



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA- FT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS- PPGCEM

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL
COMPÓSITO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DA
CASTANHA-DO-BRASIL E POLIESTIRENO DE ALTO
IMPACTO

JEFFERSON RENAN SANTOS DA SILVA

Manaus-AM
Setembro/2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA- FT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS- PPGCEM

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL
COMPÓSITO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-
BRASIL E POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO

JEFFERSON RENAN SANTOS DA SILVA

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito final para a obtenção
do título de Mestre em Ciência e
Engenharia de Materiais, área de
concentração, Materiais.

Orientador: Profº. Drº. José Costa de Macedo Neto

Manaus-AM
Setembro/2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586o Silva, Jefferson Renan Santos da
Obtenção e Caracterização de um material compósito produzido com resíduos da Castanha-do-Brasil e Poliestireno de alto impacto / Jefferson Renan Santos da Silva. 2019
85 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: José Costa de Macedo Neto
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Castanha-do-Brasil. 2. Hips. 3. Poliestireno de alto impacto. 4. Casca. 5. Bertholletia excelsa. I. Macedo Neto, José Costa de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

JEFFERSON RENAN SANTOS DA SILVA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL
COMPÓSITO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-
BRASIL E POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO**

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito final para a obtenção
do título de Mestre em Ciência e
Engenharia de Materiais, área de
concentração, Materiais.**

Aprovado em 12 de Setembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Profº Drº. José Costa de Macedo Neto

Programa de Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

Profª Drª Solenise P. Rodrigues kimura

Universidade do Estado do Amazonas

Prof. Dr. Roberto Andrés Estrada Cingualbres

Universidade do Estado do Amazonas

Ao meu pai, minha mãe,
meus irmãos, esposa e filhos pelo
incentivo para realização deste
trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e em quem sempre posso confiar;

Ao meu orientador pelo acompanhamento e aconselhamentos;

Aos meus familiares pelo apoio, em especial a minha mãe e esposa;

Aos colegas e amigos que auxiliaram na discussão da temática e contribuíram no delinear do caminho;

A Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade;

Aos colegas que a vida colocou em meu caminho e que me incentivaram.

Faça as coisas o mais
simples possível, não as mais
simples.

Albert Einstein

RESUMO

O estudo trata-se da utilização de resíduos lignocelulósicos constituídos da casca das sementes da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia Excelsa*), usados como reforço/carga em compósitos poliméricos com matriz de poliestireno de alto impacto (HIPS). Foi realizada a coleta dos resíduos que foram utilizados como reforço e do polímero utilizado como matriz através de doação. Com isso, iniciou-se a preparação dos corpos de prova do novo compósito, que foi produzido por meio do processo de injeção plástica com as proporções de 0%, 2,5% e 5% de carga. Em seguida, realizou-se o ensaio mecânico de tração e suas fraturas foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microscopia Óptica (MO). Foram realizadas técnicas de caracterização como Difração de Raios-X (DRX) e análises de FTIR (espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier), DSC (Calorimetria exploratória diferencial) e TGA (Termogravimetria) e sua derivada DTGA. Os corpos de prova foram analisados em relação ao seu comportamento mecânico sob ensaio de tração e térmico com base na análise de DSC, Sendo de forma real com os experimentos e de forma virtual pelo método dos elementos finitos (FEA). Foi possível verificar nos resultados melhoras das propriedades do novo compósito de poliestireno de alto impacto e cascas da Castanha-do-Brasil quando comparadas com o HIPS. As propriedades que sofreram alterações foram a mecânica, após o ensaio de tração, com o aumento da tensão de escoamento do compósito com maior carga em aproximadamente 37%, além da Resistência a tração aumentar em aproximadamente 52% em comparativo do compósito de 5% de carga e o HIPS. Já as propriedades térmicas sofreram pequenas variações com relação a sua Tg (temperatura de transição vítrea) para o compósito com 2,5% de reforço houve um aumento de 0,27% enquanto que para o de 5% não houve mudança em relação ao polímero. Assim, a utilização dos resíduos da colheita da Castanha-do-Brasil como carga de compósitos de matriz polimérica é uma forma benéfica para o meio ambiente devido a retirada e o reaproveitamento destes resíduos, além de promissora para novas pesquisas em Ciência e Engenharia de Materiais.

Palavras-chaves: Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), Compósitos poliméricos, lignocelulósicos, poliestireno, Floresta Amazônica, HIPS, casca da Castanha-do-Brasil.

ABSTRACT

The study deals with the use of lignocellulosic residues consisting of Brazil nut (*Bertholletia Excelsa*) seed husk, used as reinforcement / filler in high impact polystyrene matrix (HIPS) polymer composites. Waste collection was used as reinforcement and polymer used as a matrix through donation. With this, he began to prepare the specimens of new compound, which was produced by means of plastic injection process with proportions of 0%, 2.5% and 5% load. He then performed the mechanical exposure test and his fractures were analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Optical Microscopy (MO). Characterization techniques such as X-ray Diffraction (XRD) and FTIR (Fourier Transformless Infrared Spectroscopy), DSC (Differential Exploratory Calorimetry) and TGA (Thermogravimetric Analysis) analysis and its DTGA derivative were performed. The specimens were analyzed in relation to their mechanical behavior under thermal analysis test and based on the DSC analysis, being real with experiments and with virtual form by the finite element method (FEA). It was possible to verify in the best results of the properties of the new high impact polystyrene compound and Brazil nut shells when compared to the pure HIPS. As the properties that underwent changes were mechanical, after the exposure test, the insulation voltage of the higher load compound increased by approximately 37%, in addition to the resistance of the increase of approximately 52% when compared to the 5% load compound. the pure HIPS. Since the thermal properties changed slightly with respect to its temperature Tg (transition temperature) for the compound with 2.5% increase there was an increase of 0.27% while for the 5% there was no change in relation to the temperature. tidy polymer. Thus, the use of Brazil nut crop residues as a filler of polymeric matrix compounds is a beneficial way for the environment due to the removal and reuse of lost residues, as well as promising new research in Materials Science and Engineering.

Keywords: Brazil nut (*Bertholletia excelsa*), Polymeric composites, lignocellulosic, polystyrene, Amazonian forest, HIPS, Brazil nut shell.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>).....	22
Figura 2. Mecanismo de formação do copolímero grafitzado PB-PS, onde R = qualquer radical formado no meio reacional.	25
Figura 3. Imagem MET de HIPS produzido por polimerização em emulsão. Morfologia tipo core shell. A parte escura da fase dispersa identifica a borracha (shell) e a parte clara das inclusões o poliestireno (core).....	26
Figura 4. Imagem do HIPS obtida por MET.....	26
Figura 5. Cascas limpas e selecionadas para trituração e local de produção.	32
Figura 6. Parâmetros de temperatura das zonas do canhão de injeção.	34
Figura 7. Processo de injeção plástica de compósitos, molde de injeção e rebarba.....	35
Figura 8. Medidas padrão corpo de prova polimérico.....	36
Figura 9. Corpos de prova para análise de difração de raios X.	37
Figura 10. Gráfico Tensão x Deformação elástica não linear.	40
Figura 11. Regiões analisadas conforme tecido encontrado: Exotesta (EX); Região central da mesotesta (MT); Região vascular da mesotesta (RV); Tegmen (TG).	41
Figura 12. Fotomicrografia em MEV das medições de partículas da casca da Castanha-do-Brasil.....	43
Figura 13. Corpos de prova obtidos no processo de injeção plástica. Sendo A) HIPS, B) compósito M2,5 e C) compósito M5.	44
Figura 14. Difratoograma do compósito formado pela casca da Castanha-do-Brasil e HIPS.	46
Figura 15. Comparação entre o difratograma do HIPS(A) da literatura com o compósito fabricado(B).	46
Figura 16. Microscopia óptica das fraturas de 0% (A), 2,5% (B) e 5% (C) de carga respectivamente. Aumento de 20x.....	48
Figura 17. Distribuição do tamanho das partículas.	49
Figura 18. Distribuição normal das partículas.	49
Figura 19. MEV das fraturas na composição de 5% de carga, 21x (A), 77x (B).....	51
Figura 20. MEV das fraturas na composição de 5% de carga. Aumento 82x com detalhe em 237x.....	51
Figura 21. MEV das fraturas na composição de 5% de carga, 343x (A), 414x (B).....	52
Figura 22. MEV das fraturas na composição de 5% de carga, 294x com detalhe em 1360x.	52
Figura 23. Comparação entre as imagens das amostras no MEV com 0% (A) e 2,5% (B). Aumento 600x.....	53

Figura 24. Comparação entre os compósitos fabricados com carga de 2,5% (A) e 5% (B). Aumento de 1330x e 1360x.....	54
Figura 25. Expectro de infravermelhos da amostra de casca da Castanha-do-Brasil.....	55
Figura 26. Expectro de infravermelhos da amostra de HIPS.....	56
Figura 27. Expectro de infravermelhos da amostra de HIPS com carga de 2,5%.	57
Figura 28. Expectro de infravermelhos da amostra de HIPS com carga de 5%.	57
Figura 29. Comparação entre a matriz polimérica e os compósitos fabricados.....	58
Figura 30. Comparação entre as curvas DSC.....	60
Figura 31. Curvas da análise de TG e DTG para casca da Castanha-do-Brasil.....	62
Figura 32. Curvas da análise de TG e DTG para HIPS (Poliestireno de alto impacto). .	63
Figura 33. Curvas da análise de TG e DTG para compósito fabricado com 2,5% de carga.	63
Figura 34. Curvas da análise de TG e DTG para compósito fabricado com 5% de carga.	64
Figura 35. Aplicação das condições de contorno no corpo de prova virtual.	67
Figura 36. Ensaio de tração pelo método de elementos finitos, análise de deformação HIPS (A), M2,5 (B) e M5 (C).	67
Figura 37. Ensaio de tração pelo método de elementos finitos, análise de tensão, HIPS (A), M2,5 (B) e M5 (C).....	68
Figura 38. Sentido de aplicação da temperatura no corpo de prova.	69
Figura 39. Análise da propagação da temperatura nos materiais, HIPS (A), M2,5 (B) e M5 (C).....	71
Figura 40. Gráfico de temperatura mínima final do ensaio virtual.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de trabalhos sobre compósitos com cargas naturais.....	29
Tabela 2. Propriedades gerais do HIPS 825E.	31
Tabela 3. Parâmetros do material a ser injetado em peso e percentual de massa.	33
Tabela 4. Parâmetros de injeção do equipamento.	34
Tabela 5. Parâmetros do difratômetro.....	37
Tabela 6. Parâmetros do ensaio de DSC.	38
Tabela 7. Tamanho das partículas de casca da Castanha-do-Brasil.	43
Tabela 8. Percentuais dos corpos de prova	44
Tabela 9. Comparação dos resultados do ensaio de tração para cada amostra.	45
Tabela 10. Dados da análise de DSC.	60
Tabela 11. Resultados da análise de TG e DTG para os eventos térmicos.....	65
Tabela 12. Parâmetros de contorno para ensaio FEA.....	66
Tabela 13. Resultados obtidos no ensaio de tração virtual e real.	68
Tabela 14. Análise de convergência.	69
Tabela 15. Tempo e temperaturas de transição térmica para os C.P's.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

DRX – Difractometria de Raios X

DSC – Calorimetria de varredura diferencial

FEA – Método dos Elementos Finitos

FTIR – Espectroscopia na região do Infravermelho com Transformada de Fourier

HIPS – Poliestireno de Alto Impacto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

PS – Poliestireno

TGA/DTGA – Termogravimetria

σ – Tensão

ε – Deformação

°C – Graus Celsius

C.P. – Corpo de prova

M2,5 – Compósito de poliestireno de alto impacto com 2,5% de casca da Castanha-do-Brasil

M5 – Compósito de poliestireno de alto impacto com 5% de casca da Castanha-do-Brasil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	CASTANHEIRA-DO-BRASIL (<i>BERTHOLLETIA EXCELSA</i>).....	21
3.2	RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-BRASIL	23
3.3	POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO (HIPS)	24
3.4	NOVOS MATERIAIS.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1	CARACTERÍSTICAS E OBTENÇÃO DO HIPS	30
4.2	COLETA DO MATERIAL DE REFORÇO DO COMPÓSITO	32
4.3	PROCESSO DE TRITURAÇÃO DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL.....	32
4.4	PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA	33
4.5	ENSAIO DE TRAÇÃO.....	36
4.6	ANÁLISE MICROSCÓPICA (M.O.)	36
4.7	DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX).....	36
4.8	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	37
4.9	MÉTODOS TERMOANALÍTICOS	38
4.9.1	DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial)	38
4.9.2	TGA-Análise Termogravimétrica (Thermogravimetric Analysis).....	38
4.9.3	FTIR (espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier)	39
4.10	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (FEA)	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	RESULTADO DA ANÁLISE MICROSCÓPICA (MO)	41
5.2	RESULTADO DO PROCESSO DE TRITURAÇÃO DA CARGA	42
5.3	PREPARAÇÃO DA AMOSTRA DO CORPO DE PROVA	43
5.4	RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO.....	44

5.5	RESULTADOS DA ANÁLISE DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX).....	45
5.6	RESULTADO DA ANÁLISE MICROSCÓPICA (MO)	47
5.7	RESULTADO DA ANÁLISE EM MEV	50
5.8	RESULTADOS DA ANÁLISE FTIR	54
5.9	RESULTADOS DA ANÁLISE DSC (Calorimetria diferencial de varredura)	58
5.10	RESULTADOS DA TERMOGRAVIMETRIA (TGA/DTGA)	60
5.11	MÉTODO DE ANÁLISE DOS ELEMENTOS FINITOS (FEA).....	65
6	CONCLUSÃO	73
7	PERSPECTIVAS	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

Antes da primeira Revolução Industrial o lixo produzido era em sua maioria constituído por material orgânico, sendo esse facilmente descartado, pois era necessário apenas enterra-lo, além disso, as cidades eram menores e o número da população restrita (SANTOS, 2010).

Com o desenvolvimento acelerado que vivemos nos dias atuais, o meio ambiente vem sofrendo mudanças constantes. Estas mudanças são devidas ao aumento da população, incentivo e elevação do consumo, globalização e inovações tecnológicas. Essas inovações tecnológicas surgiram em paralelo com a primeira Revolução Industrial no século XVIII e sua disseminação mundial desencadeou significativamente grandes impactos negativos ao meio ambiente, por meio das ações antrópicas. Dentre eles destacam-se a disposição inadequada dos resíduos sólidos, principalmente os feitos de plástico (SILVA, 2013).

O processo de fabricação de moldagem por injeção de produtos de plástico tem como principal característica a de consumir uma grande quantidade de energia elétrica e, portanto, impactar significativamente o meio ambiente. (MADAN *et al.*, 2015). A produção de uma alternativa de material “verde” é de baixo benefício se os impactos ambientais forem aumentados em relação ao material convencionalmente disponível, portanto, as comparações entre os mesmos devem ser feitas (MILLER, 2018).

Porém, avaliações de impacto ambiental são mais frequentemente para a produção de uma certa massa ou volume de material, ou seja, produção em grandes quantidades (MILLER, 2018).

Segundo Miller (2018), esse escopo limitado de avaliação é lógico quando as propriedades do material e a aplicação preferível são desconhecidos, no entanto, não considerar como o uso desses materiais alternativos pode influenciar seus impactos ambientais em relação aos materiais convencionais pode levar a uma representação imprecisa dos impactos ambientais esperados.

A Castanha-do-Brasil é a semente da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsea*), uma árvore típica da Floresta Amazônica. O fruto possui uma polpa branca oleaginosa revestida por uma casca externa dura e resistente. Estudos mostram que a produção anual média de frutos oriundos da castanheira no Brasil é abundante, estando em torno de 40 ton/ano, e que até pouco tempo atrás as únicas utilidades para destinação deste material estão na confecção de artesanato e carbonização para combustível em fornalhas e caldeiras (NOGUEIRA, 2018), torna-se conveniente avaliar a aplicação desse resíduo vegetal no desenvolvimento de novos materiais

compósitos. Como há uma quantidade considerável deste material descartado, cerca de 56 mil toneladas, esse tempo é curto para que não influencie em impactos ambientais.

Abundante na Amazônia onde se encontra o ouriço da castanha com forma esférica com peso em média de 2,4 kg sendo que cada ouriço armazena em média 25 castanhas totalizando 1/3 do seu peso bruto, somente a castanha é aproveitada, e o resíduo, sem nenhuma utilização, se torna lixo (LOBO *et al.*, 2002). Os principais constituintes encontrados na casca da Castanha-do-Brasil são a lignina e a holocelulose que é constituída pela celulose e hemicelulose (BONELLI *et al.*, 2001).

A Castanha-do-Brasil é coletada por catadores de base florestal que em sua maioria são moradores locais, e a comercialização dessa castanha fornece uma das principais fontes de renda para muitas comunidades indígenas e ribeirinhas da Amazônia (CARDOSO *et al.*, 2017).

A crescente preocupação com a conservação e preservação da qualidade ambiental tem levado a sociedade a difundir práticas de produção que reduzem o impacto ambiental. Estas práticas de produção sustentável visam atender os anseios atuais da sociedade sem comprometer a possibilidade das futuras gerações suprirem suas próprias necessidades (MAZZOLENI *et al.*, 2006).

Uma forma de agregar valor à produção é com o aproveitamento dos resíduos oriundos do processo de beneficiamento da castanha. A produção de resíduos é comum nos processos agrícolas, seja ele extrativista ou de cultivo. Durante o processamento da Castanha-do-Brasil, é possível se obter resíduos em diferentes etapas, sendo as principais o pericarpo (ouriço), obtido na floresta quando o fruto é quebrado para a retirada das castanhas, e o mesocarpo (casca), obtido na indústria durante o descascamento da castanha (NOGUEIRA, 2011). Sobre a destinação de resíduos, Gross e Pinto (2014) destacam que as empresas, devido ao cenário mundial, aplicam diretrizes ambientais em seu processo produtivo. Surge assim, uma nova ideologia sobre o gerenciamento de resíduos, a qual conduz as organizações a se beneficiarem com a comercialização destes, por meio da geração de renda pela prática da reciclagem. Em termos técnicos, reciclagem é definida como “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos materiais” (BRASIL, 2010).

Uma das soluções altamente investigadas atualmente é a aplicação de compósitos de fibra natural como material de substituição, principalmente para compósitos sintéticos e outros materiais de engenharia ditos tradicionais. Os compostos de fibra natural oferecem muitas vantagens em termos de desempenho ambiental, como renovabilidade, reciclabilidade e

biodegradabilidade, além de custos mais baixos de matéria-prima e propriedades leves (MANSOR, 2019).

Um das formas de reciclagem dos resíduos sólidos industriais é seu uso como agregados em compósitos. Segundo Pelissari (2010) o desenvolvimento de novos materiais incorporando resíduos industriais em produtos convencionais por meio da substituição de recursos naturais, geram novos materiais denominados ecologicamente corretos.

Portanto, devido ao avanço da tecnologia, a incorporação de resíduos sólidos aos plásticos vem sendo bastante difundidas.

O uso de fibras vegetais em termoplásticos vem sendo estudada devido a fatores tais como: aumento do módulo de elasticidade e resistência mecânica, além de reduzir o peso do produto final (BORSOI *et al.*, 2011).

Devido às razões acima, o mercado mundial atual está tendo maior aceitação e notável crescimento sobre a utilização de compósitos de fibras naturais. Um relatório da Marketsandmarkets.com revelou que o uso mundial de compósitos de fibra natural foi avaliado em US \$ 3,36 bilhões em 2015 e projetou-se em US \$ 6,50 bilhões até 2021. A empresa de avaliação de mercado global também projetou taxa de crescimento anual composta de compostos de fibra natural positiva de quase 11,68% do ano de 2016 até o ano de 2021, com grandes demandas que vem das indústrias civil e de construção, transporte e bens de consumo. Em outro relatório da BusinessWire.com, a indústria automotiva foi destacada como uma das mais ativas na utilização de compósitos de fibra natural para produzir componentes de veículos (MANSOR, 2019).

Dentre os polímeros utilizados como matriz para produção de novos compósitos temos o poliestireno, que é um tipo de polímero com propriedades termoplásticas produzidas a partir do derivado do petróleo, o monômero estireno. Apresenta-se na forma sólida, que é um plástico rígido e incolor, mas também podem ser devolvidos no estado líquido por meio de aquecimento, e utilizado de novo para a moldagem ou extrusão. Ele é utilizado na produção de diversos produtos de uso industrial e de consumo. Na verdade, a sua presença como um plástico na vida cotidiana é apenas a segunda depois do polietileno.

O poliestireno HIPS (sigla para High Impact Polystyrene), também conhecido como poliestireno de alto impacto, é um polímero obtido através do monômero de estireno em solução com 5% a 15% de polibutadieno (borracha). O HIPS é desenvolvido em grades, variantes que se adaptam às necessidades específicas de cada segmento de mercado. (INNOVA, 2017). Temos os

tipos 825E, usado neste trabalho, o R 940D, R 870E, R 970E, o 825, R 350L G2, RC 600 e o RT 441M, todos com suas características e aplicações específicas segundo Innova (2017).

O poliestireno de alto impacto (HIPS) é um sistema de copolímero multifásico no qual partículas de borracha de polibutadieno (PB) são dispersas na matriz rígida de poliestireno (PS). O HIPS é empregado em uma ampla gama de aplicações, como embalagens, componentes automotivos, materiais de construção, instrumentos eletrônicos e eletrodomésticos, devido ao seu baixo custo, boa resistência ao impacto e fácil processamento (BIBO *et al.*, 2018).

O Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) é um termoplástico bifásico de grande versatilidade de propriedades decorrentes das variações de composição e morfologia das partículas de borracha dispersas na matriz estirênica. Além da sua temperatura não ser elevada durante o processamento, estas características fazem com que o HIPS seja um termoplástico de grande interesse para aplicações em compósitos com materiais lignocelulósicos, uma vez que a otimização do balanço de propriedades de rigidez e impacto pode ser alcançada através do controle da morfologia e da formulação do compósito (VIANNA *et al.*, 2004).

O fato de serem usados em conjunto tanto a casca da Castanha-do-Brasil quanto o HIPS, mostra o quão importante é descobrir novos materiais que busquem solucionar os problemas destinação dos resíduos sólidos e de processamento de polímeros totalmente sintéticos existentes em todo planeta.

Com o uso da casca da Castanha-do-Brasil e do HIPS os resultados esperados se tornam promissores no que diz respeito a novos materiais compósitos, sendo assim, o trabalho vem a fortalecer a base de dados para que novas pesquisas em materiais compósitos sejam realizadas e que cada vez mais o meio ambiente seja preservado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir um novo material compósito polimérico utilizando a matriz de poliestireno de alto impacto e como carga lignocelulósica a casca da Castanha-do-Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Coletar os resíduos da casca da Castanha-do-Brasil

Preparar os corpos de prova utilizando as normas ASTM D638 e D3039/D3039M todas para ensaio de materiais poliméricos e compósitos poliméricos.

Realizar caracterização morfológica por meio de técnicas bem difundidas no meio científico como microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia óptica (MO).

Caracterizar física e quimicamente o material por meio de técnicas como a difração de raios-x (DRX), FTIR (Espectroscopia na região do Infravermelho com Transformada de Fourier), DSC (Calorimetria de varredura diferencial) e TGA/ DTGA (Termogravimetria).

Realizar Ensaio mecânico por tração.

Analisar virtualmente os corpos de prova por meio da análise por elementos finitos (FEA), buscando complementar o ensaio de tração real e uma análise térmica do comportamento do material para avaliação e aquisição de dados para operação em regime de trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA*)

A Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), uma das espécies arbóreas de maior importância econômica na região amazônica, apresenta uma madeira de excelente qualidade, porém com proibições quanto ao seu corte. Seu fruto, popularmente chamado de ouriço, apresenta rigidez natural e caracteriza-se como resíduo de atividades extrativistas (NOGUEIRA *et al.*, 2018). A Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) é uma espécie nativa da Amazônia, que faz parte da família Lecythidaceae. Em termos botânicos, as Castanhas-do-Brasil comestíveis são as sementes de uma fruta que leva cerca de 14 meses para amadurecer e tem casca dura e lenhosa, pesa até dois quilos e contém 8 a 24 sementes triangulares de até 2 cm de largura e 5 cm de comprimento (CARDOSO *et al.*, 2017).

Bertholletia excelsa foi descrita em 1807 por Humboldt e Bonpland, é a única espécie no gênero *Bertholletia*. Os nomes vernáculos da *Bertholletia excelsa* em Português é castanha do Brasil, castanha-do-pará e castanheira (SANTOS *et al.*, 2018).

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística o Brasil IBGE (2013) teve uma produção de 38.300 toneladas de castanha no ano de 2013, sendo 36.704 toneladas produzidas apenas na região Norte. O estado do Acre lidera a produção com 13.599 toneladas, seguido pelo estado do Amazonas com 11.785 toneladas e em terceiro lugar com 9.023 toneladas o estado do Pará (ANJOS *et al.*, 2017).

Na Amazônia as florestas com castanheira cobrem uma superfície de aproximadamente 325 milhões de hectares, 92,3% desta extensão (300 milhões de hectares) está estabelecida no Brasil (ALMEIDA, 2015). O Bioma Amazônia ocupa uma área de 49,3% do território brasileiro e no estado de Mato Grosso ocupa 50% do total de sua área (IBGE, 2017). O período de floração e frutificação difere de região para região, mas de maneira geral floresce de outubro a dezembro e frutifica de janeiro a março, o desenvolvimento dos frutos dura em média 15 meses (FERREIRA *et al.*, 2018).



Figura 1. Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*).

Fonte: USP, 2017.

Segundo Pedrozo *et al.*, (2011), a Castanha-do-Brasil tem grande valor econômico devido ao uso aproveitado de suas amêndoas (que possuem cerca de 60 a 70% de lipídios e 15 a 20% de proteínas). Usada na alimentação humana, ou transformadas em vários subprodutos (LOURENÇONI *et al.*, 2018).

Trata-se de uma espécie com alto valor econômico, quando se trata de suas sementes nutritivas e ricas em selênio quanto por sua madeira (CAMARGO, 2010). Porém, a exploração de exemplares nativos dessa árvore é protegida por lei nacional federal nº 4.771, que proíbe a derrubada, mas permite seu plantio em sistema de monocultivo ou consorciado (LOURENÇONI *et al.*, 2018).

De acordo com Pedrozo *et al.*, (2011), a Castanheira-do-Pará (*Bertholletia excelsa*) – espécie protegida pela Lei 4.771, que impede a derrubada da árvore –, também chamada de Castanha-do-Brasil, Castanha-da-Amazônia, Brazil nut ou Pará nut, é uma das maiores e mais conhecidas árvores da Amazônia. Seu fruto (ouriço) é um pixídio lenhoso e contém cerca de 20 sementes tri seriadas, de formato triangular, de casca (ou tegumento) rígida e lenhosa que cobre as amêndoas, estas são aproveitadas nas práticas de extração comercial formando todo o resto do fruto – aproximadamente 90% – os resíduos do processo (PETRECHEN *et al.*, 2016).

3.2 RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-BRASIL

A região amazônica possui inúmeros tipos de agroindústrias geradoras de milhares de toneladas de resíduos por dia. Grande parte desses resíduos são produzidos pelas agroindústrias de produtos de base vegetal e se dividem em: caroços de açaí, fibras de coco verde, borra das folhas de murici e palma, torta de dendê, além dos resíduos produzidos pelo processamento de diversas frutas (ALAMAR, 2012).

Estudos apontam que para cada tonelada de castanha limpa são obtidos 1,4 tonelada de resíduos, compostos por cascas e o chamado ouriço, o fruto do castanheiro. (BOUVIE *et al.*, 2016). Com isso, o total de cascas e ouriços gerados ultrapassa 56 mil toneladas. Oliveira & Lobo (2009) afirmam que o fruto da Castanheira-do-Brasil tem, em média, 2,4 kg, e que cerca de 1/3 de seu peso é constituído pelas sementes. Logo, para cada fruto colhido, tem-se, em média, 1,6 kg de resíduo, ou ainda, para cada 1 kg de castanha limpa, tem-se a geração de 1,4 kg de resíduos sendo incluso as cascas da castanha bruta removidas (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

A contínua preocupação com a conservação e preservação da qualidade ambiental tem aumentado o estímulo e difundido práticas de produção que reduzem o impacto ao ambiente. Estas práticas de produção sustentável visam atender os anseios da sociedade atual sem comprometer a possibilidade das futuras gerações suprirem suas próprias necessidades (MAZZOLENI *et al.*, 2006).

Buscar uma destinação para esse resíduo é um desafio constante para os produtores devido a terem todo ano o problema de acúmulo do resíduo ambiental da casca deste fruto. Assim como muitos produtos oriundos da floresta cujo potencial para indústria de compósitos é considerável, a Castanha-do-Brasil é abundante e seu descarte também. E para que não seja descartado diretamente no meio ambiente existem diversos estudos voltados para reutilização da casca e do ouriço da Castanha-do-Brasil.

Uma das aplicações atualmente estudadas para as cascas de Castanha-do-Brasil é a fabricação de tijolos, embora seja comum que grande parte desse resíduo seja descartada após a etapa de processamento.

A utilização de fontes de energia alternativa, essencialmente a biomassa é de grande importância para a preservação do meio ambiente, pois o seu uso reduz a queima do petróleo que agravam o efeito estufa e reduz à camada de ozônio, além de apresentar um custo elevado para a produção e transporte, a biomassa viabiliza uma energia mais limpa, renovável e gera renda. (SANTOS *et al.*, 2018).

Outra alternativa de utilização dos resíduos é como biomassa como fonte sustentável para utilização em caldeiras, fornos e adubos, pois é de grande importância no combate ao desperdício e na preservação de fontes de energia esgotáveis. (SANTOS *et al.*, 2018).

Outro estudo voltado para preparação de compósitos com a utilização dos resíduos da casca da Castanha-do-Brasil foi realizado por Petrechen *et al.*, (2016), onde preparou-se compósitos utilizando cargas relacionadas a cascas das sementes da Castanhas-do-Brasil, além de duas matrizes poliméricas distintas, sendo uma de PPh (polipropileno homopolímero) e outra de PPc (polipropileno copolímero).

Segundo estimativas há relatos de que a casca da castanha dure em média 5 anos para se deteriorar no meio ambiente. Como há uma quantidade considerável deste material descartado, esse tempo é curto para que não influencie em impactos ambientais.

3.3 POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO (HIPS)

Os polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, sua estrutura química e interações intra e intermoleculares. Possuem unidades químicas que são unidas por ligações covalentes, que se repetem ao longo da cadeia. Eles podem ser naturais, como a seda, a celulose, as fibras de algodão, etc., ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli (tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o poli (cloro de vinila) (PVC), etc. (SPINACÉ, 2005).

A incorporação de uma segunda fase elastomérica em uma matriz vítrea de um polímero tem como objetivo o aumento de sua tenacidade, ou seja, de sua resistência ao impacto. O poliestireno (PS) à temperatura ambiente é um polímero vítreo e possui baixa absorção de energia sob impacto devido à ausência de mobilidade local de segmentos de cadeia, uma vez que a sua Tg ocorre entre 90 e 100°C, temperatura a partir da qual ocorrerem movimentos de segmentos de cadeia responsáveis pela dissipação de energia (GRASSI *et al.*, 2001)

A utilização de borracha no processo de polimerização do estireno leva à obtenção de uma mistura polimérica *in situ*, com domínios discretos de fase borrachosa dispersos em uma matriz contínua de PS. A polimerização borracha-estireno tem como resultado um produto com propriedades mecânicas sob impacto superiores, o Poliestireno de Alto Impacto (HIPS), quando comparado ao PS e mesmo a blendas de PS e borracha. Esse aperfeiçoamento deve-se principalmente à introdução de um componente amorfo flexível ($T_g \leq -40^\circ\text{C}$) na matriz rígida de PS e: (1) ao grau de ligações cruzadas da borracha, (2) à interação química entre cadeias de PS

formadas e cadeias da borracha, com aumento da adesão interfacial entre as fases PSborracha, e (3) às oclusões de fase contínua de PS no interior das partículas de borracha, com aumento da fração volumétrica desta última. A morfologia é um dos principais fatores responsáveis pelo elevado desempenho mecânico do HIPS (GRASSI *et al.*, 2001).

Algumas características do HIPS são:

Graftização e Entrecruzamento: A graftização do PB se inicia pela saída de hidrogênios alílicos da sua cadeia macromolecular por radicais livres gerados no meio, em seguida ocorre a inclusão de um macrorradical de PS em crescimento na mesma, gerando um copolímero graftizado PS-PB, conforme representado esquematicamente na Figura 2. (GRASSI *et al.*, 2001).

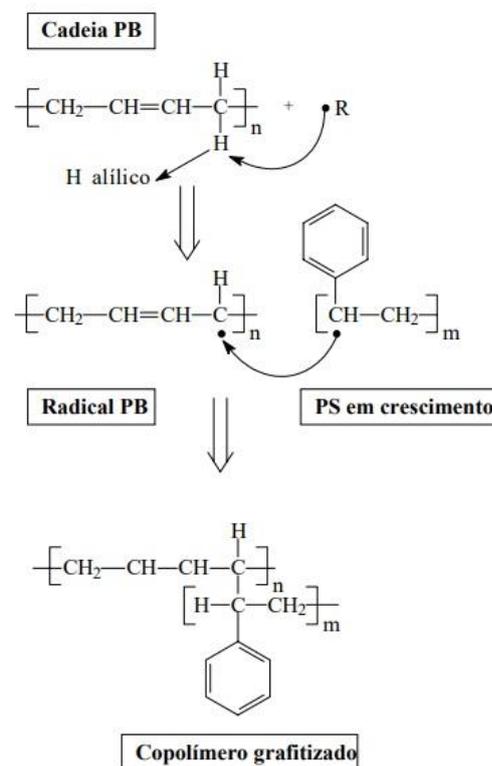


Figura 2. Mecanismo de formação do copolímero graftizado PB-PS, onde R = qualquer radical formado no meio reacional.

Fonte: Grassi *et al.*, 2001

As diferenças morfológicas e estruturais entre resinas de HIPS tem como resultado diferenças nos processos de produção e no tipo e teor de borracha. Há inúmeras variedades de tipos ou grades de HIPS disponíveis no mercado. Os mais comuns possuem tamanho médio de

partícula de borracha de até 5 μm de diâmetro e morfologia do tipo salami, conforme mostrado na Figura 3. (GRASSI *et al.*, 2001).

Esta típica morfologia está representada na Figura 3 e 4, que mostra uma fotomicrografia de microscopia eletrônica de transmissão (MET) de uma amostra de HIPS (a parte escura na fotomicrografia corresponde à fase borracha, enquanto a parte clara correspondente à fase PS).

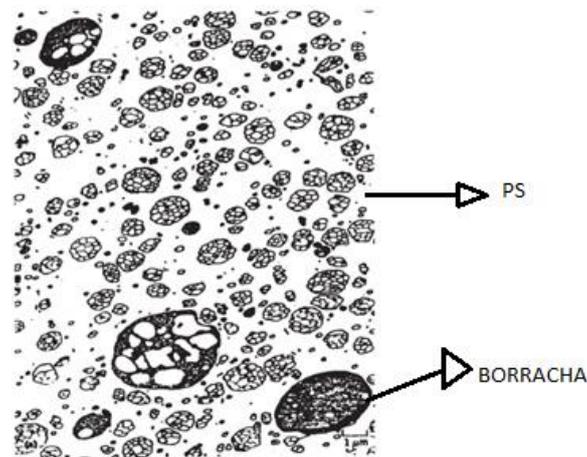


Figura 3. Imagem MET de HIPS produzido por polimerização em emulsão. Morfologia tipo core shell. A parte escura da fase dispersa identifica a borracha (shell) e a parte clara das inclusões o poliestireno (core).

Fonte: Grassi *et al.*, 2001

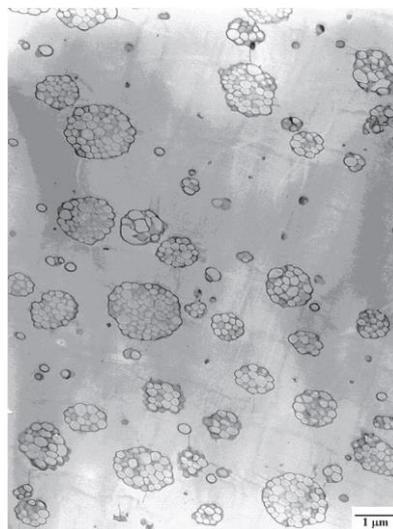


Figura 4. Imagem do HIPS obtida por MET.

Fonte: Rovere *et al.*, 2008

Pelas imagens verifica-se que esta morfologia de partículas de variados tamanhos, com subinclusões de PS envolvidos em seu entorno por uma membrana de borracha, distribuída numa matriz de PS e é típica do HIPS obtido em processo de polimerização em massa (GRASSI *et al.*, 2001).

Mecanismo de tenacificação: Os mecanismos que se formam na tenacificação do HIPS possuem em sua essência o microfissuramento (crazing) e a cavitação da borracha. A presença de uma segunda fase tenacificadora na matriz de PS transforma de forma significativa o seu comportamento mecânico, levando ao surgimento de modos de microdeformação com maior consumo de energia. Dessa forma, a concentração, a composição, a dimensão, a morfologia e as propriedades da fase tenacificadora são fatores extremamente relevantes no desempenho do material. (GRASSI *et al.*, 2001).

3.4 NOVOS MATERIAIS

O estudo de novos materiais vem desde a antiguidade, em que cada vez mais novos materiais vão sendo pesquisados e introduzidos na indústria. Beylerian e Dent (2007) deram como exemplo que o estudo de materiais, como os polímeros, cresceu com maior ênfase depois da segunda guerra mundial, já nos anos de 1980 ocorreu a pesquisa de metais, culminando no desenvolvimento de superligas, a década de 1990 abordou questões ecológicas e introduziu uma larga série de materiais que visam a sustentabilidade (CALEGARI *et al.*, 2014).

A cada dia a ciência e a tecnologia estão avançando e por consequência surgem diversos novos materiais. Atualmente, são ilimitadas as possibilidades de materiais e a combinação entre eles para a obtenção de diferentes propriedades e desempenhos. De acordo com Manzini (1989), no início do século XX, eram necessários menos de 100 materiais diferentes para a fabricação de um automóvel, hoje o processo exige mais de 4.000 materiais (CALEGARI *et al.*, 2014).

Seguindo esse contexto, os novos materiais podem ser chamados também de materiais avançados, por possuírem melhores características em comparação com os tradicionais. Desta forma, Calegari *et al.* (2014) explica que avançados e novos materiais são uma categoria que é composta incluindo aqueles com altas relações de força e peso, maior tenacidade, características eletrônicas, magnéticas ou microestruturas especiais (CALEGARI *et al.*, 2014).

Atualmente, é possível notar que a demanda por produtos ditos sustentáveis e cativantes tem tido aumento expressivo. Dessa forma, abre-se discussão para duas questões, de um lado já

notamos positivamente uma pequena transição da sociedade levada pelo consumismo para uma sociedade que respeita e aprecia os aspectos de ecoeficiência e aparência, por outro, o aumento da oferta de produtos no mercado sem uma consideração mínima com os seus processos fabris, pode nos levar aos mesmos ciclos de produção e consumo que gera desperdício de recursos e degradação ambiental (DA SILVA *et al.*, 2016).

Dessa forma, uma maior atenção científica e tecnológica vem sendo dada aos estudos e a utilização de novos materiais, especialmente os ecológicos, nos mais diversos segmentos da indústria (ROCHA *et al.*, 2016).

Um material ecológico tende a causar o mínimo de impacto ambiental e alcançar um rendimento ao máximo para a tarefa requerida pelo design. Assim, estes materiais são muito fáceis de serem reintroduzidos nos ciclos naturais. Os materiais da biosfera reciclam-se na natureza e os da tecnosfera, reciclam-se nos processos elaborados pelo homem. (DA SILVA *et al.*, 2016).

Com isso, tem-se algumas classificações de materiais em potencial, são os materiais que sejam renováveis ou com matéria-prima abundante, os com baixa energia incorporada, com grande porcentagem de reciclados, com zero ou baixa emissões de poluentes em sua fabricação, com certificação ambiental ou de procedência e materiais orgânicos (LUKE, 2009).

Consideramos o apontamento de Manzini (2008) de que o tema “materiais” é complexo devido a quantidade e diversidade de materiais disponíveis. Isso requer maior conhecimento e atenção das suas propriedades e previsibilidades dos seus comportamentos. Tais informações condicionam o uso e aplicação dos materiais e recursos, bem como podem responder de modo adequado a determinadas exigências comportamentais. (CALEGARI *et al.*, 2014).

Portanto, pode-se notar que combinadas, materialidade e eficiência permitem ao designer desenvolver produtos que sejam inovadores e, ainda sim, expressões totalmente possíveis e otimizadas de uma ideia.

Assim, a ciência dos materiais e o design apresentam características complementares que podem ser empregadas em pesquisas que fortaleçam cada vez mais a interdisciplinaridade entre os campos.

Tabela 1. Relação de trabalhos sobre compósitos com cargas naturais.

Autor	Ano	Matriz	Carga	Caracterização	Propriedades
PATEL, JIGNESH P.	2018	Sintética	Fibras naturais	FTIR, SEM, DRX, DSC etc	Mecânicas
NGUYEN, HAI	2017	Sintética	Fibras naturais	-	Mecânicas
NOGUEIRA, I. M. S.	2018	Res. poliuretana	Ouriço castanha	Absorção, inchamento, Dureza Janka	Dureza, resistência, absorção
CRUZ, M. C	2014	Poliestireno reciclado	Partículas de madeira	MEV, ensaios mecânicos	Mecânicas
JESUS, L.C.C.	2015	Poliestireno	Bagaço de cana	MEV, ensaios mecânicos	Mecânicas

Fonte: Própria

Segundo Ligowski *et al.* (2015), por meio da extrusão, um dos métodos mais eficazes na obtenção de materiais compósitos, o mesmo consiste principalmente numa conversão de matéria-prima apropriada em um determinado produto com produção de forma semi continuada onde o material é forçado através de uma forma pré-definida sob condições controladas. Sendo este método utilizado na maioria dos trabalhos listados na Tabela 1.

A moldagem de compósitos feitos com fibras dá-se por processos que, conforme Silva (2006), podem ser divididos por dois critérios distintos: características do molde (aberto ou fechado) e tecnologia do processo (manuais, semi-manuais e automatizados).

A metodologia de caracterização dos materiais compósitos deve ser amplamente estudada, buscando determinar as condições de serviço seguras para estes. Esta caracterização ganha ainda mais importância quando destacadas as particularidades destes materiais. As proporções de constituintes usadas interferem diretamente nas propriedades dos compósitos, bem como a gama de arranjos possíveis e o método de processamento escolhido (GALLI, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão descritos os procedimentos relacionados à coleta de amostra, preparação dos corpos de prova, caracterização morfológica, físico-químicas e de imagem empregadas, assim como a aplicação de ensaios mecânicos e análise virtual dos corpos de prova do compósito fabricado de HIPS e casca da Castanha-do-Brasil.

4.1 CARACTERÍSTICAS E OBTENÇÃO DO HIPS

O material empregado na matriz foi obtido através da doação realizada pela empresa INNOVA, cuja a planta está presente no polo industrial de Manaus.

Conhecido como HIPS 825E, este material é empregado geralmente em embalagens, chapas extrudadas, descartáveis, puxadores e perfis de móveis. Segundo o PS- Guia de Seleção de Produtos da empresa INNOVA revisado em Junho de 2019 este material é opaco, pode ser extrudado e/ou injetado. Algumas propriedades estão descritas na Tabela 2:

Tabela 2. Propriedades gerais do HIPS 825E.

Características	Norma	Unidade	Valor
Reológicas			
Índice de fluidez	D-1238	g/10 min	3
Mecânicas			
Resistência a tração na ruptura	D-638	MPa	24
Alongamento na ruptura	D-638	%	40
Módulo elástico por tração	D-638	MPa	2300
Resistência a flexão	D-790	MPa	55
Resistência a impacto IZOD, entalhado (3,2mm)	D-256	J/m	140
Térmicas			
Temperatura de deflexão sob carga (1,8 MPa, 120°C/h)	D-648	°C	92
Temperatura de amolecimento Vicat (1kg, 50°C/h)	D-1525	°C	99
Físicas			
Densidade	D-792	g/cm ³	1.04
Contração do molde	D-955	%	0.4 – 0.7

Fonte: Innova, 2017.

4.2 COLETA DO MATERIAL DE REFORÇO DO COMPÓSITO

A casca da Castanha-do-Brasil foi coletada em uma grande produtora do Estado do Amazonas. Após a coleta, o material foi trabalhado conforme Figura 5 onde as cascas foram limpas, conforme o menciona Petrechen *et al.* (2016), com raspagem manual e escovação a seco para retirada dos resíduos de amêndoas existentes, em seguida selecionadas de acordo com seu estado de degradação, sua aparência e cheiro para posterior processo de trituração. Esta limpeza tem o intuito de evitar contaminação devido aos resíduos se deteriorarem de forma oxidativa, além de provocar alterações organolépticas conhecidas, como o aparecimento de compostos tóxicos segundo Ribeiro *et al.* (1993).



Figura 5. Cascas limpas e selecionadas para trituração e local de produção.

Fonte: Própria, 2019; Maués *et al.*, 2015.

4.3 PROCESSO DE TRITURAÇÃO DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL

Um dos processos necessários nesta pesquisa foi a trituração que consiste na transformação de um material sólido com grande tamanho e modificá-lo tornando-o de forma controlada, menor.

Para triturar a casca da Castanha-do-Brasil utilizou-se um moinho de facas modelo MA048 da marca MARCONI do laboratório da Universidade Federal do Amazonas, o LAMAC. Em seguida, a casca moída foi peneirada com a utilização de peneira Tyler/ABNT com malha de 20 Mesh. Separando -se as partículas menores ou iguais a 0,85 mm para preparação dos compósitos com HIPS.

Após o processo de trituração da casca da Castanha-do-Brasil o material foi armazenado em frascos de vidro com tampa para evitar a entrada de umidade. E em seguida processadas na fabricação dos compósitos por injeção plástica.

4.4 PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA

Para produção do material compósito foi utilizado a injeção plástica. O processo se dá pela injeção de quantidades predefinidas de partículas de casca e HIPS para a cavidade de um molde feito de aço onde preencherá toda a forma do produto existente no interior do mesmo.

O molde foi otimizado para injetar três tipos de corpos de prova, porém devido a problemas da configuração da máquina, somente o ensaio de tensão (ASTM D-638/10) estava disponível.

Para o processo de injeção, o HIPS foi pesado e separado em duas medidas distintas conforme Tabela 3, tomando como referência o valor de 0,7500 kg sendo o máximo de material, a proporção foi definida em relação a seu peso. Foi utilizado um recipiente de armazenagem para mistura entre a casca da Castanha-do-Brasil em forma de partículas e o HIPS em forma de pellets. A mistura foi realizada manualmente por meio de agitação do recipiente, buscando garantir melhor mistura entre a matriz polimérica e a carga de casca da Castanha-do-Brasil.

Tabela 3. Parâmetros do material a ser injetado em peso e percentual de massa.

Código	Material	Peso (kg)	Massa (%)
M5	HIPS	0,71256	95
	Casca da Castanha-do-Brasil	0,03751	5
M2,5	HIPS	0,73125	97,5
	Casca da Castanha-do-Brasil	0,01876	2,5

Fonte: Própria

O equipamento utilizado na injeção do compósito foi da marca KRAUSS MAFFEI, modelo 300/1400/390 CL, com molde elaborado para produção de corpos de prova para ensaios de resistência a tração de acordo com as normas ASTM D638- 2010 e resistência a impacto IZOD com entalhe de acordo com a norma ASTM D256-2010.

Além disso, alguns parâmetros de injeção são necessários para o equipamento como a configuração do mesmo antes de iniciar o processo de injeção, esta parametrização está sendo de acordo com a experiência de uso do equipamento no processo de produção de compósitos, pois devido à recente iniciativa de se contribuir com pesquisas na área de materiais compósitos, a empresa vem se aprimorando. Os parâmetros podem ser vistos na Tabela 4 e estão relacionados a pressão, velocidade e tempo de injeção utilizados na produção dos compósitos aqui trabalhados.

Tabela 4. Parâmetros de injeção do equipamento.

S7(mm)	S8(mm)	V5-Vel(mm/s)	P2-Pressão de injeção(bar)	P30-Pressão de recalque (s)	T60-Tempo de recalque (s)	Tempo de injeção(s)	T2- Tempo de resfriamento(s)
34,5	8	75	900	800	15	5	30

Fonte: Própria.

Outros parâmetros como a temperatura em cada zona de aquecimento do canhão, parâmetros monitorados e o tempo de resfriamento e podem ser vistos na Figura 6:

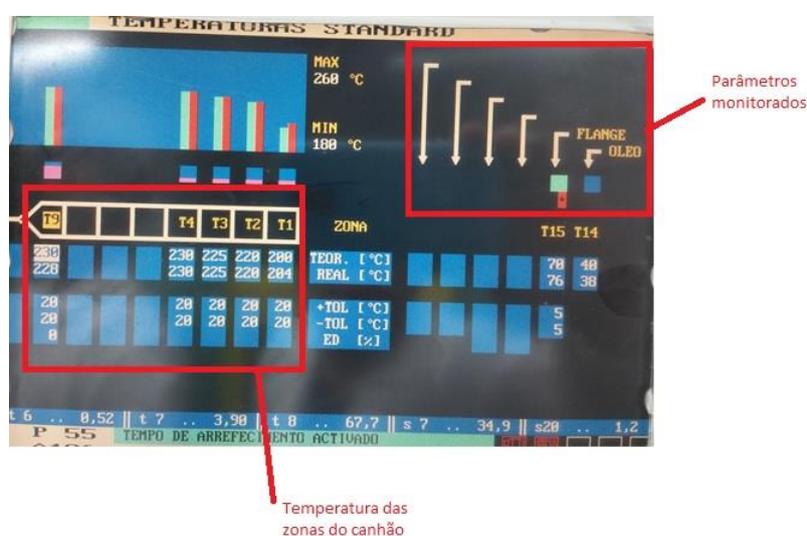


Figura 6. Parâmetros de temperatura das zonas do canhão de injeção.

Fonte: Própria.

O processo de injeção consiste em cinco etapas conforme Meekers *et al.* (2018), compreendendo fechamento do molde (fixação), injeção por fusão (embalagem), resfriamento, abertura do molde e ejeção. O processo inicia alimentando-se o material plástico (geralmente pellets) do funil ao tambor de injeção aquecido da máquina de moldagem por injeção. Os pellets são fundidos no tambor aquecido através da condução de calor e a ação de cisalhamento é realizada por um parafuso rotativo. O parafuso gira e transporta o material fundido para a câmara de parafuso na frente da ponta do parafuso. Após esse estágio de plastificação, o polímero é injetado na cavidade do molde, que é moldada como o negativo da peça a ser produzida. A fase de enchimento inclui a compressão da matéria prima fundida na cavidade, que é seguida por uma etapa de embalagem/retenção, na qual uma alta pressão de fusão é mantida para compensar a contração à medida que mais matéria prima fundida é forçado para dentro da cavidade. O estágio de compressão ou o ponto de comutação da injeção para a fase de retenção ocorre quando 95% do molde é preenchido. O molde é então resfriado com o auxílio de canais de resfriamento dentro do molde, resultando na solidificação da peça plástica. O processo termina com a ejeção da parte sólida arrefecida. A peça é ejetada quando o molde que consiste em duas metades é aberto. Todo o processo é repetido.



Figura 7. Processo de injeção plástica de compósitos, molde de injeção e rebarba.

Fonte: Própria.

4.5 ENSAIO DE TRAÇÃO

Após a retirada do C.P., este sai pronto para que se realize o ensaio de tração. Desta forma, o ensaio foi executado em uma INSTRON SÉRIES 5980 existente na Universidade do Estado do Amazonas. Os C.P.'s foram fabricados conforme mostra a Figura 8, onde temos as dimensões conforme norma ASTM D638-2010.

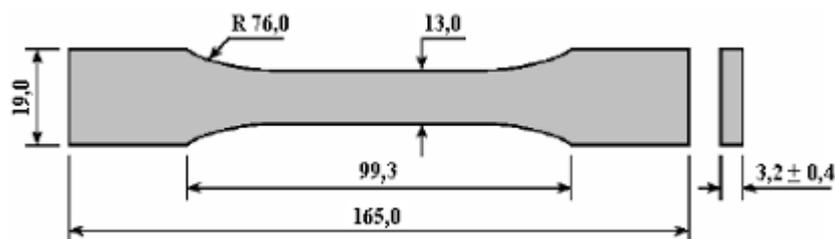


Figura 8. Medidas padrão corpo de prova polimérico.

Fonte: ASTM, 2010.

4.6 ANÁLISE MICROSCÓPICA (M.O.)

Os C.P.'s obtidos após o ensaio de tração foram reunidos para posterior trabalho de microscopia óptica no equipamento microscópio digital usb 2.0 da marca RoHS modelo 1000X para obtenção das primeiras imagens das fraturas obtidas do ensaio de tração.

4.7 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Foi realizada a análise de Difração de raios x (DRX), com o intuito de determinar se a estrutura do compósito é amorfa ou cristalina. Assim, as amostras foram previamente preparadas pela técnica de embutimento devido a forma do porta-amostra do equipamento, sendo produzidas as formas mostradas na Figura 9 e em seguida analisadas no equipamento chamado Difrátômetro da marca SHIMADZU modelo XRD 6000 localizado na Universidade Federal do Amazonas no laboratório de técnicas mineralógicas da Geologia.

Os parâmetros utilizados no difratômetro estão listados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros do difratômetro.

PARÂMETROS DO DIFRATÔMETRO	
Eixos de acionamento	Θ - 2Θ
Intervalo de leitura	10.000-100.000
Modo de leitura	CONTÍNUO
Velocidade de leitura	2 (graus/min)
Campo de amostragem	0,02 graus

Fonte: Própria.



Figura 9. Corpos de prova para análise de difração de raios X.

Fonte: Própria.

4.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), uma técnica que utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca. O equipamento utilizado foi o modelo VEGA3 da marca TESCAN do Laboratório Tescan. Foi utilizado procedimento relacionado a norma ASTM E1588-08 que trata de análises por imagem.

4.9 MÉTODOS TERMOANALÍTICOS

4.9.1 DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial)

Foi utilizado o equipamento Calorímetro Exploratório Diferencial (DSC) da marca METTLER TOLEDO, modelo DSC1 (Schwerzenbach, Suíça). Além de uma Balança Microanalítica, marca Mettler Toledo, modelo MX5 (Schwerzenbach, Suíça). Todos pertencentes ao Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração – LRAC FEQ – UNICAMP.

O procedimento de preparação e análise conforme norma ASTM E 2550-11. Com auxílio de um estilete uma pequena porção de cada amostra foi retirada do corpo de prova e pesada em cadinhos de Al (40 uL) utilizando balança microanalítica. As porções de massa retiradas para cada amostra estão descritas na Tabela 6. O método utilizado foi o DSC 171, onde a temperatura varia de -30°C a 30°C, com uma taxa de 10 K/min em uma atmosfera de N₂ a 50 ml/min.

Tabela 6. Parâmetros do ensaio de DSC.

AMOSTRA	MASSA (mg)
CASCA DA CASTANHA- DO-BRASIL	8.7410
HIPS	5.4190
M2,5	8.3330
M5	6.4120

Fonte: Própria.

Realizou-se a prensagem com auxílio de pistão apropriado e em seguida os cadinhos foram selados com tampa furada e levados individualmente ao equipamento para análise.

4.9.2 TGA-Análise Termogravimétrica (Thermogravimetric Analysis)

A análise de TGA foi realizada em um analisador termogravimétrico TGA-DSC da marca SHIMADZU, modelo TGA-50M (Kyoto, Japan), além do auxílio de uma balança Microanalítica da marca METTLER TOLEDO, modelo MX5 (Zurich, Suíça). Um pequeno pedaço (~ 10 mg) de

cada amostra foi colocado em cadinhos de alumina (70 μL) e estes foram levados individualmente ao equipamento para análise.

O método utilizado foi o TGA 021, onde consiste no aquecimento de T_{amb} a 600 °C, a uma razão de 10 °C/min, sob atmosfera inerte de N_2 , a uma vazão de 50 mL/min.

4.9.3 FTIR (espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier)

Apesar de ser uma caracterização estrutural a técnica de FTIR onde a amostra é submetida a radiação infravermelho é de grande importância para caracterização de polímeros em termos de identificação e/ou determinação de características estruturais de polímeros.

Foi utilizado o equipamento Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), marca: Thermo Scientific, modelo: Nicolet 6700 (Madison/USA).

Uma porção de amostra foi levada ao equipamento para análise. As medidas foram feitas no modo ATR (cristal de Germânio) utilizando o microscópio FT-IR IMAGING MICROSCOPE cuja marca é a Thermo Scientific, modelo: Nicolet CONTINUUN (Madison/USA). As faixas utilizadas foram entre 4000-675 cm^{-1} . A resolução de 4 cm^{-1} e o número de SCAN 64.

4.10 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (FEA)

O Método dos Elementos Finitos (MEF) ou também conhecido como FEA- Finite element method é amplamente utilizado na engenharia para diversos tipos de análises em diferentes campos (PEREIRA, 2016). O FEA é baseado na discretização e subdivisão de um domínio do objeto analisado em pequenas partes, chamadas de elementos. Assim, é possível que se transforme um problema de alta complexidade na soma de diversos problemas com grau de complexidade menor (FURTADO, 2014; PEREIRA, 2016). Com isso, é possível realizar uma comparação com o modelo real e podendo ainda descobrir novas informações sobre o material.

O software utilizado para esta análise foi o Ansys Workbench®, com seu plugin de Dinâmica explícita (Explicit Dynamic). Algumas definições importantes como a tensão ou resistência ao rendimento (Yield Strength) e módulo tangente (Tangent Modulus) são importantes para o entendimento deste ensaio.

Tensão ou resistência ao rendimento (Yield Strength) é a magnitude do estresse em que ocorre a transição do ponto em que um material deixa de ser elástico e se torna permanentemente plástico (Ponto de retorno). O limite de elasticidade é uma constante de material que representa o limite de seu comportamento elástico.

Módulo tangente (Tangent modulus) é a razão entre determinada tensão e deformação encontrada no gráfico Tensão x Deformação elástica não linear do material.

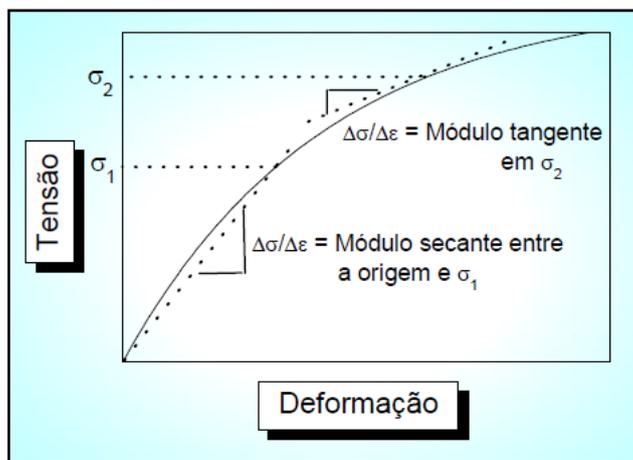


Figura 10. Gráfico Tensão x Deformação elástica não linear.

Fonte: Paiva (2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADO DA ANÁLISE MICROSCÓPICA (MO)

A primeira análise do material foi a microscópica convencional, sendo ela realizada para verificar as camadas existentes na casca da Castanha-do-Brasil. Logo, baseado na predominância dos tipos de células observadas, as cascas da semente se subdividem em quatro regiões morfológicas de diferentes tecidos. Assim, a caracterização morfológica obtida por lupa estereoscópica e microscópio óptico da casca da castanha foi dividida em quatro regiões em concordância com Petrechen *et al.* (2016), sendo estas regiões a Exotesta (EX), Região central da Mesotesta (MT), Região Vascular (RV) e Tegmen (TG). Na Figura 11 é possível verificar como é dividida a casca:

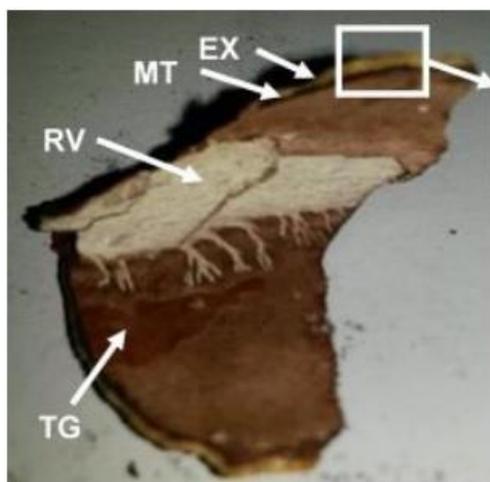


Figura 11. Regiões analisadas conforme tecido encontrado: Exotesta (EX); Região central da mesotesta (MT); Região vascular da mesotesta (RV); Tegmen (TG).

Fonte: Petrechen *et al.*, 2016.

Assim, segundo Petrechen *et al.* (2016), a descrição das regiões são as seguintes:

EXOTESTA (EX): com relação a esta região, que constitui a camada superior (externa) da casca da semente, é constituída por células de esclerênquima do tipo esclereides, com paredes celulares secundárias grossas, com espaçamento intercelular baixo, bastante lignificadas, e ricas

em pontuações. O formato destas células é alongado e tendendo ao cilíndrico, com diâmetro em torno de 20 µm e comprimento maior que 40 µm.

REGIÃO CENTRAL DA MESOTESTA (MT): Com relação a esta região que compreende a segunda camada, logo abaixo da exotesta, é constituída por células parenquimáticas, onde estas possuem apenas paredes primárias, com amplo espaço intermolecular, com apenas pontuações primárias, de formato arredondado, isodiamétricas e medindo em torno de 20µm. Mais de 60% destas células contém taninos em seu interior, ou seja, segundo Monteiro *et al.*, (2005) a palavra tanino é largamente utilizada, particularmente em literatura botânica, a mesma é derivada originalmente da palavra “tanante”, que implica em um material vegetal que produza couro a partir de peles (PETRECHEN *et al.*, 2016).

REGIÃO VASCULAR DA MESOTESTA (RV): A região está presente nos três cantos da semente, e se distribui através de vasos condutores a partir dos cantos ao longo da mesotesta central. É constituída essencialmente por dois tipos de tecidos de esclerênquima, que são esclereides e vasos condutores. Respectivamente o primeiro tecido é formado por células com justo espaçamento intercelular, de parede secundária grossa e lignificada, em formato cilíndrico, com diâmetro em torno de 20 µm e comprimento em torno de 50 µm contendo maior número de pontuações. Já o segundo tecido é formado por células tubulares, com espaço interno amplo, de parede celular secundária grossa e lignificada, com a formação de um envoltório interno em formato de espiral, constituído de lignina (PETRECHEN *et al.*, 2016).

TEGMEN (TG): Esta camada fica entre a amêndoa e o tegumento da casca. É formada por um tecido parenquimático, de parede primária e fina, aparentemente lignificado e muito homogêneo em sua aparência, com pouco espaçamento intercelular e pouca distinção entre a divisão das células. (PETRECHEN *et al.*, 2016).

As características dos compósitos se deram na adesão carga e matriz. Conforme comparação entre o HIPS e os compósitos M2,5 e M5 é possível notar a mudança no comportamento do material quanto a solicitações até a fratura.

5.2 RESULTADO DO PROCESSO DE TRITURAÇÃO DA CARGA

As partículas obtidas na trituração foram analisadas em equipamento de microscopia eletrônica de varredura e foram realizadas medições para controle do tamanho das mesmas. Em

alguns pontos da matriz, houve a presença de partículas de dimensões maiores que estão na ordem de 2 mm de comprimento.



Figura 12. Fotomicrografia em MEV das medições de partículas da casca da Castanha-do-Brasil.

Fonte: Própria.

Tabela 7. Tamanho das partículas de casca da Castanha-do-Brasil.

Amostra	1	2	3	4
Medidas (μm)	761,3	907,9	664	570,1
Média (μm)	726			
Desvio Padrão (μm)	144,3			

Fonte: Própria.

5.3 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA DO CORPO DE PROVA

O material coletado foi pesado e dimensionado para formação do compósito, sendo a proporção definida como: uma amostra com 0% de reforço, outra com 2,5% e outra com 5% de reforço conforme mostra a Tabela 8. O material foi misturado manualmente em saco apropriado e em seguida despejado no funil de alimentação da injetora.

Tabela 8. Percentuais dos corpos de prova

Amostra	HIPS [% (m/m)]	Casca da C. do Brasil [% (m/m)]
HIPS	100	0
M2,5	97,5	2,5
M5	95	5

Fonte: Própria.

Este processo de injeção plástica obteve como resultado os seguintes corpos de prova para ensaio de tensão como mostra a Figura 13. Nos mesmos, foi possível verificar-se visualmente que o material teve uma boa aderência e se distribuiu por toda a matriz polimérica, mostrando alguns pontos pretos maiores que caracterizam partículas grandes do reforço



Figura 13. Corpos de prova obtidos no processo de injeção plástica. Sendo A) HIPS, B) compósito M2,5 e C) compósito M5.

Fonte: Própria.

5.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO

Após a obtenção dos C.P.'s para ensaio de tensão, foi possível preparar a máquina para realização do ensaio de tração, pois a mesma necessita ser configurada conforme cada caso. Sendo as configurações o tipo de ensaio, alinhamento da amostra e garras de fixação.

Os gráficos gerados pelo software do equipamento de ensaio de tração foram analisados e se encontram vide apêndice.

Com base nos resultados dos ensaios mecânicos e segundo Jesus *et al.* (2015), conforme a quantidade de carga sobre as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas, conferindo maior resistência ao compósito, aumentando desta forma, a rigidez do material. Dessa forma, o material apresentou uma melhora nas propriedades de tensão de escoamento com relação a HIPS de 44,78% comparado ao compósito M2,5 e de 52,33% quando comparado ao compósito M5. Além de apresentar melhora nas propriedades de tensão máxima média e de módulo de elasticidade, todos comparados ao polímero base.

Segundo Jesus *et al.* (2015), a rigidez do poliestireno está diretamente relacionada à estrutura química do PS que contém anéis aromáticos em suas cadeias laterais que dão rigidez a este polímero tornando um polímero vítreo. Assim, quando é incorporada a carga, esta influencia ainda mais a rigidez do reforço à matriz, contribuindo assim para o aumento da rigidez do material compósito.

Dessa forma, obteve-se os resultados do ensaio que podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9. Comparação dos resultados do ensaio de tração para cada amostra.

Amostra	Tensão de escoamento Média (MPa)	Tensão máxima Média (MPa)	Alongamento Média (mm/mm) %	Módulo de elasticidade Média (MPa)
HIPS	10,07 ±0,41	14,06 ±1,09	0,63 ±0,09	718,42 ±15,05
M2,5	14,58 ±2,23	17,92 ±2,78	0,13 ±0,03	1031,29 ±154,67
M5	15,34 ±1,03	19,20 ±0,46	0,09 ±0,03	1022,34 ±55,13

Fonte: Própria.

5.5 RESULTADOS DA ANÁLISE DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

A análise de difração de raios X realizada mostrou a característica do material em ser amorfo, com difratograma sem picos definidos e somente com um halo amorfo como pode-se ver na Figura 14.

É possível verificar um aumento na intensidade do halo presente na matriz amorfa do HIPS fazendo-nos entender que surgiu um pico de cristalinidade na matriz que está relacionado a incorporação da carga de casca de Castanha-do-Brasil, Segundo Katancic (2011), há uma certa dificuldade em se caracterizar e quantificar a estrutura durante a transição de uma fase amorfa

para uma fase cristalina estável, porém faz-se necessário essa análise para que o efeito de mudanças nos parâmetros de processamento possam ser monitorados.

É possível que segundo Braz (2014) os picos que aparecem na região de 2θ entre 18 e 30° não definem cristalinidade do material, entretanto, referem-se às ligações de hidrogênio entre as cadeias de celulose e interações de Van der Waals entre as moléculas de glicose presentes tanto na celulose quanto na hemicelulose.

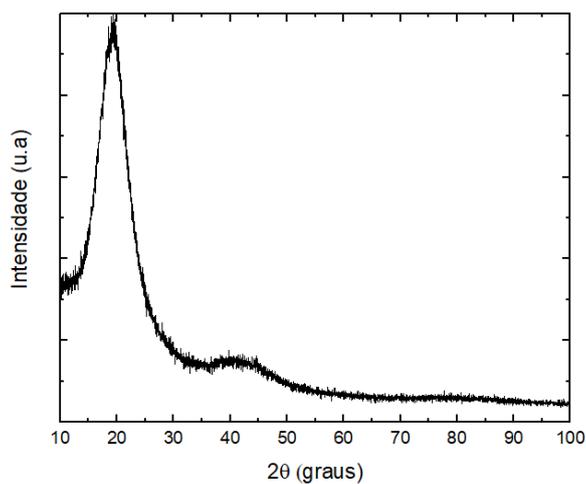


Figura 14. Difratograma do composto formado pela casca da Castanha-do-Brasil e HIPS.

Fonte: Própria.

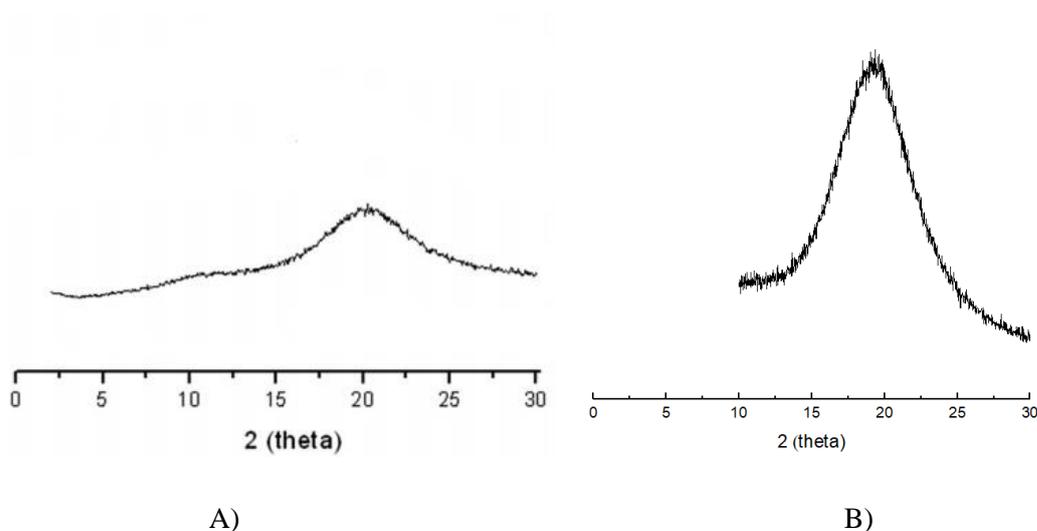


Figura 15. Comparação entre o difratograma do HIPS(A) da literatura com o composto fabricado(B).

Fonte: Própria

É possível verificar uma semelhança nos materiais, onde ambos têm características amorfas e um pico discreto em $\theta=20^\circ$ que chamamos de halo amorfo, sendo este mais acentuado no compósito devido a presença do Carbono ser maior na composição da casca da castanha. Segundo Mendes *et al.* (2007) os valores de Carbono (43,23%) e Molibdênio (74,53%) são elevados mostrando assim grande potencial deste resíduo para uso como adubação orgânica.

5.6 RESULTADO DA ANÁLISE MICROSCÓPICA (MO)

Na análise é possível verificar as diferenças na estrutura interna dos materiais e nota-se três diferentes perfis de fratura. No HIPS temos um perfil quebradiço com uma pequena porção que sofreu no decorrer da aplicação da tensão o “esbranquecimento” em uma das pontas, que segundo Correa (1999) quando em temperatura ambiente a superfície de fratura possui características com aspectos de dúcteis, onde temos a presença de regiões de escoamento por cisalhamento, considera-se o início da fratura. Possui alguns pontos de vazios ou bolhas e trincas no decorrer da fratura, sendo estas falhas na morfologia do material. No compósito M2,5 e M5 temos um material que possui algumas partículas da carga que estão maiores e portanto não se homogeneizaram com a matriz polimérica, onde pode-se observar que devido ao seu tamanho ficaram expostas na matriz podendo agir de forma benéfica, ou seja, bloqueando a continuação da fratura ou de forma maléfica soltando da matriz e causando vazios na estrutura, deixando a superfície espelhada que permitem que sejam observados maiores detalhes da morfologia do material sendo esta característica de fratura tipicamente frágil segundo Correa (1999) . A mistura entre a matriz e a carga foi realizada de forma manual e não por meio de extrusão, assim como não houve realização de nenhum tratamento químico na superfície da casca, dessa forma a distribuição da carga não foi uniforme, porém, a adesão ocorreu de forma significativa. As fraturas em ambos os compósitos se iniciaram na região de “esbranquecimento” localizada na lateral do C.P.

Utilizando os C.P.'s fraturados no ensaio de tração puderam-se observar em lupa estereoscópica as distribuições do reforço na matriz polimérica de forma macroscópica, como mostram as Figuras 16 (A), (B) e (C).

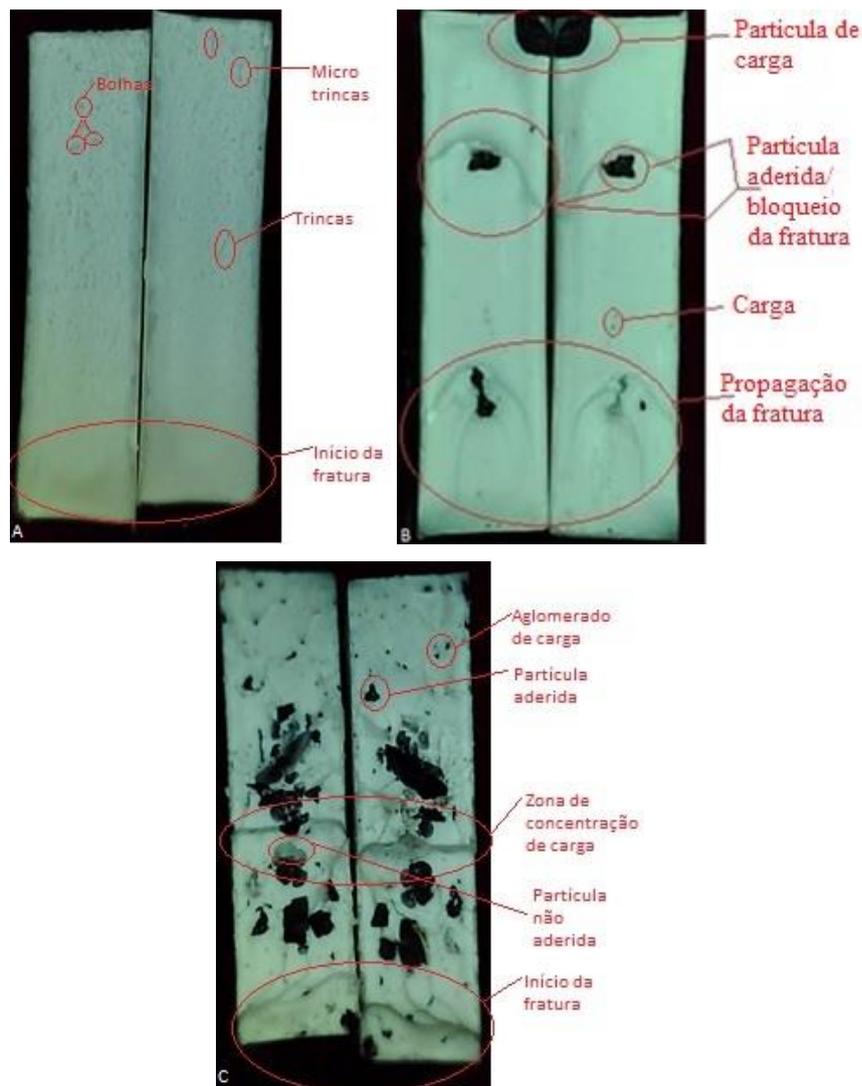


Figura 16. Microscopia óptica das fraturas de 0% (A), 2,5% (B) e 5% (C) de carga respectivamente. Aumento de 20x.

Fonte: Própria.

Foram realizadas análises de microscopia nas partículas de casca da Castanha-do-Brasil para se verificar a distribuição do tamanho das partículas. As imagens da amostra mostram uma grande quantidade de partículas maiores que 1 mm, isso mostra que não houve uma boa trituração das cascas e se perdeu o controle do tamanho das partículas usadas no compósito. A Figura 17 A e B mostram as medições das partículas e a Figura 18 mostra o gráfico de distribuição normal para os comprimentos das partículas.



A

B

Figura 17. Distribuição do tamanho das partículas.

Fonte: Própria.

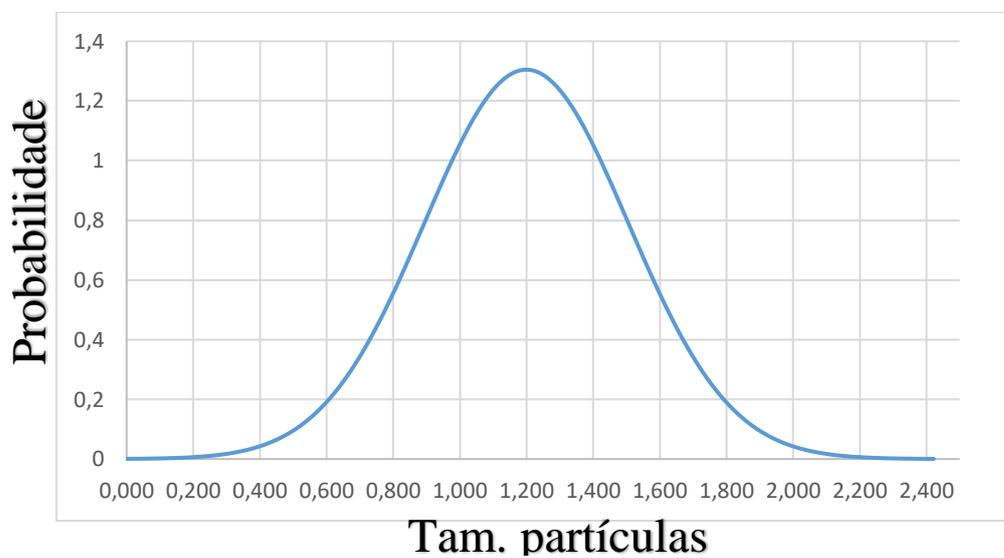


Figura 18. Distribuição normal das partículas.

Fonte: Própria.

5.7 RESULTADO DA ANÁLISE EM MEV

De forma complementar para a análise das fraturas, foi realizado a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e coletadas as imagens com uma ampliação de imagem que estão entre 193x e 2000x.

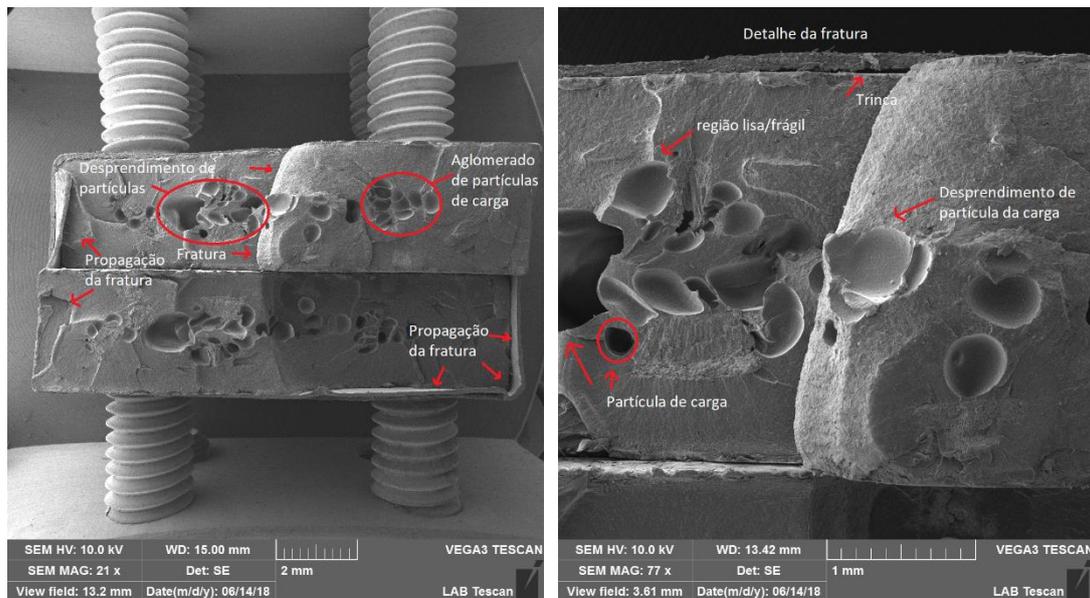
As observações referentes as imagens do MEV da fratura de 5% de carga são as seguintes:

As Figuras 19 (A) e (B) mostram algumas cavidades que são resultado do desprendimento das partículas que ficaram acima do intervalo 0,850mm. Pode-se observar na Figura 19 (A) e (B) uma morfologia com características diferentes das outras duas, a M2,5 e a do HIPS, sendo isso devido ao aumento da quantidade de carga. O material apresenta aparência de material frágil em alguns pontos, como nos vazios deixados pelas partículas de carga que se desprenderam, nas marcas de rio que aparecem que segundo Candido *et al.* (2015) e Mantovani (2017) isso pode ser notado pelas linhas que aparecem na fratura. O material apresenta alguns vazios onde devido ao material da carga ter partículas grandes acima de 0,85mm, alguns grãos se alojaram sem aderir a matriz, além disso é possível notar uma porosidade nas cavidades causada pelas partículas de borracha que geralmente se aglomeram em grandes quantidades na morfologia do HIPS. Apesar disso, nota-se que há boa interação entre a carga e a matriz pois não há sinal de partículas menores aparentes. Pode-se observar trincas ao longo de pequenas regiões com alguns pontos do material onde as partículas que se desprenderam agiram como barreira para propagação da fratura. Podemos observar na Figura 20 que segundo Correa *et al.*, (1999) quando em temperatura ambiente a superfície da fratura apresenta características tipicamente dúcteis com a presença de regiões de escoamento por cisalhamento decorrente do “esbranquecimento” característico em ensaios de aplicação de tensão.

Assim como Correa *et al.* (1999), nas regiões em que aconteceu a fratura tipicamente frágil é possível observar superfícies espelhadas que permitem a observação de maiores detalhes da morfologia do material caracterizada por partículas de borracha que aparecem em forma de poros. Entretanto, nas regiões com maiores deformações plástica a morfologia apresenta-se completamente descaracterizada pelo cisalhamento (CORREA *et al.*, 1999).

Uma característica que ocorreu no compósito M5 e pode ser vista nas micrografias é a repetição de uma região de escoamento cisalhante antes ou próximas dos vazios deixados pelas partículas, isso demonstra que a fratura se propagou com certa dificuldade até o ponto dos vazios e depois cessou, em seguida novamente se propagou até o rompimento do C.P.

Imagens para o compósito com 5% de carga podem ser vistas nas Figuras 19 a 22.



A)

B)

Figura 19. MEV das fraturas na composição de 5% de carga, 21x (A), 77x (B).

Fonte: Própria

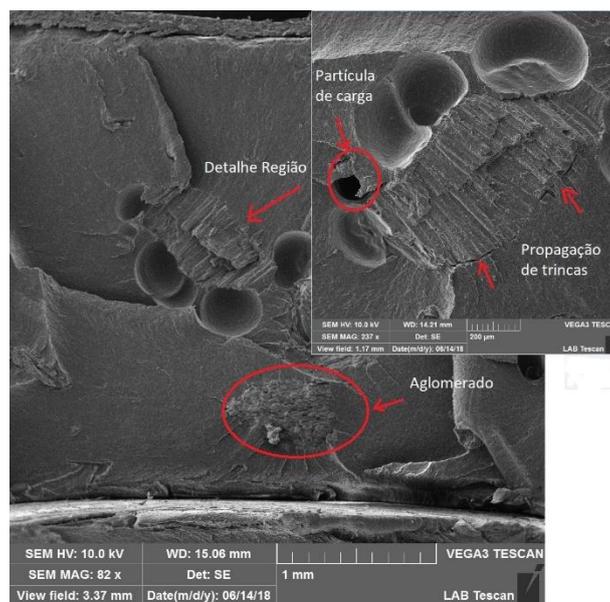
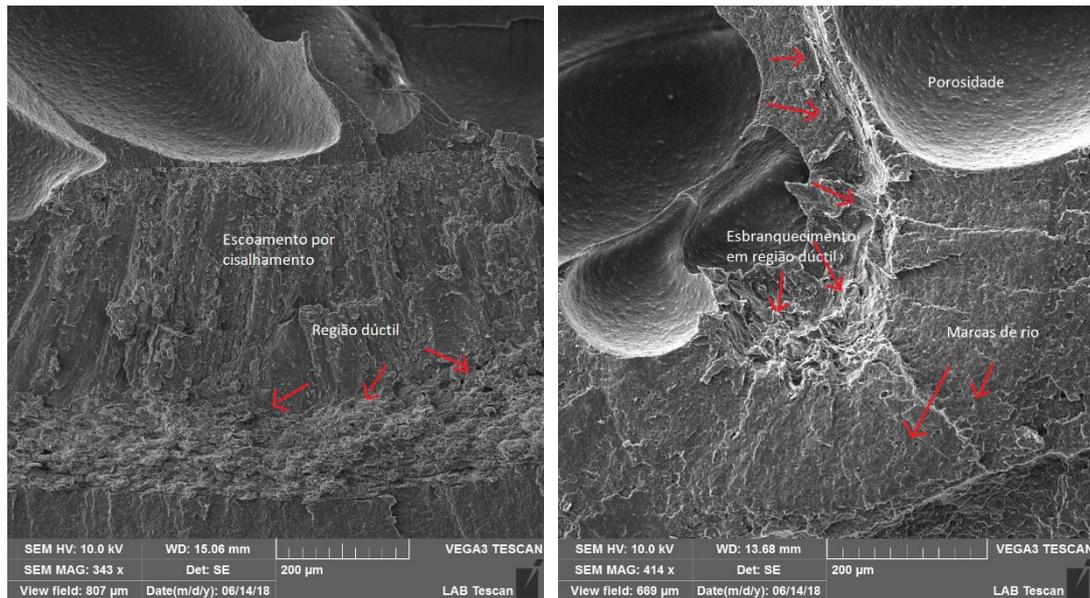


Figura 20. MEV das fraturas na composição de 5% de carga. Aumento 82x com detalhe em

237x.

Fonte: Própria



A)

B)

Figura 21. MEV das fraturas na composição de 5% de carga, 343x (A), 414x (B).

Fonte: Própria

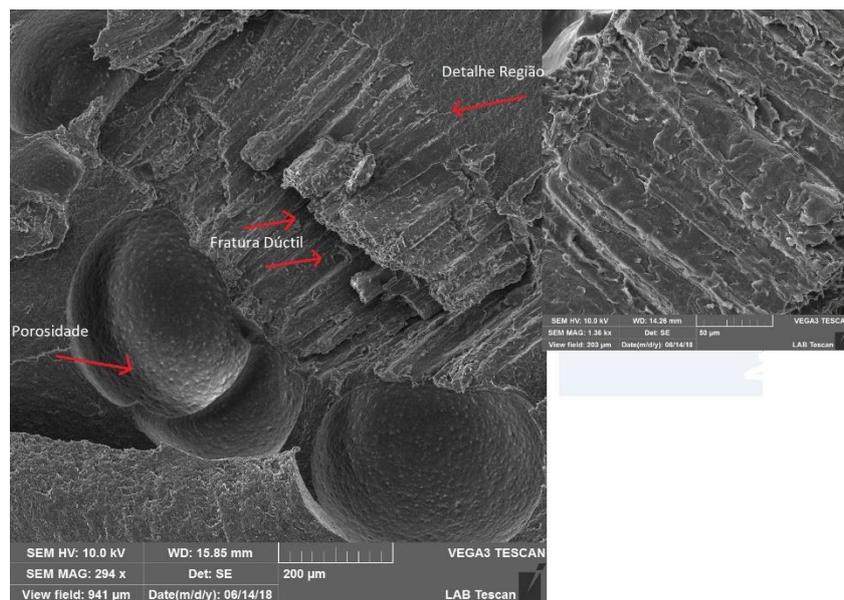


Figura 22. MEV das fraturas na composição de 5% de carga, 294x com detalhe em 1360x.

Fonte: Própria

Comparação entre duas imagens de mesma resolução para o HIPS e para o compósito 2,5 % de carga.

Pode-se observar nas Figuras 23(A) e (B) que o material mudou seu aspecto quando recebeu a incorporação da carga, devido aos aglomerados ficarem maior com relação ao de 0%. Além disso, pode se notar que a fratura não ocorreu de forma plana atribuindo característica de aumento na ductibilidade do material segundo Candido *et al.* (2015). Não é possível notar as partículas de carga aplicada e sim aglomerados decorrentes das blendas de borracha presente na morfologia do HIPS, com uma maior expressão no compósito M2,5. Assim sendo, o compósito se comporta com maior resistência à ruptura, maior densidade de material e maior aspecto de ductibilidade.

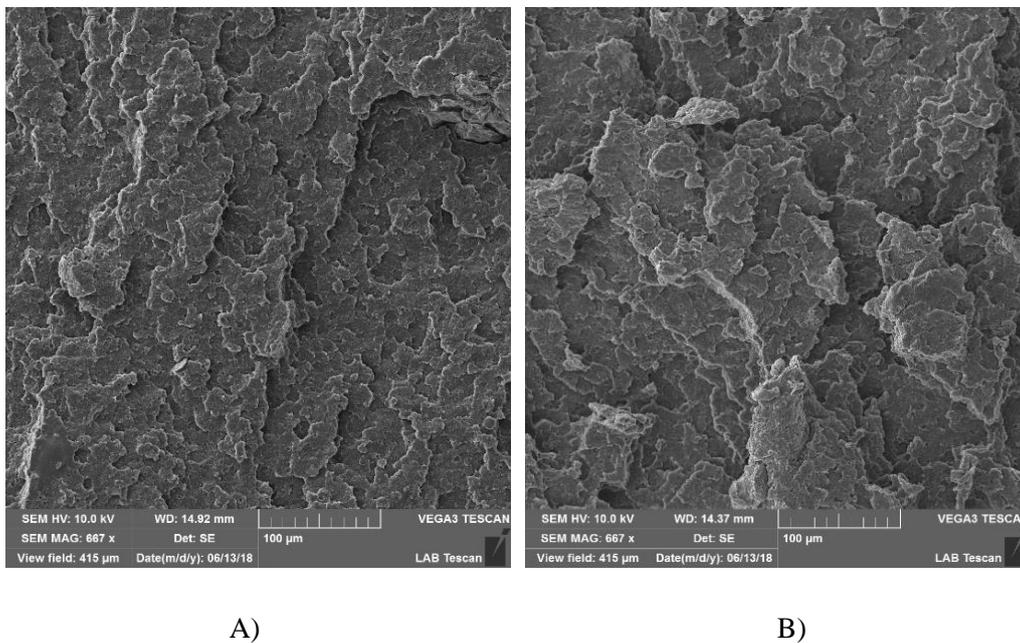


Figura 23. Comparação entre as imagens das amostras no MEV com 0% (A) e 2,5% (B). Aumento 600x.

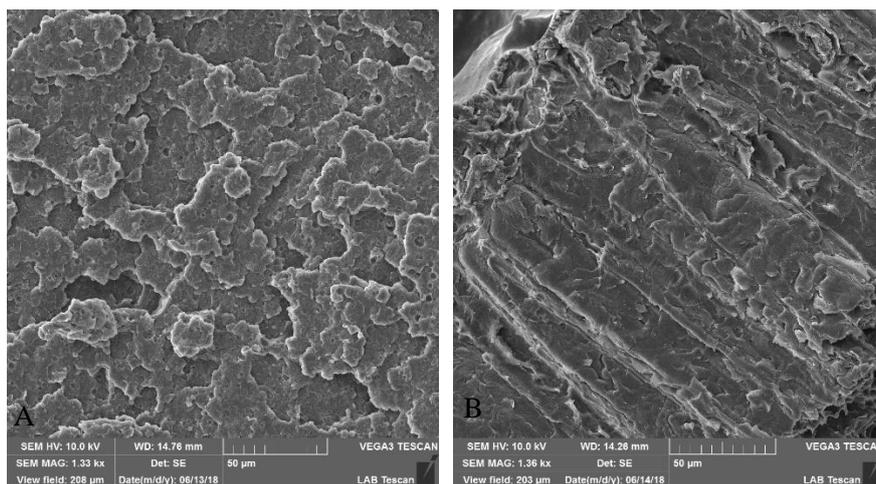
Fonte: Própria

Comparação entre duas imagens de resoluções aproximadas para o compósito 2,5% de reforço e para o compósito 5 % de reforço, 1000x (2,5%) e 1300x (5%), pode ser vista na Figura 24 A e B.

É possível observar claramente a diferença entre as regiões, devido ao aumento de aglomerados e de linhas verticais bem definidas, cuja característica dada é de ductibilidade e

resistência. Conforme Neto *et al.* (2007), é possível verificar uma variação na topografia da fratura com uma superfície mais rugosa (tipo dúctil) na Figura 24(B) e uma superfície mais plana (tipo frágil) na Figura 24(A).

Outra característica importante que pode ser ressaltada é que não houve o surgimento de uma interfase, região de afastamento entre a carga e a matriz que é típica de baixas interações interfaciais segundo Mantovani (2017), sendo isso ponto favorável a utilização destes materiais como compósito.



A)

B)

Figura 24. Comparação entre os compósitos fabricados com carga de 2,5% (A) e 5% (B). Aumento de 1330x e 1360x.

Fonte: Própria.

5.8 RESULTADOS DA ANÁLISE FTIR

Para determinação das absorvências foi seguido o procedimento descrito no ponto 4.8.3 do capítulo 4. Foram realizadas análises na casca da castanha como pode ser visto na Figura 25, no HIPS mostrado na Figura 26 e nas proporções de 2,5% e 5% do compósito de HIPS com casca da castanha mostrados nas Figuras 27 (2,5%) e 28 (5%). Uma observação importante é que na região entre 2350 cm^{-1} houve variação do grupo CO_2 do ambiente no instante da medição, logo não se considera os picos neste ponto para nenhuma das amostras.

Os principais constituintes da casca da Castanha-do-Brasil são a lignina e a holocelulose, onde esta é dividida em hemicelulose e celulose. (CECHETTI *et al.*, 2011).

Pode-se notar que o espectro obtido pela casca da Castanha-do-Brasil Figura 25 possui duas bandas de absorção intensa em 3424 cm^{-1} relacionado a estiramento da ligação O-H. Próximo a 1742 e 1615 cm^{-1} são observados os estiramentos C=O, que para a holocelulose tem sido atribuído a ácidos carboxílicos e ésteres. Para a lignina estes estiramentos têm sido associados a cetonas alifáticas e cetonas aromáticas substituídas, respectivamente. (CECHETTI *et al.*, 2011)

A banda observada entre 1374 cm^{-1} e 1615 cm^{-1} corresponde a vibrações do esqueleto aromático sendo característica da lignina (CECHETTI *et al.*, 2011). As bandas em 1453 , 1374 e 1315 cm^{-1} estão relacionadas com a deformação C-H. Próximo de 1160 cm^{-1} ocorre os estiramentos C-O e em 1104 e 1056 cm^{-1} a deformação de OH do grupo C-OH. (CECHETTI *et al.*, 2011).

Conforme os resultados de Sajith (2019) o pico de onda em torno de 3421 cm^{-1} , que está relacionado às ligações O-H da lignina, está presente no espectro da casca da Castanha-do-Brasil devido à presença de maior quantidade de lignina. Pico com número de onda próximo de 1280 cm^{-1} , que corresponde a ligações C-H de partes cristalinas de celulose, apresentou maior intensidade devido a quantidade de celulose presente na casca.

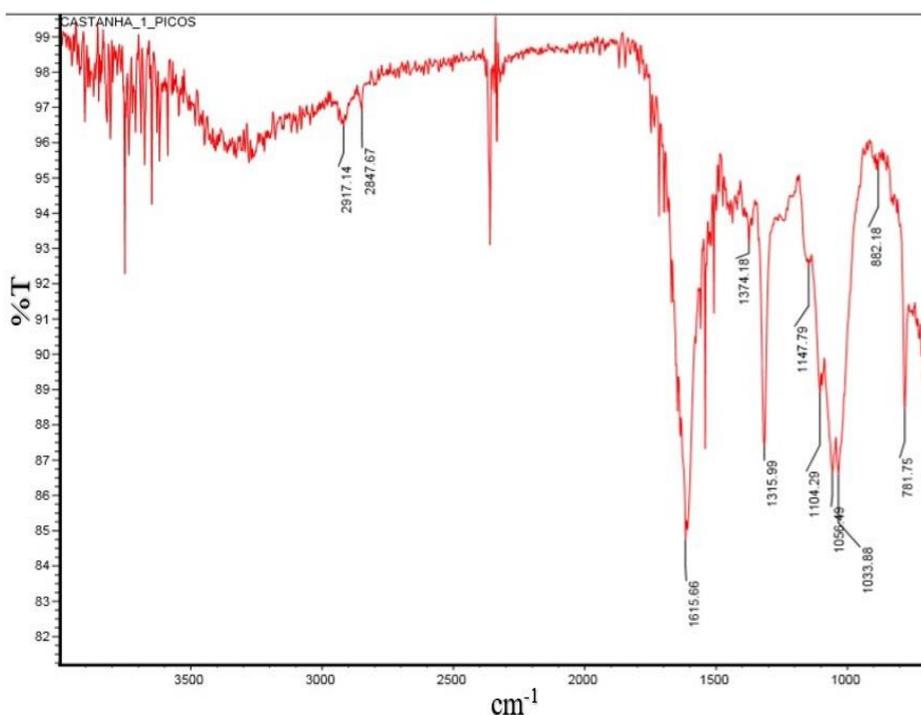


Figura 25. Espectro de infravermelhos da amostra de casca da Castanha-do-Brasil.

Fonte: Própria.

Segundo Masooda *et al.*, (2017) as bandas atribuídas à matriz de HIPS Figura 26 estão associadas ao modo de alongamento de C-H do anel em plano a aproximadamente 1491 cm^{-1} , deformação de C-H de grupos CH_2 a 1452 cm^{-1} , é possível ver ainda dois modos de curvatura fora do plano de C-H do anel a aproximadamente 749 cm^{-1} e 692 cm^{-1} , respectivamente.

O HIPS possui cinco bandas de absorção nas regiões entre $3400 - 2700\text{ cm}^{-1}$, dando característica de deformação axial nos átomos de hidrogênio ligados ao átomo de carbono, oxigênio e nitrogênio (C-H, C-O e N-H), mais especificamente nas regiões entre $3080 - 3020\text{ cm}^{-1}$ podemos caracterizar que as bandas representam C-H de alcenos, uma característica que pode ser notada na Figura 33. Além disso, as duas bandas de absorção da região entre $2960 - 2850\text{ cm}^{-1}$ representam C-H alifáticos, onde temos CH_2 ou CH_3 (carbonos primários e secundários). Já as bandas de absorção que aparecem entre $1600 - 1450\text{ cm}^{-1}$ são C=C de aromáticos.

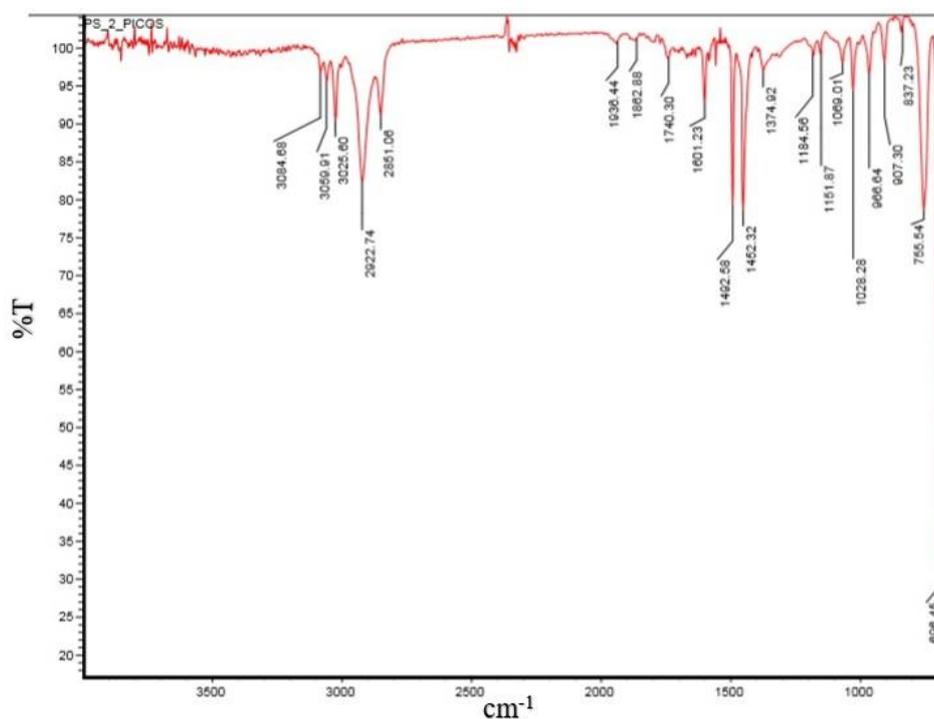


Figura 26. Espectro de infravermelhos da amostra de HIPS.

Fonte: Própria.

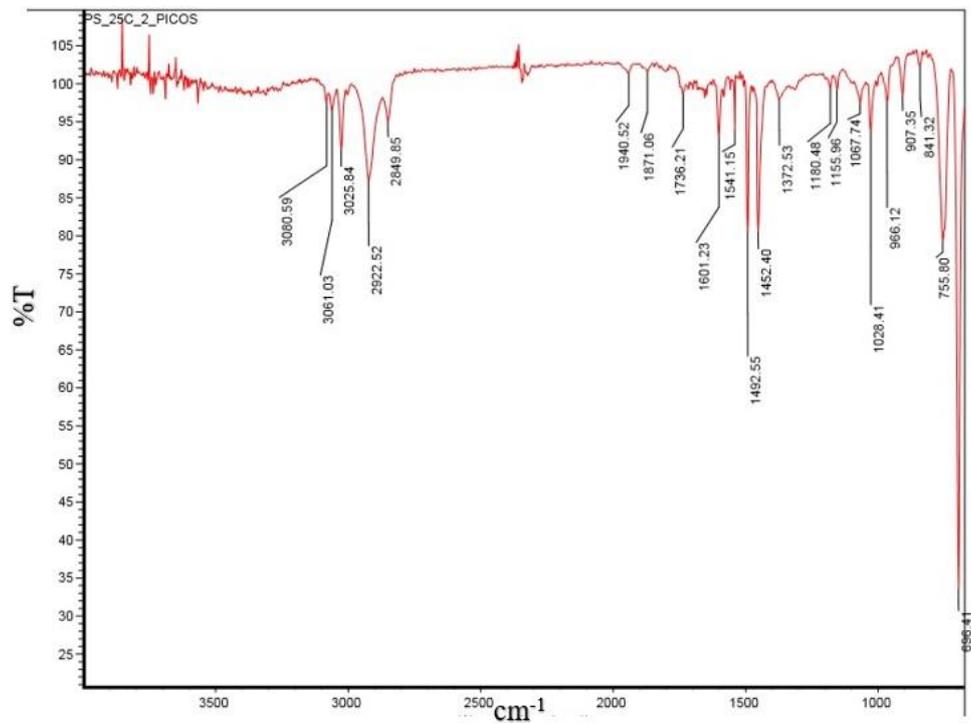


Figura 27. Espectro de infravermelhos da amostra de HIPS com carga de 2,5%.

Fonte: Própria.

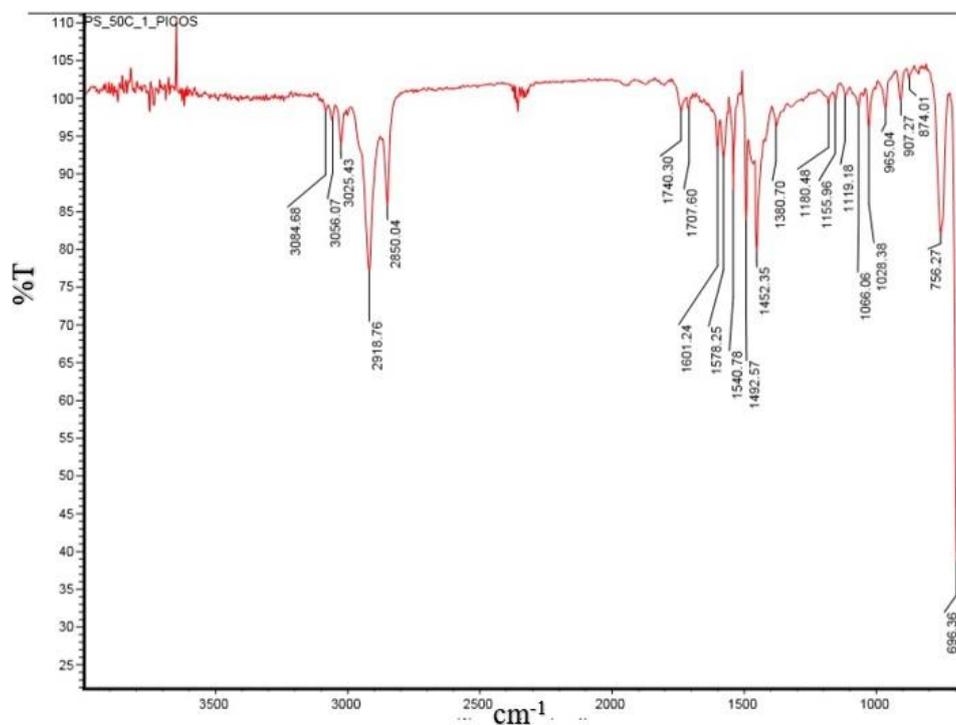


Figura 28. Espectro de infravermelhos da amostra de HIPS com carga de 5%.

Fonte: Própria.

Já os espectros obtidos dos compósitos estão com semelhança entre si e com a matriz de HIPS, como podemos observar na Figura 29. É possível associar a presença da carga de casca da Castanha-do-Brasil nos compósitos com os picos do ponto C e D, sendo de forma discreta sua presença.

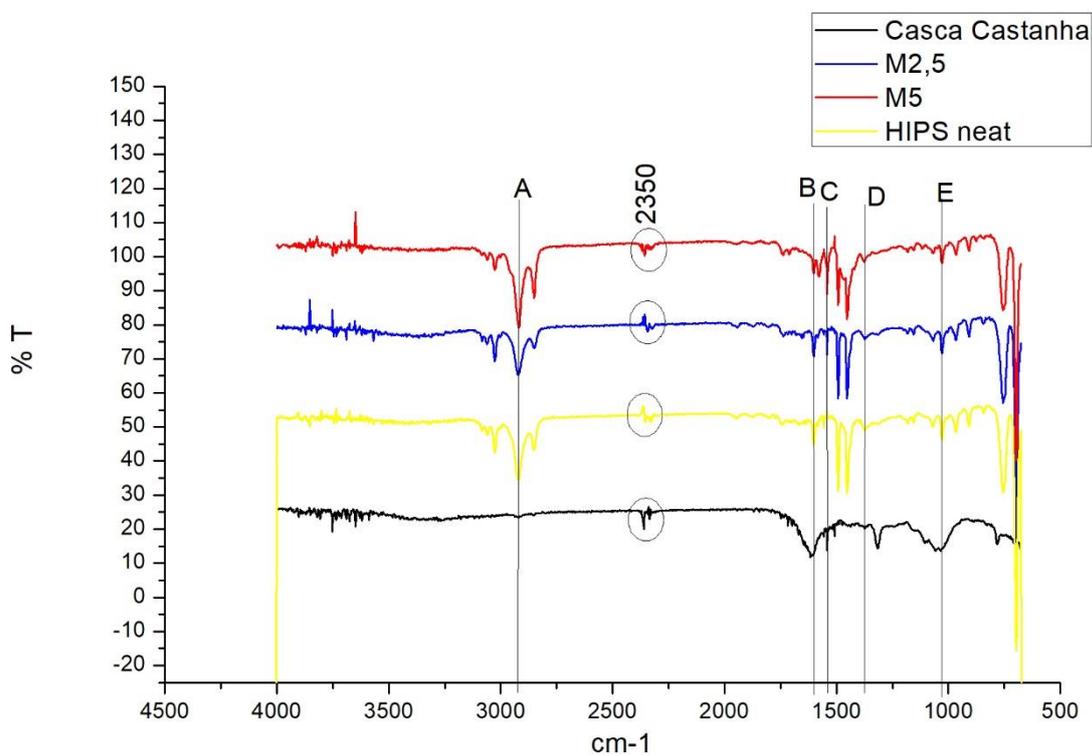


Figura 29. Comparação entre a matriz polimérica e os compósitos fabricados.

Fonte: Própria.

Podemos observar que a região de impressão digital deste material em FTIR encontra-se entre 1650 cm^{-1} a 400 cm^{-1} .

5.9 RESULTADOS DA ANÁLISE DSC (Calorimetria diferencial de varredura)

Utilizou-se a técnica de DSC por fluxo de calor para determinação da temperatura de transição vítrea (T_g) do HIPS e suas variações do compósito fabricado. A T_g de um polímero é a temperatura na qual o material muda de um estado vítreo para uma estrutura em que as cadeias têm maior mobilidade (LUNA *et al.*, 2015). Assim, conforme o procedimento abordado no ponto 4.8.1 do capítulo 4.

Das análises de DSC foi possível observar que o material tem diferentes comportamentos, sendo uma característica do gráfico de comparação Figura 30 que o comportamento dos materiais compósitos foi de compatibilização, ou seja, exibe uma fina morfologia de fase e propriedades satisfatórias. Ambas as fases são homogêneas e possuem sua própria Tg, porém estas são deslocadas dos valores dos polímeros puros em direção à Tg do outro polímero.

Ensaio de calorimetria exploratória diferencial (DSC) em amostras de HIPS citam que, além do sinal característico da transição vítrea do poliestireno, em torno de 90 °C, pequenos picos de fusão em torno de 120 °C e/ou 160 °C podem ser encontrados, indicando a presença da contaminação com polietileno e/ou polipropileno, respectivamente. (RIBEIRO *et al.*, 2014).

A detecção de um único evento térmico a aproximadamente 90,5 °C, característico da temperatura de transição vítrea da fase PS, mostra a ausência de polímeros contaminantes como PE e PP. Ribeiro *et al.* 2012 observaram em amostras de HIPS, submetido a até nove ciclos de reprocessamento, temperaturas de transições vítrea do PS variando entre 100 e 103 °C, igualmente sem a presença de eventos de fusão. (RIBEIRO *et al.*, 2014). Outra característica que está presente é a relaxação de tensão existente em materiais poliméricos ou blendas. A relaxação que ocorre na região de transição vítrea, também chamada de relaxação primária ou relaxação α para polímeros amorfos, é resultante dos movimentos moleculares a longas distâncias, que envolvem os segmentos da cadeia polimérica principal. (CASSU *et al.*, 2005). Na região de transição vítrea, o comportamento mecânico de polímeros amorfos varia de um comportamento típico de material rígido para o de um material elastomérico.

A transição vítrea é acompanhada por uma variação de capacidade calorífica de poucos décimos de J/g.°C e além de uma variação acentuada do módulo de armazenamento, da ordem de 10^3 Pa no caso de polímeros amorfos. (CASSU *et al.*, 2005).

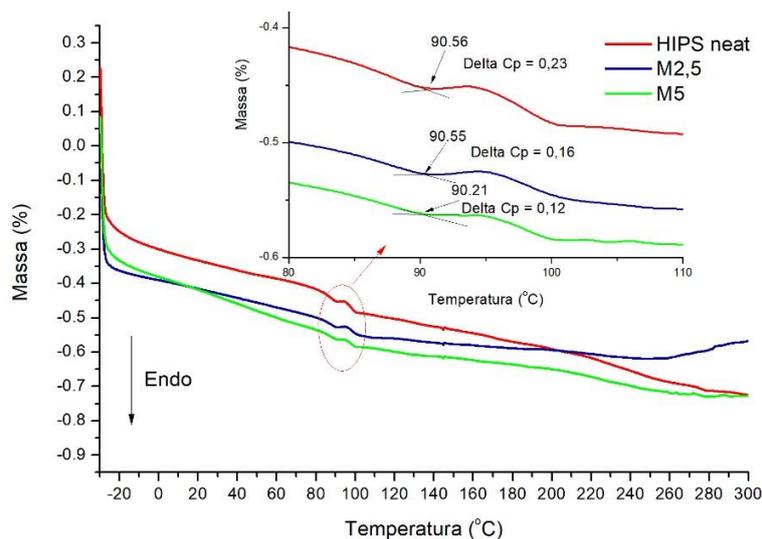


Figura 30. Comparação entre as curvas DSC.

Fonte: própria.

Os compósitos fabricados apresentaram temperaturas conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 10. Dados da análise de DSC.

Item	Tg (°C)	Delta Cp(J/g.K)
HIPS	90,56	0,23
M2,5	90,55	0,16
M5	90,21	0,12

Fonte: própria.

5.10 RESULTADOS DA TERMOGRAVIMETRIA (TGA/DTGA)

Temos como resultados da análise de TGA obtidas conforme procedimento relatado no ponto 4.8.2 do capítulo 4 as curvas de TG e DTG.

As curvas de TG e DTG para casca da Castanha-do-Brasil na Figura 31 mostram que há três regiões bem definidas de perda de massa em relação ao aumento de temperatura sob atmosfera controlada são elas na temperatura de 73,56°C, a 165,5°C e a 371,8°C. Porém nas temperaturas

de 24,52°C e 51,97°C pode-se dizer que há mais duas reações que ocorrem bem rapidamente no início da análise. Além disso, a curva de DTG nos mostra o tempo e a temperatura exata onde ocorreu um determinado evento térmico. Os eventos térmicos que ocorreram com a amostra utilizada na carga segundo Petrechen *et al.* (2016), de modo geral, a biomassa lignocelulósica apresenta cinco etapas de perda de massa distintas. Até 100 °C ocorre perda de umidade; de 100 °C a 250 °C ocorre o início de decomposição extraíveis; de 250 °C a 350 °C ocorre a decomposição da hemicelulose; de 350 °C a 500 °C ocorre a decomposição da celulose e lignina; e, por fim, acima de 500 °C ocorre a decomposição somente da lignina e de material previamente carbonizado.

Pode-se observar na Figura 31 que na primeira curva de DTG que temos uma série de reações primárias que acontecem muito rapidamente, em seguida um pico maior cuja as informações foram a temperatura de 73,56°C com perda de umidade de 1,391mg (13,7%), em seguida houve um acréscimo gradual na taxa de degradação, alcançando pico de 152°C e em seguida decaindo até 165,5°C, conforme observou Capri *et al.* (2016) para fibra *in natura* além da mesma perda inicial devido a fibra possuir caráter hidrofílico e mesmo seca possui alguma umidade, este verificou que a uma temperatura de aproximadamente 180–250°C pode-se observar a degradação da hemicelulose por um processo exotérmico. Em seguida há uma perda considerável de massa, cerca de 5,39mg (53,08%) a 371,8°C que segundo Capri *et al.* (2016) certamente está relacionada à decomposição da celulose em um processo endotérmico. Por fim, a perda de massa ao final da análise foi de 6,78mg (66,79%) que pode ser atribuída a degradação da lignina como cita Capri *et al.* (2016).

CASTANHA

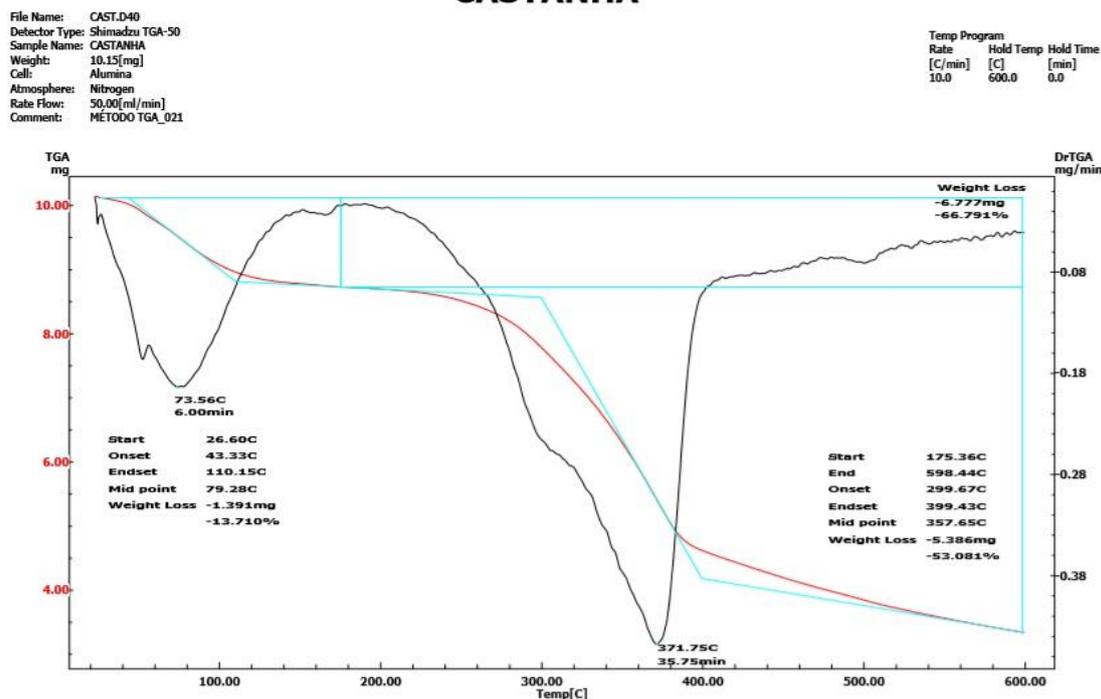


Figura 31. Curvas da análise de TG e DTG para casca da Castanha-do-Brasil.

Fonte: própria.

A análise de TG foi realizada visando a determinação do comportamento da matriz polimérica em função da temperatura. Assim, o HIPS, através da curva TG na Figura 32 apresentou um único estágio de perda de massa em aproximadamente 444°C, assim como no trabalho de Machado *et al.* (2017) onde o resultado obtido foi semelhante quando acima de 400°C. Fazendo uma comparação com o trabalho de Cordeiro *et al.* (2005) o valor obtido para o pico de degradação do HIPSpc (Reciclado) foi de 412°C, sendo na faixa de temperatura encontrada.

Nos compósitos, os gráficos de TG e DTG obtidos mostram que nos mesmos não houve mudanças nos eventos térmicos em comparação com a análise da casca da castanha ou com a do HIPS. Sendo mostrado apenas um pico de DTG onde há uma pequena variação nos valores decimais de temperatura e tempo, assim como afirma Capri *et al.* (2016) esse pico corresponde a degradação do material constituído de fibras *in natura*.

HIPS

File Name: PS.D40
 Detector Type: Shimadzu TGA-50
 Sample Name: POLIESTIRENO
 Weight: 10.35[mg]
 Cell: Alumina
 Atmosphere: Nitrogen
 Rate Flow: 50.00[ml/min]
 Comment: MÉTODO TGA_021

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
10.0	600.0	0.0

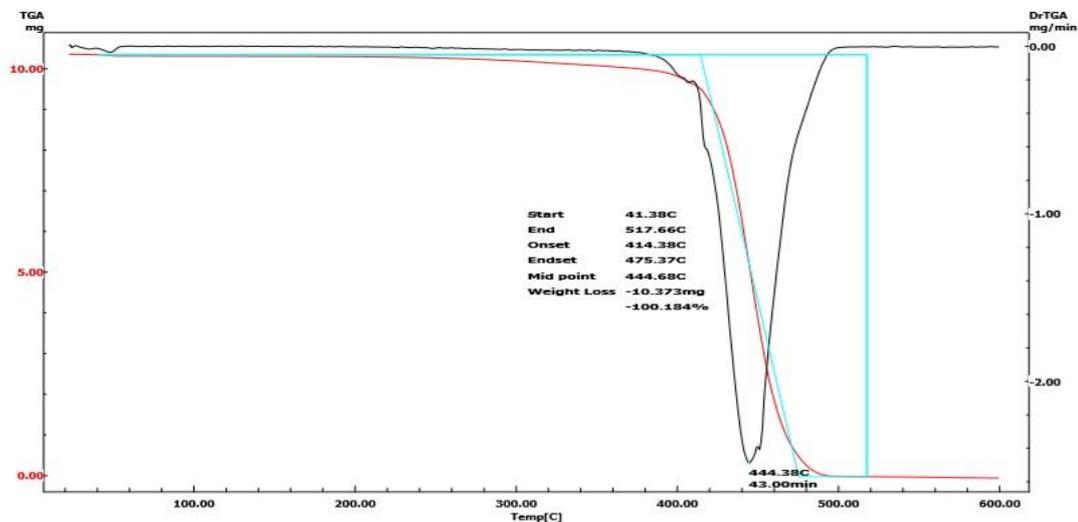


Figura 32. Curvas da análise de TG e DTG para HIPS (Poliestireno de alto impacto).

Fonte: própria.

M2,5

File Name: PS_25C.D40
 Detector Type: Shimadzu TGA-50
 Sample Name: POLIESTIRENO + 2,5 % CASTANHA
 Weight: 10.12[mg]
 Cell: Alumina
 Atmosphere: Nitrogen
 Rate Flow: 50.00[ml/min]
 Comment: MÉTODO TGA_021

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
10.0	600.0	0.0

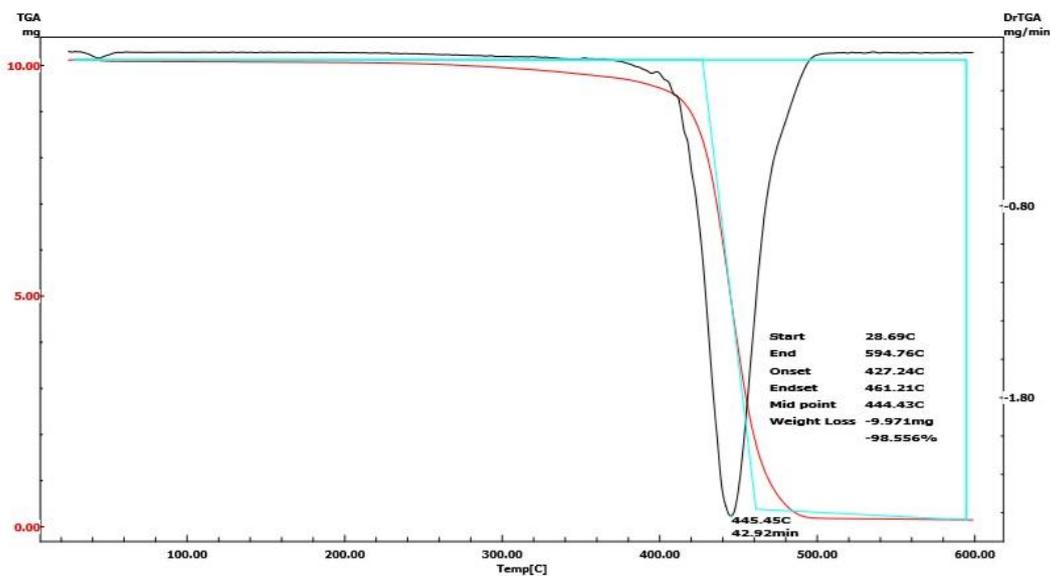


Figura 33. Curvas da análise de TG e DTG para compósito fabricado com 2,5% de carga.

Fonte: própria.

M5

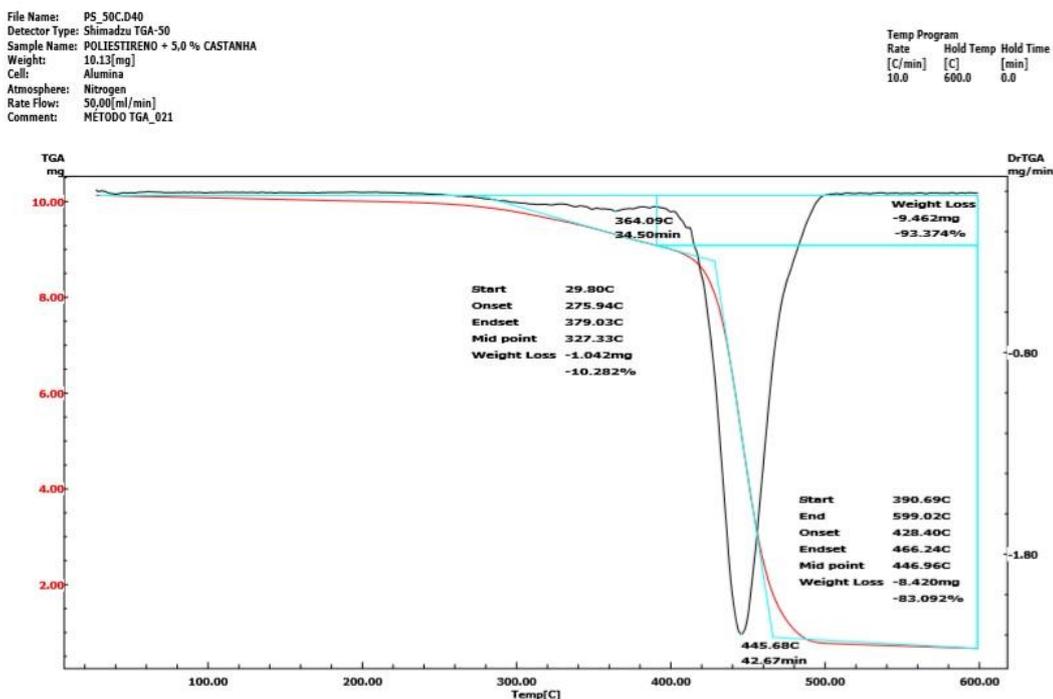


Figura 34. Curvas da análise de TG e DTG para compósito fabricado com 5% de carga.

Fonte: própria.

Os resultados na Tabela 11 mostram que a casca da Castanha-do-Brasil sofreu dois eventos térmicos bem definidos sendo gerados ao final da análise uma sobra maior de resíduo cerca de 33% podemos afirmar que o material não reage com a atmosfera inerte de N_2 . Já a amostra de HIPS perdeu-se totalmente na análise. Uma observação importante é que com a adição da carga na matriz polimérica do HIPS obtiveram-se melhores resultados com relação a temperatura final e conseqüentemente na sobra de resíduo da degradação em ambos as composições, sendo mais expressiva em 5% de carga, além de haver uma mudança na temperatura inicial dos eventos, onde para o material de carga era de 26,60°C e para o HIPS de 41,38°C, nos compósitos é possível ver que ambos tiveram a tendência aproximada do material de carga com as temperaturas próximas de 30°C, isso evidencia a presença do material da casca da Castanha-do-Brasil.

Tabela 11. Resultados da análise de TG e DTG para os eventos térmicos.

Material	Massa amostra (mg)	N. de eventos	TOnset (°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Massa perdida (%)	Resíduo (%)
Casca da Castanha-do-Brasil	10.15	1°	43,33	26.60	110.15	13.710	33.209
		2°	299.67	175.36	598.44	53.081	
HIPS	10.35	1°	414.38	41.38	517.66	100.184	0
		—	—	—	—	—	
M2,5	10.12	1°	427.24	28.69	594.76	98.556	1.444
		—	—	—	—	—	
M5	10.13	1°	275.94	29.80	379.03	10.282	6.626
		2°	428.40	390.69	599.02	83.092	

Fonte: própria.

5.11 MÉTODO DE ANÁLISE DOS ELEMENTOS FINITOS (FEA)

Outra análise utilizada para caracterizar o novo material foi pelo método dos elementos finitos (FEA), onde buscou-se comparar as características do ensaio de tração real com o virtual. Sendo elaborado o corpo de prova com as dimensões padrões de acordo com as normas utilizadas e determinando o tipo de material de acordo com a biblioteca do software Ansys®.

O ANSYS é um software de elementos finitos utilizado nas mais variadas classes de problemas de engenharia (PIMENTEL, 2014).

O tipo de ensaio utilizado foi o de Dinâmica Explícita, cujo módulo está presente no software e onde determinou-se as características de um ensaio quase-estático. Os parâmetros do ensaio virtual podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12. Parâmetros de contorno para ensaio FEA.

Material	HIPS (conforme parâmetros obtidos pelo software)
Deslocamento	100 mm (em tração)
Tempo de Análise	0,0007 s
Tamanho da malha	3 mm
Nº de nós	275 un
Nº de elementos	219 un
Coeficiente de Poisson	0,407

Fonte: Própria

O ensaio de tração virtual foi desenvolvido para o HIPS, aplicando-se a restrição fixa em uma ponta e um deslocamento na outra como podemos ver na Figura 35. Além da geração de malha, onde no FEA os resultados estão ligados diretamente à quantidade de elementos que são utilizados na simulação, ou seja, quanto maior o número de elementos, melhor e mais preciso será o resultado. Estes elementos formam uma malha que é o conjunto de elementos e nós segundo Pereira (2016).

É necessário alterar as propriedades correspondentes ao material na biblioteca do Ansys®, sendo preciso incluir a propriedade de plasticidade ao material, pois o mesmo vem como sendo um material de comportamento apenas elástico e dessa forma não sofrerá ruptura no ensaio virtual. As propriedades chamadas endurecimento isotrópico bilinear (Bilinear Isotropic Hardening) são tensão ou resistência ao rendimento (Yield Strength) e módulo tangente (Tangent Modulus).

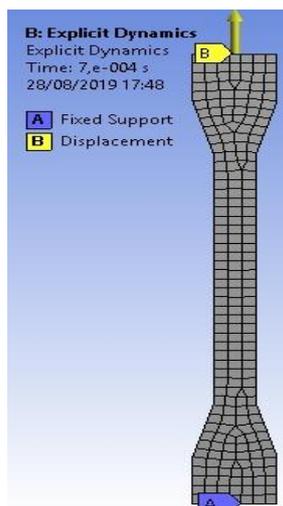


Figura 35. Aplicação das condições de contorno no corpo de prova virtual.

Fonte: Própria

Para realizar a análise, o software utiliza do critério de falha de Von Mises e desta forma verifica o estado de tensão para o qual os elementos do projeto estão sujeitos. Para melhor entendimento ao projetista, os softwares de elementos finitos utilizam-se de uma escala gráfica com aplicação de cores, sendo que cores mais quentes representam um estado de tensão e/ou deformação mais elevado (CLEZIDAN, 2016, 2003; PEREIRA, 2016).

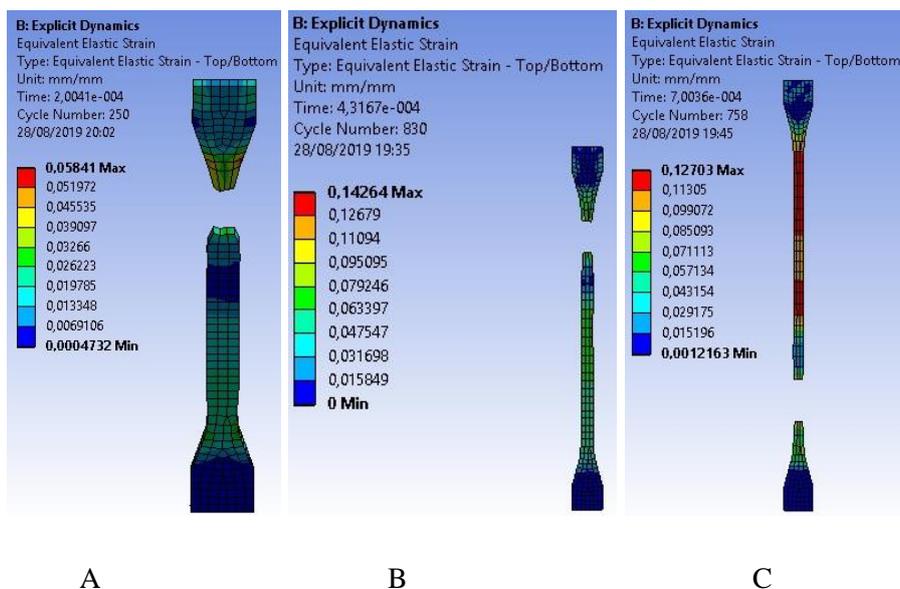


Figura 36. Ensaio de tração pelo método de elementos finitos, análise de deformação HIPS (A), M2,5 (B) e M5 (C).

Fonte: Própria

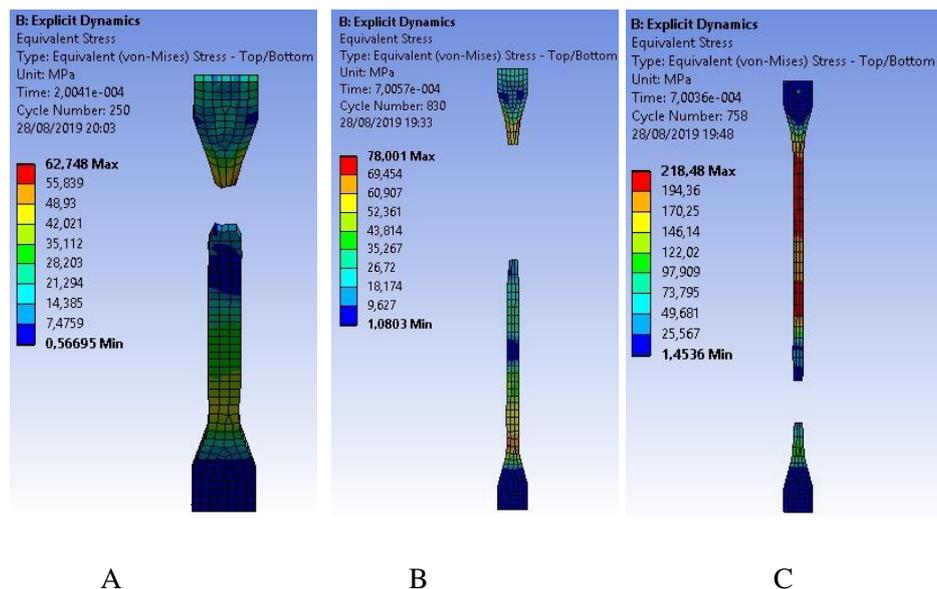


Figura 37. Ensaio de tração pelo método de elementos finitos, análise de tensão, HIPS (A), M2,5 (B) e M5 (C).

Fonte: Própria

A análise em FEA foi elaborada para se obter os valores referentes a tensão equivalente de Von Mises e deformação equivalente de Von Mises, dessa forma estabelecer uma relação com a deformação real obtida no ensaio de tração. Estes valores podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13. Resultados obtidos no ensaio de tração virtual e real.

Parâmetros	HIPS	M2,5	M5
Tensão Equivalente (Ansys®) (Mpa)	62,75	78,00	218,48
Deformação elástica equivalente (Ansys®) (%)	0,06	0,14	0,13
Deformação elástica equivalente (Real) (%)	0,63	0,13	0,09

Fonte: Própria

Na análise de convergência realizada no software com relação a deformação e o refinamento da malha é possível verificar que a tendência de aumento da deformação ocorreu para os quatro modelos estudados.

Uma análise de convergência para a deformação foi realizada com os resultados do refinamento da malha no software e pode ser visto na tabela 14.

Tabela 14. Análise de convergência.

Modelos	1	2	3	4
Tamanho de malha (mm)	3	2	1	0,5
Deformação (%)	0,058	0,060	0,061	0,063
Média (%)	0,061			
Desvio padrão (%)	0,00208			

Fonte: Própria.

Ainda com a utilização desta ferramenta, foi possível verificar o comportamento térmico do corpo de prova quando submetido a uma temperatura constante imposta na face lateral como mostra a Figura 38.

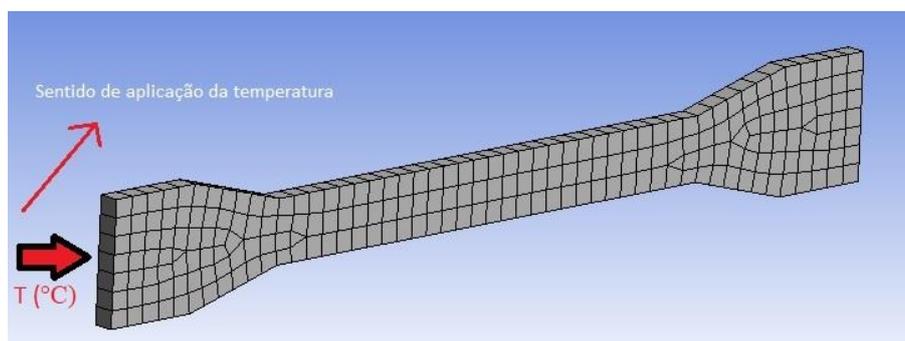


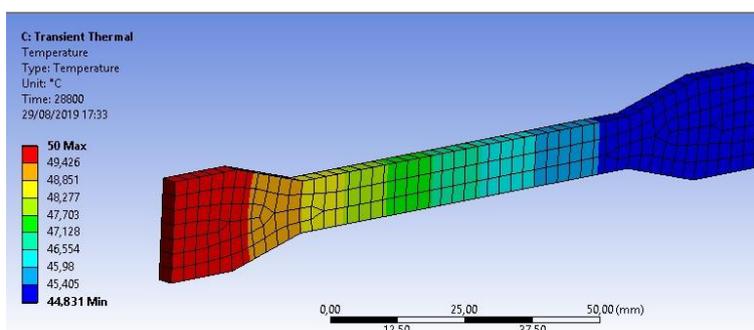
Figura 38. Sentido de aplicação da temperatura no corpo de prova.

Fonte: Própria.

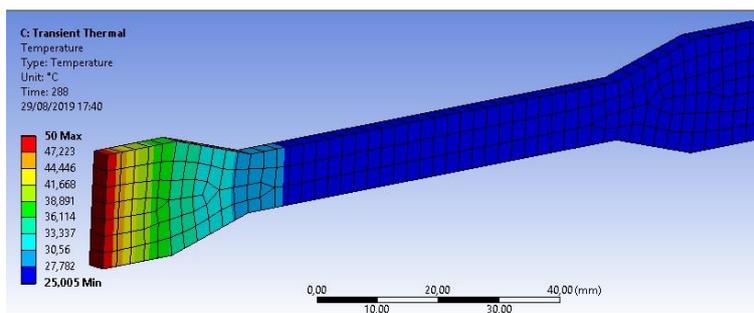
A variação do calor específico encontrada na análise de DSC dos materiais foram utilizadas como entradas de dados para o material utilizado no software Ansys® Workbench para dessa forma verificar o comportamento do material.

Assim como Vieira (2013) os alguns parâmetros utilizados na simulação foram condutividade térmica, calor específico e densidade dos materiais, todas estas propriedades presentes na biblioteca do Ansys® Workbench, variando com o tempo.

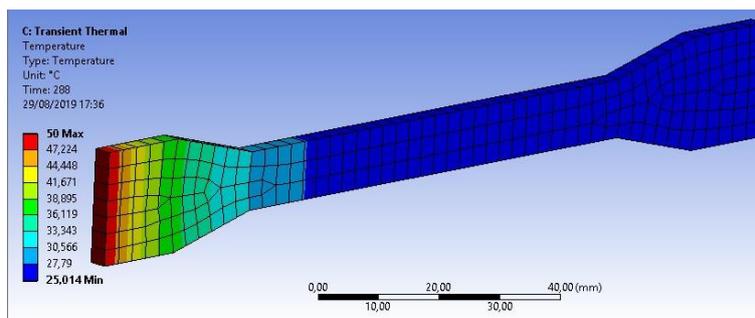
Partindo-se de uma temperatura ambiente de 25°C e aplicando-se uma temperatura externa de 50 °C, que segundo AZoM (2001) é a temperatura máxima de operação para o HIPS, por um período de tempo no regime transiente de 8 horas constante. Após as simulações, as comparações dos comportamentos podem ser vistas nas Figuras 39 A, B e C.



(A)



(B)



(C)

Figura 39. Análise da propagação da temperatura nos materiais, HIPS (A), M2,5 (B) e M5 (C).

Fonte: Própria.

É possível verificar que o HIPS deixou o estado de equilíbrio inicial com o tempo de 288 segundos à 25,001°C e ao fim do tempo de 8 horas em operação sua temperatura mínima no C.P era de 44,831°C. No compósito M2,5 ensaiado as mesmas condições do HIPS se comportou com maior resistência a temperatura inicial iniciando a 25,005°C e ao fim do tempo de 8 horas em operação sua temperatura mínima no C.P era de 47,215°C, sendo uma temperatura maior em aproximadamente 5% comparada ao HIPS. O C.P. do compósito M5 iniciou a transição térmica em 25,014°C, mostrando uma maior resistência térmica inicial se comparado aos outros dois materiais, porém, ao fim do tempo de 8 horas em operação sua temperatura mínima no C.P era de 48,400°C sendo uma temperatura maior em aproximadamente 8% comparada ao HIPS e 2,5% se comparado ao compósito M2,5.

É possível observar na análise que a transição do calor injetado no C.P. diminui no decorrer do seu comprimento quando comparado ao HIPS.

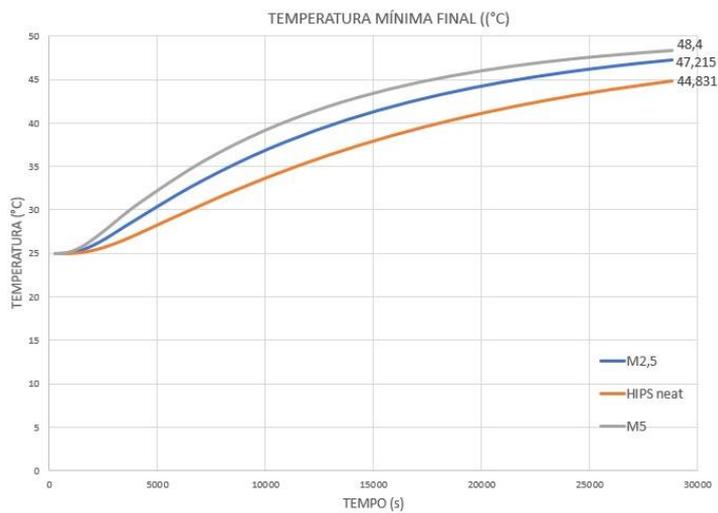


Figura 40. Gráfico de temperatura mínima final do ensaio virtual.

Fonte: Própria.

Na Tabela 15 pode-se observar as temperaturas iniciais e finais de transição térmica e seus respectivos tempos de início e fim de análise.

Tabela 15. Tempo e temperaturas de transição térmica para os C.P.'s.

C.P.'s	Tempo inicial (s)	Temp. inicial (°C)	Tempo Final (s)	Temp. Final (°C)
HIPS	288	25,001	28800	44,831
M2,5		25,005		47,215
M5		25,014		48,400

Fonte: Própria.

6 CONCLUSÃO

Conforme o andamento das pesquisas relacionadas ao novo material compósito, pode-se concluir que devido a não possuir um estudo na literatura que relaciona os mesmos materiais utilizados nesta pesquisa, a maioria das informações são de fato novas e agregam as características descobertas, propriedades e novas informações sobre este novo produto ambientalmente correto.

O reaproveitamento de resíduos estão sendo os mais diversos, porém, o proposto neste trabalho foi o de transformá-lo em um novo material compósito. Um compósito formado pelo aproveitamento das cascas da Castanha-do-Brasil e uma matriz polimérica de fácil obtenção e grande aplicabilidade como o HIPS, foi a forma mais viável encontrada.

De acordo com as análises realizadas, foi possível verificar um benefício com a utilização da carga de fibra natural lignocelulósica. Das análises microscópicas pode-se concluir que a interface entre matriz/carga teve uma aderência aproveitável, com algumas ressalvas com relação ao tamanho das partículas que em alguns casos não se homogeneizaram na matriz. Contudo, a interação obtida foi bastante considerável, tendo grande importância para a continuação do estudo. Pôde-se observar as características internas do comportamento do material estudando-se as fraturas do ensaio de tração realizado.

As imagens geradas pela luneta estereoscópica e pelo microscópio eletrônico de varredura dão grande importância ao estudo devido à falta de conteúdo relacionado aos materiais na literatura e veem como complementação com o que já existe. As análises térmicas auxiliaram na obtenção das temperaturas de transição relacionadas aos materiais estudados, o comportamento do material quando em aumento ou diminuição de temperatura. Assim, é possível concluir que o compósito fabricado teve um bom aproveitamento com relação ao polímero. Foram obtidas melhoras nas propriedades mecânicas como, resistência máxima a tração, na tensão de escoamento e no alongamento.

Assim, o ensaio de tração mostrou que a tensão de escoamento aumentou em 52,33% para a amostra com 5% e 44,79% para a amostra com 2,5% com relação ao material HIPS. Já a tensão máxima aumentou em 36,56% para 5% e 27,45% para 2,5%. A porcentagem do alongamento por sua vez diminuiu com relação ao material e a amostra de 5% representa apenas 14,29% do alongamento total, assim como a amostra de 2,5% somente 20,63%. O módulo de elasticidade aumentou com relação ao em 42,30% para 5% e 43,55% para 2,5%.

Das análises de DSC e TG foi possível obter os valores de temperatura em que os materiais sofreram algum tipo de evento térmico como transição vítrea, fusão e degradação. Para

o HIPS o valor obtido está condizente com o encontrado na literatura em que sua temperatura é de aproximadamente 90°C. já os eventos térmicos característicos dos materiais foram comprovados por meio das TG's realizadas em cada amostra e o material compósito produzido obteve pequenas diferenças com relação ao HIPS, porém, com a alteração de pequenos decimais na temperatura.

Em FTIR os resultados obtidos levam a acreditar que apesar da adição do material de carga na matriz de HIPS, o espectro do infra-vermelho não mostrou grande diferença, porém é possível encontrar a presença do material de carga.

Outra técnica importante foi a análise virtual do material com a análise por elementos finitos (FEA), onde pôde-se concluir que o material apresenta uma distribuição de tensão uniforme e correspondente ao ensaio de tração real realizado. Buscou-se comparar as tensões no corpo de prova no momento em que a deformação total obtida no ensaio real ocorreu. Além da técnica ser utilizada para avaliar o comportamento térmico do C.P. com relação a um estado térmico transiente onde o material foi simulado de acordo com suas características de operação real. Os resultados obtidos mostram que o material sofreu variações térmicas diferentes, sendo que a comparação com o HIPS mostra uma pequena melhora no início da transição térmica nos C.P.'s. Houve melhora de 0,02% para M2,5 em sua resistência térmica no início da transição e de 0,05% para o M5. Já para o fim da análise térmica os compósitos tiveram um comportamento em que os C.P.'s sofreram maior aquecimento com relação ao HIPS, sendo de 5,32% para M2,5 e de 7,96% para o M5 comparados ao HIPS e quando comparados entre si, os compósitos tiveram uma diferença de 2,51% na temperatura, sendo maior para o M5. É possível observar na análise térmica virtual que há uma diminuição da transição do calor no decorrer do comprimento do C.P. podendo-se concluir que o material tem uma resistência térmica maior quando comparado ao HIPS.

Assim, o aproveitamento inicial deste estudo foi satisfatório e sua continuação tem como proposta a utilização de novas técnicas de caracterização, novos ensaios mecânicos e variações dos parâmetros de fabricação. Além de uma maior exploração das ferramentas em FEA e do confronto com a realidade em ensaios que correspondam a análise do software. Elaboração de uma aplicação do novo material na indústria automotiva ou em outro setor cuja característica do material seja aproveitável com uma finalidade estrutural.

7 PERSPECTIVAS

Com a fabricação de um novo material utilizando recursos naturais oriundos da Floresta Amazônica, é possível se estimar uma enorme gama de utilizações para o material. Sendo este um material com boas propriedades mecânicas e térmicas, aplicações como na indústria automotiva, na produção de acessórios veiculares, na indústria de revestimentos ou isolantes térmicos, na produção de acessórios domésticos entre outras aplicações.

Novas caracterizações podem ser obtidas para o material para dessa forma, compor o leque de informações sobre este compósito e assim dar viabilidade para as futuras aplicações e utilizações do mesmo.

Maior exploração das ferramentas de FEA para comprovar viabilidade de fabricação de novos produtos.

Novas análises podem ser feitas com o aumento das porcentagens de carga como 7,5 e 10% para analisar a tendência de melhora nas propriedades dos compósitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAMAR, P. D.; **Caracterização do perfil de fibras em resíduos agroindustriais amazônicos e de sua capacidade de adsorção seletiva**. 2012. f. 43-48. Dissertação (mestrado em materiais) – Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 2012.
- ALMEIDA, J.J. **Do extrativismo à domesticação: As possibilidades da castanha-do-Pará**. 2015. f. 75-89. Tese (Doutorado em História Econômica). Universidade de São Paulo. 2015.
- ALMEIDA, N. M. B. G. de. **Estudo estrutural de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de juta**. 2012. f. 35-55. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- ANJOS, D. B. dos *et al.* Potencial da casca da castanha do brasil como biofertilizante no cultivo de *Lactuca sativa L.* **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**. v. 4 n.1, 17 de Julho 2017.
- ASHBY, M.F; JOHNSON, K. **Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto** – 2. Ed. RJ: Editora Elsevier, 2011.
- ASTM D638-10: **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**. 2010.
- ASTM, American Society for Testing and Materials. **Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**. ASTM D3039/D 3039M, 1995.
- ASTM Subcommittee D20. 10 on Mechanical Properties. **Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials**. American Society for Testing Materials, 2003.
- AZOM. **High Impact Polystyrene- HIPS**. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=424>. Maio de 2001. Visitado em 29 de Agosto de 2019.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Análise de produtividade agrícola brasileira**. 2003. Acesso em: 03 jul. 2019.
- BRASIL. Lei nº 12.305. de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União- Seção 1- 3/8/2010. Brasília-DF, 2010.

BEYLERIAN, G. M.; DENT, A. **Ultra materials: How materials innovation is changing the world**. Editora Thames & Hudson, 2007.

BRAZ, C. E. M. **Caracterização de biomassa lignocelulósica para uso em processos térmicos de geração de energia**. 2014. f. 62-89. Dissertação (mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, 2014.

BONELLI, P.R. et al. Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil Nut shells. **Bioresource Technology** v. 76, n. 1, p. 15-22. 2001.

BORSOI, C et al. Behavior in simulated soil of recycled expanded polystyrene/waste cotton composites. **Materials Research**, v.17, n. 1, p. 275-283. 2014.

BORSOI, C, SCIENZA, L. C, ZATTERA, A. J, Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço. **Polímeros**, v. 21, nº 4, p. 271-279, 2011.

BOUVIE, L et al. Caracterização físico-química dos frutos de castanheira do Brasil. **Nativa**, v. 4, n.2, p. 107-111, 2016.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. de; LENZ, D. M. O desenvolvimento de produtos a partir de novos materiais: aplicação de biocompósitos no design de produtos. **Projética**, Londrina. v. 5 n. 2, 2014.

CALLISTER, Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7ª edição. LTC Editora, 2008.

CAMARGO, F.F. **Etnoconhecimento e variabilidade morfológica de castanha-do-brasil (Bertholletia excelsa Bonpl.: Lecythidaceae) em área da Amazônia matogrossense**. 2010. f. 31-75. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2010.

CANDIDO, V. S.; MONTEIRO, S. N. **Análise da região da fratura de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar**, p. 2304-2308. In: 70º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 2015.

CANEVAROLO JR., S. V.; **Ciência dos Polímeros** – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª edição. São Paulo: Editora Artliber, 2006.

CAPRI, M. R.; SANTANA, L. C.; MULINARI, D. R. **Avaliação das propriedades térmicas dos compósitos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira**. Escola de Engenharia de Lorena/EEL/USP, Lorena /SP. 22º CBECiMat. 2016.

CARDOSO, B. R. et al. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v.100, p. 9-18. Out. de 2017.

CASSU, S. N., FELISBERTI, M. I. Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas. **Química Nova**, v. 28, No. 2, Fev. de 2005.

CECHETTI, R. et al. Caracterização espectroscópica e físico-química da casca da castanha-do-pará. RJ: Associação Brasileira de Química, **Entequi**. Ago. de 2011.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **Castanha do Brasil, Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, 2012.

CORDEIRO, C. C. *et al.* **Blendas de poliestireno de alto impacto pós consumo com um resíduo plástico gerado em usina de reciclagem**. Universidade Estadual de Maringá –UEM-PR. 2005.

CORREA, C. A.; YAMAKAWA, R. S.; JR, E. H. **Determinação de temperatura de transição dúctil-frágil de plásticos através de testes de impacto instrumentado**. Universidade Federal de São Carlos, Polímeros: Ciência e Tecnologia - Jan/Mar - 1999.

COSTA, T. H. S. *et al.* **Estudo do Comportamento Mecânico de Alguns Termoplásticos**; Departamento de Engenharia Mecânica/DEMEC; Universidade Federal do Paraná; Curitiba – PR; 1998.

COUTINHO, F. M. B.; COSTA, T. H. S. Performance of polypropylene–wood fiber composites. **Polymer Testing**. v. 18, p.581, 1999.

CHIAVERINI, V.: **Tecnologia Mecânica**, Vol. 2, Ed. 2, Mc Graw-Hill, São Paulo, 1986.

CLEZIDAN, N. P. **Análise estrutural estática de um chassi veicular tipo spaceframe**. 2016. f. 31- 87. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização). Universidade Federal de Goiás, Catalão, f. 31-87, 2016.

CRUZ, M. C.; DIAS, C. G. B. O. T. **Caracterização do compósito de poliestireno reciclado com partículas de madeira e aço**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Cuiabá/MT. 2014.

CUNHA, A. F. da *et al.* Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, 2006. Acesso em: 23 Maio de 2019.

DENARI, G. B.; C., E. T. G., **Princípios e aplicações de análise térmica/org.**; São Carlos: IQSC, 2002.

DIAS, J.M.C.S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.

DA SILVA, V. C.; NAZÁRIO, G. F.; LIMA, F. P. A. **Uma revisão conceitual sobre a madeira plástica**. v.1, n. 1, 2016.

DOS SANTOS, O. V. **Estudo das potencialidades da castanha-do-brasil: produtos e subprodutos**. 2012. f. 45-165 Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo. 2012

FERREIRA *et al.* **Saberes e práticas dos castanheiros envolvidos com a coleta de castanha (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) no município de Itaúba, Mato Grosso, Brasil**. 2018.

FERRAREZI Jr., C. **Guia do trabalho científico: do projeto à redação final: monografia, dissertação e tese**. 1.ed. São Paulo: Contexto, 2011.

FURTADO, D. C. **Análise estrutural de chassi de veículos automotivos**. 2013. f. 26-86. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Automotiva) - Universidade de Brasília, Faculdade do Gama, Brasília. 2013.

GALLI, C. A. **Caracterização das Propriedades Mecânicas de Compósitos de Matriz de Epóxi com Fibras de Carbono Unidirecionais**–2016. f. 35-79 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro. 2016

GRASSI, V. G.; FORTE, M. M. C. **Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura-Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v.11, n.3, p. 158-168. 2001.

GROSS, F.; PINTO, L. J. F. **Análise de compósitos poliméricos com reforço de agregados**. 2014. f. 13-35 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná. 2014.

INNOVA. **Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)**. <http://www.innova.com.br/produtos/poliestireno-alto-impacto-hips->. 2017. Acesso em: 29 jul. 2019.

JESUS, L. C. C. de *et al.* Propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno reforçado com celulose de bagaço de cana. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 1, n. 1, 14 set. 2015.

KATANCIC *et al.* Study of flammability and thermal properties of high-impact polystyrene nanocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 96. 2011.

LIGOWSKI, E.; SANTOS, B. C. dos; FUJIWARA, S. T. **Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão**. *Polímeros*, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 70-75, Fev. 2015. acessado em 29 Julho 2019.

LOURENÇONI, T.; DA SILVA, E. D.; LOURENÇONI, E. S. M.. **Uso sustentável de castanha-do-brasil (*bertholletia excelsa*)**. WebArtigos. Disponível em, acessado em 23 de Agosto de 2018.

LUNA, C. B. B. *et al.* **Desenvolvimento de Blendas Poliméricas visando a Tenacificação dos Polímeros: Uma revisão**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, 2015.

LUKE, A. F. **Co-design Services for Sustainability Transition**. 2009. Disponível em: <<http://www.fuad-luke.com/>>. Acesso em 5 de maio de 2011.

MACHADO, C. E. V. *et al.* **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do Poliestireno de Alto Impacto**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 35, p. 15-24, dez. 2017.

MADAN, J. *et al.*. **Energy performance evaluation and improvement of unit-manufacturing processes: injection molding case study.**, v. 105, p. 157-170, 2015.

MANSOR, M.R. *et al.* The environmental impact of natural fiber composites through life cycle assessment analysis. **Woodhead Publishing: Series in Composites Science and Engineering**, p. 257-285. 2019

MANTOVANI, D. de P. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de hemp e biotratamento**. 2017. f. 23- Dissertação (Mestrado

em Engenharia e Ciência dos materiais). Universidade Estadual do Norte de Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes. 2017.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade**. Cadernos do Grupo de Altos Estudos, Programa de Engenharia de Produção da Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, v. 1, 2008.

MANZINI, E. **The material of invention**. The MIT Press. p. 256 10 Maio de 1989.

MANZINI, E. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: EDUSP, 2002.

MARINELLI, A. L. *et al.* Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros**, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 92-99, Junho 2008. Acessado em 29 Julho. 2019.

MASOODA, M. T. *et al.* Superhydrophobic high impact polystyrene (HIPS) nanocomposites with wear abrasion resistance. **Chemical Engineering Journal**. v. 322. 2017.

MAUÉS, M. M. *et al.*, **A Castanheira-do-Brasil: avanços no conhecimento das práticas amigáveis à polinização**. Funbio, Rio de Janeiro, 2015.

MAZZOLENI, E.M; NOGUEIRA, J.M. Agricultura orgânica: características básicas do seu produtor. **Revista de Economia Social Rural**, v. 44, n.2, p. 263-293, 2006.

MAYER, S. - **Influência do condicionamento ambiental na resistência à tração de laminados de compósitos poliméricos reparados**. 2003. f. 34-78 Dissertação (Mestrado em Física e Química dos Materiais Aeroespaciais). Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 2003.

MEDEIROS, L. I. **Obtenção de nanocompósitos, nanodiamante sobre fibra de carbono e nanotubo de carbono sobre fibra de carbono**. INPE. São Paulo. 2009.

MELLO, A. K. da S. **Design de tecnologia social: Reaproveitamento do ouriço da castanha do Brasil no desenvolvimento de novos materiais**. PUC/RIO, 2013.

MENDES, A.; MORAES, G. L.; SENA, L. S. **Aproveitamento de casca e ouriço de castanha-do-brasil como adubo orgânico**. UFPA, UEPA. PARÁ. 2007.

MEEKERS, I., REFALO, P., ROCHMAN, A. Analysis of Process Parameters affecting Energy Consumption in Plastic Injection Moulding. **Procedia CIRP**. v. 69, p. 342 – 347, (DIME), University of Malta, 2018.

MILLER S. A., Natural fiber textile reinforced bio-based composites: Mechanical properties, creep, and environmental impacts, **Journal of Cleaner Production**. 2018.

MONTEIRO, J. M. *et al.* Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 892-896, Out. 2005. Acessado em 29. Agosto 2019.

MOTHE, C. G.; AZEVEDO, A. D. **Análise térmica de materiais**. Ed. 1, São Paulo: ArtLiber, 2009.

NETO, J. R. A.; CARVALHO, L. H. de; ARAUJO, E. M. Influência da adição de uma carga nanoparticulada no desempenho de compósitos poliuretano/fibra de juta. **Polímeros**, São Carlos, v.17, n.1, p.10-15, Mar. 2007. Acessado em 15 Junho. 2019.

NOGUEIRA, R. M. **Secagem da castanha-do-Brasil em condições de floresta e carbonização do resíduo do fruto da castanheira**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

NOGUEIRA, I.M.S.N.; LAHR, F.A.R.; GIACON, V.M. Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo de mamona. **Revista Matéria**, v.23, n.1, 2018.

OLLEY R.H; BASSETT D.C.; BLUNDELI D.J. Permanganic etching of peek. **Polymer**, v.27, n.3, p. 344-348, 1986.

OLIVEIRA, J.M.C.; LOBO, P.C. **Avaliação do potencial energético de resíduos de biomassa amazônica**. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4, 2002, Campinas. Anais. Campinas, 2002.

PAIVA, A.E.M. **Desenvolvimento de um Equipamento para Avaliar Propriedades Elásticas de Cerâmicas Refratárias a Altas Temperaturas pelo Método de Ressonância de Barras**. 2002. f. 26-76. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

PARRES, F. *et al.* - J. Changes in the mechanical and thermal properties of high impact polystyrene (HIPS) in the presence of low polypropylene (PP) contents. **Journal Of Material Science**, v. 43, n.9, p.3203. 2008.

PAWLAK Z.; PAWLAK, A. S. A review of infrared spectra from wood and wood components following treatment with liquid ammonia and solvated electrons in liquid ammonia. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 32, n. 4, p. 349-383. 1997.

PEDROZO, E.A. *et al.* Produtos Florestais Não Madeiráveis (PFNMS): as Filières do Açaí e da Castanha da Amazônia. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v.3, n.2, mai/ago. 2011.

PELLISSARI, P. G. Z. *et al.* Utilização de resíduo de fécula de mandioca como agregado de Argamassa de revestimento. **Revista engenharia ambiental: Pesquisa e tecnologia**. Espírito Santo do Pinhal. 2010. Acessado em: 22 jul. 2019.

PELIZER, L. H.; PONTIERE, M. H.; DE OLIVEIRA MORAES, I. **Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do**. Guarulhos: [s.n.], v. 2, 2007. 118-127 p.

PEREIRA, C. N. **Análise estrutural Estática por Elementos Finitos de um Chassi Veicular Tipo Spaceframe**. 2016. f. 45-87. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos materiais, Universidade Federal de Goiás. Catalão. 2016.

PETRECHEN, G. P., AMBRÓSIO, J. D. **Preparação e caracterização mecânica de compósitos de polipropileno com resíduos lignocelulósicos da castanha do brasil (bertholletia excelsa)**, UFSCar. 22 CBECIMAT, 2016.

PIMENTEL, F. de C. **Aplicação de Modelo Numérico de Fluência para Análise de Estruturas Metálicas de Flares sob Carregamento Termomecânico**. 2014. f. 33-85. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2014.

RIBEIRO, M.A.A. *et al.* Armazenamento da castanha do pará com e sem casca: efeito da temperatura na resistência ao ranço. **Scientia Agricola**. (Piracicaba, Braz.) [online]. 1993, vol.50, n.3, pp.343-348.

RIBEIRO, M. B. N. *et al.* Anthropogenic landscape in southeastern Amazonia: Contemporary impacts of low-intensity harvesting and dispersal of Brazil nuts by the Kayapó Indigenous people. **PloS One**, v. 9, n. 7, 2014.

RIBEIRO, V.; DOMINGUES JR.; N. RIEGEL, I. (2012). Estudo da recuperação das propriedades de poliestireno de alto impacto (HIPS) através da incorporação de borracha termoplástica tipo estireno-butadieno-estireno (SBS). **Polímeros**, v.22, n.2, pp.186-192. 2012.

ROCHA, A. H. S. *et al.* Desenvolvimento de um eco-compósito usando rejeitos de eva para construção de placas de divisórias. **Revista Engenharia em Ação**. UniToledo. 2016

ROVERE, J. *et al.*. **Caracterização morfológica do Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)**. Laboratório de blendas e compósitos termoplásticos, USF, 2008.

RUIZ, J. Á. **Metodologia Científica**. Guia para eficiência nos estudos. Ed. 6, Atlas. 2006.

SAJITH, S. Investigation on effect of chemical composition of bio-fillers on filler/matrix interaction and properties of particle reinforced composites using FTIR. **Composites Part B: Engineering**, v.166, p. 21-30. 01 de Junho 2019.

SANTOS, C. da C. S. *et al.* **Descarte e reaproveitamento de resíduos da castanha do brasil (*bertholletia excelsa*) em uma cooperativa extrativista no município de laranjal do jari.** ConReSol. 2018.

SANTOS, G. C. **Percurso científico: guia prático para elaboração da normalização científica e orientação metodológica.** Campinas, SP: Arte Escrita, 2012.

SANTOS, H. M. M. **Disposição final dos resíduos sólidos em Maringá-PR: Impactos e soluções.** 2010. f. 36-85. Monografia (Especialista em Construção de Obras Públicas) da UFPR. Maringá, PR. 2010.

SILVA, P. S. R. C. **Preparação e Caracterização de Nanocompósitos HIPS/OMMT Obtidos em Solução** – 2011. f. 32-78. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros). Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, C. A. da. **DESIGN SUSTENTÁVEL: a importância das fibras de juta, sisal e coco, no planejamento de produtos e éticas sustentáveis.** 2006. f. 42-79 Dissertação (Mestrado em desenho industrial) da UNESP. Bauru. 2006.

SILVA, C. O.; SANTOS, G. M.; SILVA, L. N.; **A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso.** REGET/UFSM. v.13 n.13, p. 2684, Agosto 2013.

SOHN, M.-S. & HU, X.-Z. - Comparative study of dynamic and static delamination behaviour of carbon fibre/epoxy composite laminates. **Composites**, v. 26, n. 12, p.849-858, 1995.

SOUZA, G. P. S. **Estudo da influência da temperatura e da frequência do carregamento no comportamento da fadiga em flexão de um polipropileno.** 2015. f. 24-96 Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação) da Universidade Federal de São João Del-Rey. São João Del Rey, 2015.

SPINACÉ, M.; DE PAOLI, M. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p.65-72. 2005.

TOZONI-REIS, M. F. de C. **Metodologia da Pesquisa.** 2.ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.

TSOU, CHIH-HUA; MORI, SCOTT A. Seed coat anatomy and its relationship to seed dispersal in subfamily Lecythidoideae of the Lecythidaceae (the Brazil nut family). **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v. 43, p. 37-56, 2002.

USP, Jornal da. **Direto da Amazônia, livro revela como a castanha-do-pará ganhou o mundo**. <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-humanas/direto-da-amazonia-livro-revela-como-a-castanha-do-para-ganhou-o-mundo/>. 2017. Visitado em 18 Agosto 2019.

VIANNA, W. L.; CORREA, C. A.; RAZZINO, C. A. Efeitos do tipo de poliestireno de alto impacto nas propriedades de compósitos termoplásticos com farinha de resíduo de madeira. **Polímeros**, São Carlos, v. 14, n. 5, p. 339-348, Dez. de 2004. Acessado em 12 Julho. 2019.

VIEIRA, R. W. A. **Análise numérica no software ANSYS da solidificação das ligas Al4,5%Cu e Al-15%Cu**. 2013. f. 25-78 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Marabá. 2013.

WANG, B. *et al.* (2018). Monitoring the degradation of physical properties and fire hazards of high-impact polystyrene composite with different ageing time in natural environments. **Journal of Hazardous Materials**, 352, pp.92-100.