz de PPrec com CAM.

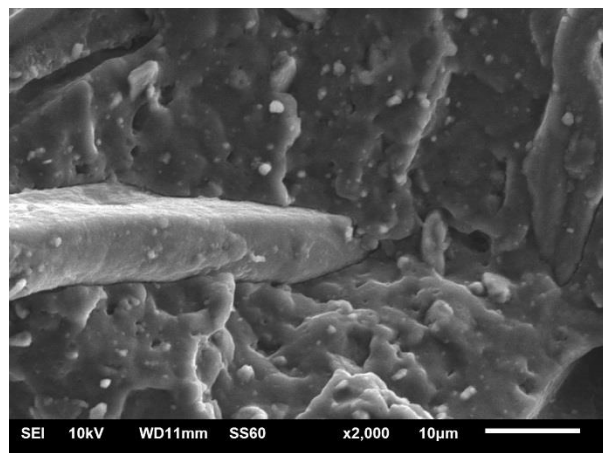
- A formulação com FF (F6) possui melhor dispersão do que F5 e F2 que contém FG evidenciando os melhores resultados com a FF.

Figura 21 – MEV da FG



Na Figura 22 que contém FF e PTK na formulação, pode-se perceber que a adesão da fibra a matriz não foi suficientemente eficaz para que na fratura do material a fibra rompesse, apresenta também parte da fibra não molhada pela matriz polimérica.

Figura 22 – MEV da formulação F10 (20% FF e 2% PTK)



Nas imagens 23 e 24 ambas formulações contém os mesmos percentuais de compatibilizantes e de fibra, porém granulometrias de fibra diferentes. Na imagem que a formulação foi realizada com a FG (figura 23) existem descontinuidades que não são evidenciadas na figura 24 cuja formulação contém FF, mostrando que a FF possui uma melhor dispersão na mistura.

Figura 23 – MEV da formulação F2 (20% FG, 3% CAM e 6% CMIX)

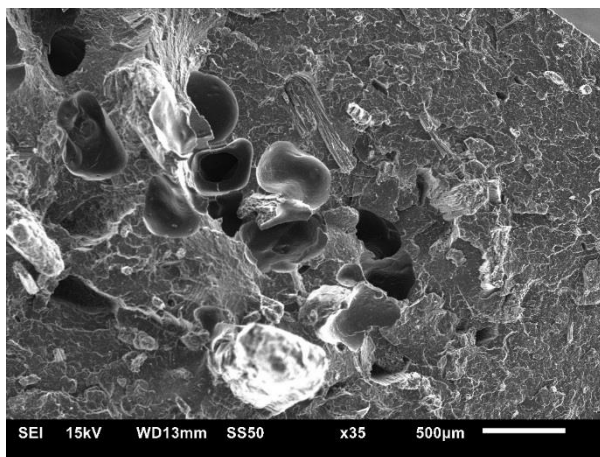
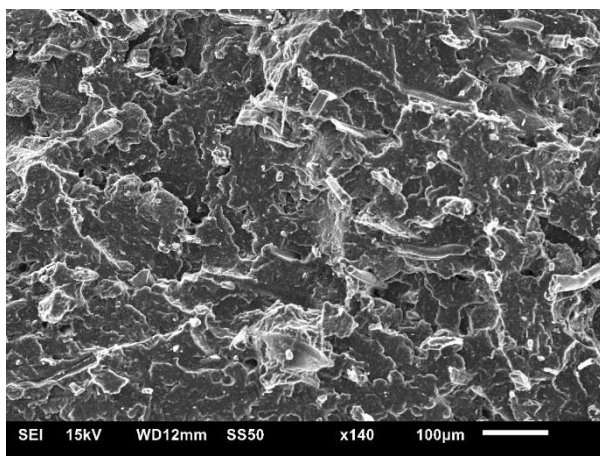
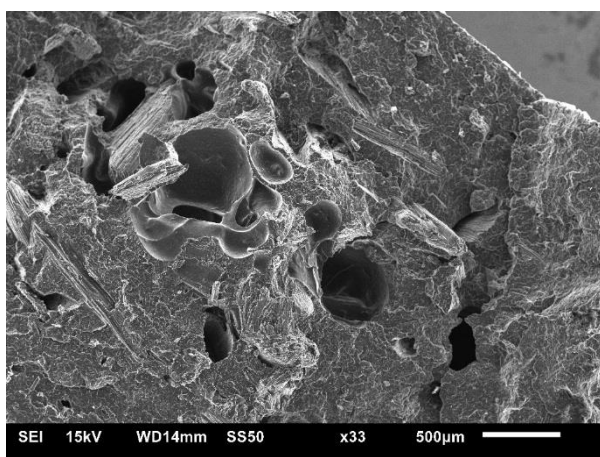


Figura 24 – MEV da formulação F6 (20% FF, 3% CAM e 6% CMIX)



Comparando-se as figuras 23 e 25 que possuem FG na formulação, porém na formulação da figura 25 não há a presença de compatibilizantes, observa-se as descontinuidades e pouca dispersão das fibras, evidenciando que a presença dos compatibilizantes não proporcionou melhorias na estrutura do material.

Figura 25 – MEV da formulação F5 (20% FG)



Também pode ser observado, através das figuras 26 e 27, que o compósito F11 (com CMIX) em relação ao F10 (sem CMIX) possui mais áreas passíveis de falha quando o material for submetido ao esforço mecânico, sendo um item que contribuiu para a redução mais acentuada nas propriedades mecânicas desta formulação (F11). As áreas circuladas nas figuras 26 e 27 mostram áreas que não houve boa adesão interfacial, resultando em falhas que podem ser futuros pontos de fratura do compósito, tornando o material mais frágil.

Figura 26: MEV da formulação F11 (20%FF, 6% CMIX e 2% PTK)

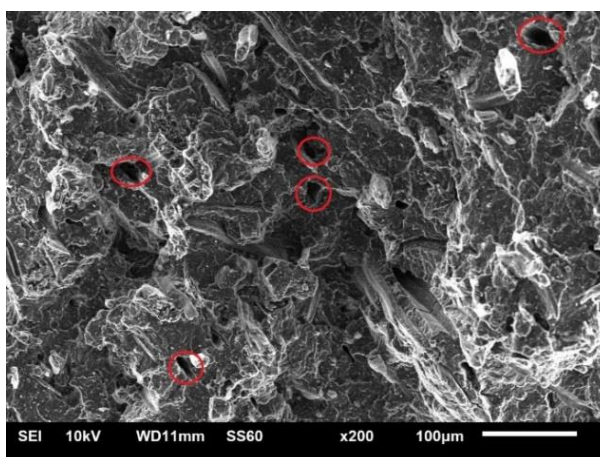
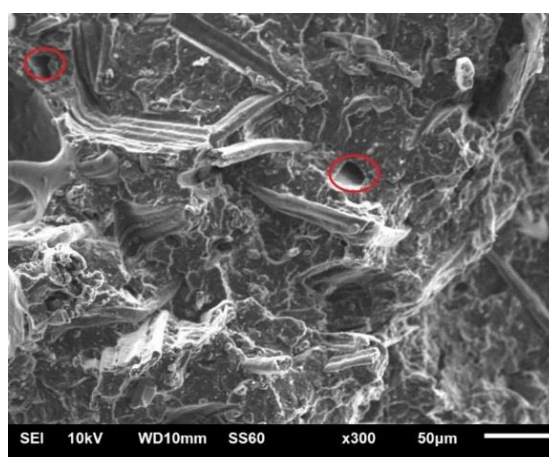


Figura 27: MEV da formulação F10 (20%FF e 2% PTK)



5.5 Calorimetria exploratória diferencial

A calorimetria exploratória diferencial foi realizada devido à suspeita de contaminação da matriz polimérica reciclada, já que a inserção dos compatibilizantes nas formulações não tiveram o resultado esperado através da experiência do grupo de pesquisa e nem evidenciado em trabalhos anteriores.

Nas figuras 28 e 29 correspondentes aos termogramas para o 1º e 2º aquecimento, é possível visualizar dois eventos endotérmicos, sendo o primeiro em torno de 127°C e o segundo em 165°C. Ambos picos possuem os mesmos valores

para o 1º e 2º aquecimento. Não foram evidenciadas mudanças significativas para os dois aquecimentos.

Figura 28 – 1º Aquecimento

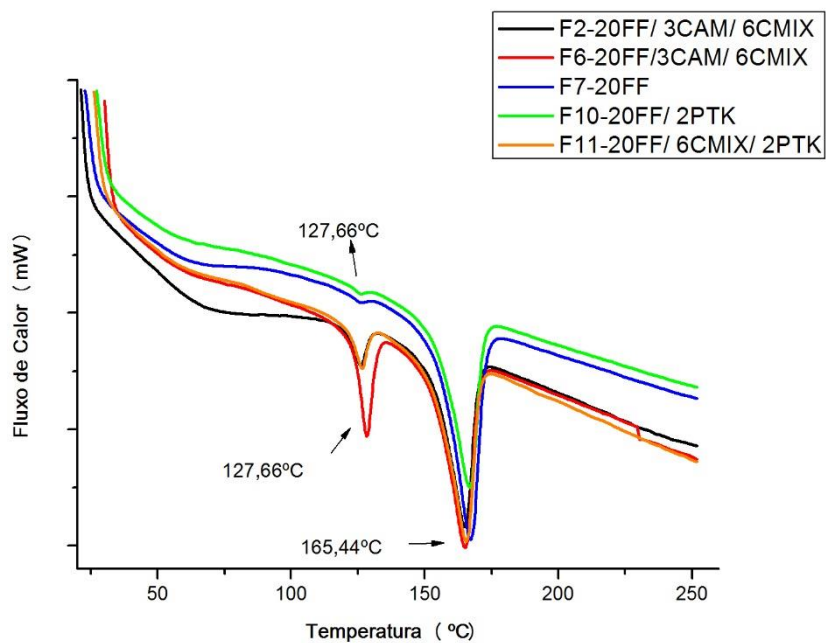
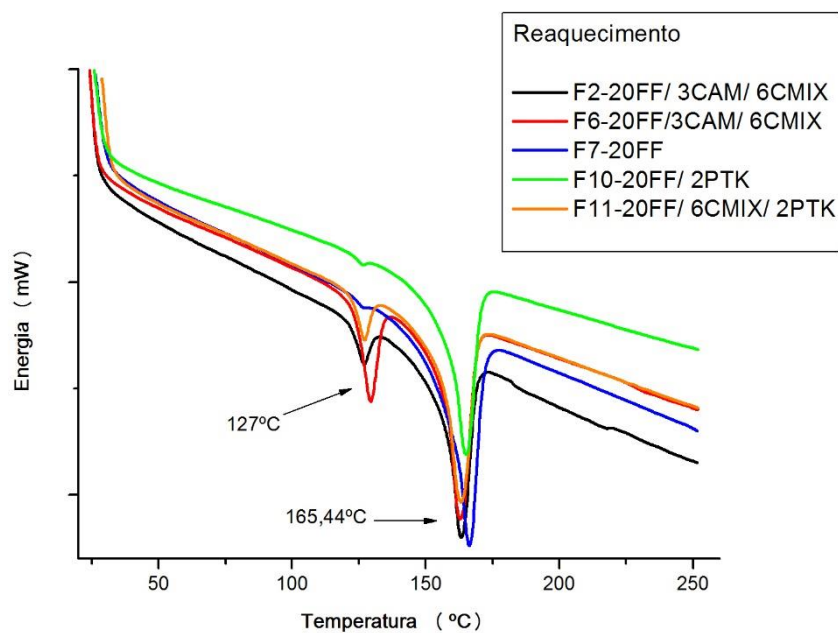


Figura 29 - 2º aquecimento

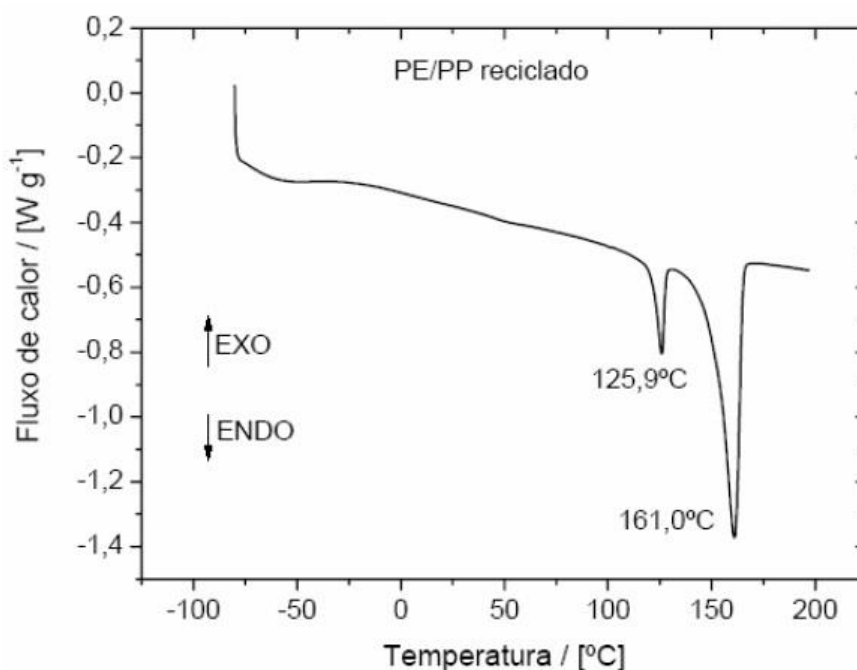


De acordo com estudos realizados por Faria, Wisbeck e Dias (2015), EMBRAPA (2008) e Lisperguer e colaboradores (2013) os pontos de fusão do PPreco obtidos através de DSC foram, respectivamente, 174°C, 161°C e 166,7, o deste trabalho foi 165,44°C. EMBRAPA (2008) e Pistor, Chiesa e Zattera (2010) obtiveram o ponto de fusão do PPreco com os respectivos valores 125,9°C e 123,5°C.

Considerando os valores encontrados nos estudos anteriores supracitados, para a temperatura de fusão do PPreco e do PPreco e comparando-os com o deste trabalho, é evidenciado que o PPreco usado neste trabalho está contaminado com PPreco, o que contribui para a não afinidade dos agentes de acoplamento usados com a matriz polimérica reciclada.

Na figura abaixo, que contém a blenda de PE e PP reciclados, feitas pela EMBRAPA (2008), pode ser visualizada a semelhança entre os eventos endotérmicos da blenda da EMBRAPA (2008) com os eventos endotérmicos das figuras 28 e 29 que possuem resina de PPreco contaminado com PPreco usadas no desenvolvimento deste trabalho.

Figura 30 - DSC de blenda de PPreco/PPrec produzida pela EMBRAPA



Fonte – EMBRAPA (2008)

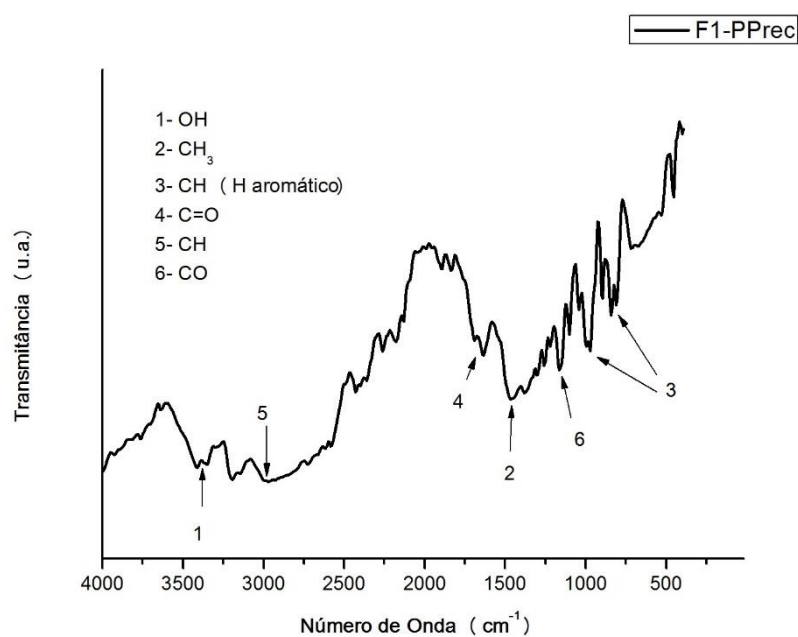
5.6 Espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier

Para confirmar a presença dos aditivos, carga e outros componentes indesejados oriundos do processo de reciclagem da matriz polimérica, foi realizada a análise de FTIR. No quadro 3, os grupos funcionais, comprimento de onda e componentes correlatos estão listados. Através destas informações, foram identificadas as ligações químicas evidenciadas no espectro e identificados os componentes correspondentes que estão contidos no material.

Quadro 3 – Relação de nº de onda, ligações, componentes correspondentes e grupos funcionais.

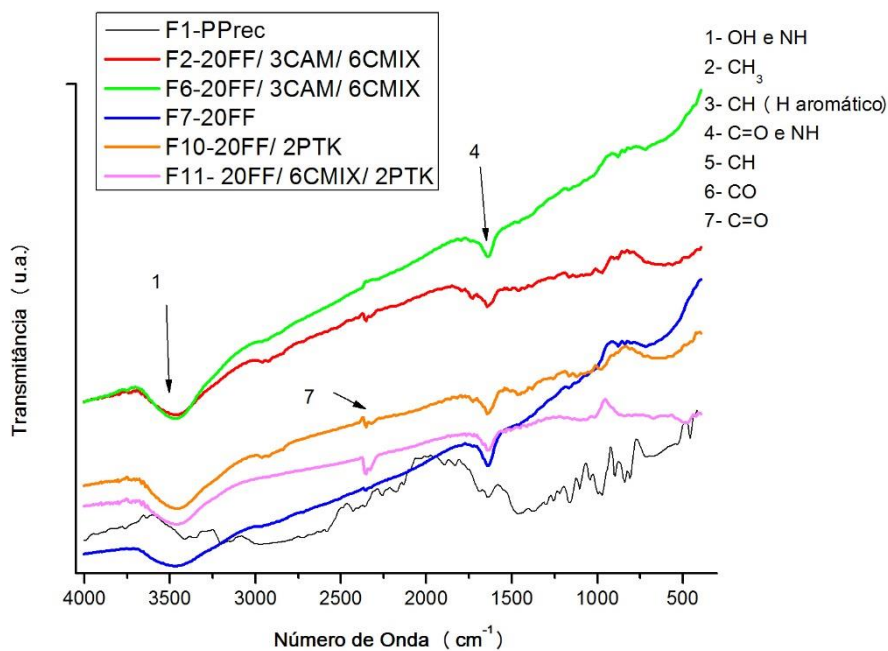
Evidenciada em	Comprimento de onda (cm-1)	Ligação	Referência
PP	3000-2850	Estiramento C-H	Bécker (2002)/Agilent Technologies
	1450-1375	Deformação C-H3	
Poliéster	1705	Carbonila	Azevedo (2013) apud Moghaddam et al. (2006).
	2920/1017	C-H	
PET/ Ésteres/ ácidos	1725	C=O	Gonçalves (2013) apud YANG et al (2007) e MORAN et al (2008)
PEAD	2915	Estiramento simétrico C-H	
	2840	Estiramento assimétrico C-H	
	1466	Deformação C-H	
	720	Deformação C-H	
	700-900	CH (H aromático)	
Lignina /celulose/ hemicelulose	4000-2995	OH de ácidos e metanol	
Aminas primárias e secundárias	3500-3100	Estiramento NH	Agilent Technologies
	1640-1550	Deformação NH	

Figura 31 – Espectro de I.R. da PPre



Avaliando o espectro de F1 (figura 31), que corresponde à matriz reciclada sem a adição de carga e aditivos, é possível evidenciar a presença de ligações CH e CH₃ encontradas em polímeros como o PP e o PE e outras ligações contendo oxigênio como CO, OH e C=O que não são características do PP, mas estão presentes em polímeros como o PET.

Figura 32 – Espectro de I.R. das formulações



Avaliando o espectro dos compósitos, (figura 32), observa-se em F2, F6, F7, F10 e F11 uma curva característica de fibras vegetais, correspondente as ligações OH de ácidos e metanol ($4000-2995\text{ cm}^{-1}$), presentes na lignina, celulose e hemicelulose.

Observa-se nos espectros de F2, F6, F7, F10 e F11, indicado no gráfico como sendo o nº 4, uma curva correspondente às ligações NH e C=O. A ligação C=O é encontrada no anidrido maleico e na caprolactama um dos componentes do PTK. A ligação NH refere-se também a caprolactama do PTK.

6 CONCLUSÃO

Com a inserção da farinha de madeira a densidade manteve-se com poucas alterações. O índice de fluidez reduziu proporcionalmente à adição de farinha de madeira.

Formulações com 20% de farinha de madeira apresentam melhores resultados do que as formulações com percentuais maiores (30% e 40%).

A farinha de Madeira com menor granulometria (207 μm) resulta em melhor ancoramento na matriz que a farinha de madeira com maior granulometria (841 μm), resultando em melhores propriedades mecânicas.

O uso de compatibilizante em compósitos com PP reciclado influenciou negativamente as propriedades mecânicas, inclusive prejudicando o ancoramento entre as fases. Isso, devido à contaminação do PP reciclado por PE e PET, prejudicando assim a funcionalidade dos compatibilizantes.

A matriz polimérica reciclada estava contaminada com outros polímeros, prejudicando a atuação dos agentes compatibilizantes. Essa contaminação foi evidenciada através da calorimetria exploratória diferencial e da espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier. Então é importante a garantia da pureza da resina durante o processo de reciclagem e a confiabilidade no reciclador.

Dentre as formulações avaliadas, a que apresenta melhores condições de emprego em aplicações de compósitos polímero/madeira é a formulação F7. Essas aplicações podem ser na fabricação de pallets, móveis e a substituição do compensado plastificado usado na construção civil.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo comparativo dos compósitos de resina reciclada com compósitos de resina virgem
- Estudo da melhoria da resistência ao impacto através do uso de modificadores de impacto

8 REFERÊNCIAS

ABIPLAST, 2015. Disponível em

http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015_ok.pdf Acessado em 27/12/2016

ABIPLAST, 2011 Disponível em

http://file.sindiplast.org.br/download/guia_ambiental_internet.pdf pdf Acessado em 27/12/2016

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM 6913-04. **Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis**, 2009

AGILENTE TECHNOLOGIES. Disponível em

http://www.agilent.com/cs/library/slidepresentation/Public/FTIR%20polimeros%20QA_QC_Amparo_ESEMINAR.PDF Acessado em 04/01/2017

AZEVEDO, J. B. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos PBAT-amido/casca de arroz**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) -. Universidade Federal de Campina Grande, PB, Campina Grande .

BATTISTELLE, R et al, **Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos**, Matéria, 19, pp.7-15, 2014.

BARBOSA, T.F. **Estudo do uso de fibras vegetais no reforço de compósitos de matriz polimérica**. 2013. TCC (Bacharelado em Engenharia Química)- Universidade Salvador, Ba, Salvador

BECKER, D. **Blendas de PP/PU: Estudo do efeito do agente compatibilizante e reciclagem de resíduos de PU**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Florianópolis

BECKER, D et al. **Influência da Sequência de Mistura do PP-MA nas propriedades dos compósitos de PP e fibra de bananeira**. Polímeros, 21, nº1, 7-12, 2011

BRASKEM, 2015. Disponível em: <http://www.braskem-ri.com.br/o-setor-petroquimico>> Acessado 26/03/2016

BRASKEM 2010 disponível em http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Resistencia_quimica%20_PP.pdf Acessado em 29/12/2016

CALLISTER, Jr. W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 7ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, 2008.

CANEVAROLO, Jr. S.V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª Edição. São Paulo: Artliber Editora, 2006

CONAB. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_10_29_11_45_31_sisal2012.pdf> Acessado 26/03/2016

CORREA, C.A et al. **Compósitos termoplásticos com madeira**. Polímeros: Ciência de Tecnologia, 13, nº 3, 154-165, 2003

DANIEL, I. M., ISHAI, O. **Engineering Mechanics of Composite Materials**. Oxford University Press, New York, 1994

EMBRAPA, 2011. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000fo7hz6ox02wyiv8065610d6ky3ary.html> > Acessado em 26/03/2016.

EMBRAPA, 2008 **Caracterização de Compósitos de Poliolefinas Recicladas com Fibras de Açai**

FARIA, P.C; WISBECK, E; DIAS, L. P. **Biodegradação de polietileno reciclado (ppr) e de poli (tereftalato de etileno) reciclado (petr) por Pleurotus ostreatus**, Matéria, 11612, 452-459, 2015

GONÇALVES, A.P.B. **Desenvolvimento de compósitos a base de blenda de PET reciclado/PEAD reforçados com fibra de bananeira**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Federal da Bahia, Ba, Salvador

HILLIG, É.; IWAKIRI,S.; ANDRADE,M.Z.; ZATTERA,A.J. **Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira**. Árvore, 32, nº 2, 2008

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO – 178. **Plastics- Determination of flexural properties**, 1993

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 180. **Plastics- Determination of flexural properties**, 1993

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 527. **Plastics- Determination of tensile properties**, 1993

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1183, **Plastics- Methods for determining the density of non-cellular plastics**, 2004

JAFELICE, D.A **Caracterização de compósitos de polipropileno reciclado e fibra de coco**. 2013.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) Universidade Presbiteriana Mackenzie, SP, São Paulo.

LEÃO, R. M.; LUZ,S.M.; ARAÚJO,J.A.; CHRISTOFORO,A.L. et al. **The Recycling of Sugarcane Fiber/Polypropylene Composites**. Materials Research, 18, 690-697, 2015

LIGOWSKI, E; SANTOS, B.C.; FUJIWARA, E. **Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão.** Polímeros , 25(1), 70-75, 2015

LISPERGUER, J, et al. **Efecto de las características de harina de madera en las propiedades físico-mecánicas y térmicas de polipropileno reciclado.** Maderas Ciencia y tecnologia, 15(3), pp 321-335, 2013

ROSÁRIO, F, PACHEKOSKI, W.M; SILVEIRA, A.P.J.; SANTOS,S.F.; JÚNIOR,H.S.; CASARIN, S.A. **Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado.** Polímeros, 21, nº2, 90-97,2011

SANTANA, M.N.B. **Estudo do efeito de agentes de acoplamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com pó de coco seco.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal de Sergipe, Se, São Cristovão

OLIVEIRA, E. M. R.; OLIVEIRA, E. M. R.; COSTA, R. A., **Dossiê Técnico. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas,** 2013

PISTOR,V; CHIESA,A; ZATTERA,A. **Estudo do reprocessamento de polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado do processamento de extrusão de filmes tubulares.** Polímeros, 20, nº 4, 269-274, 2010

ROMAN Jr, C.;CERVELIN, G.B.; ZOPPAS, B.C.A.; GRISA, A.M.C.; ZENI,M. **Análise do comportamento mecânico de compósito de polipropileno/fibra de madeira com polipropileno reciclado em aterro sanitário.** Revista Iberoamericana de Polímeros, 16,5, 295-300 2015

SANTOS, E. F. **Efeito de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco.** 2007. Dissertação (Mestrado em Química)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul , RS, Porto Alegre-RS

WEBER, C.; IWAKIRI, S. **Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para a produção de painéis aglomerados.** Ciência Florestal, 25, nº2, 405-4013, 2015