

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

MEIRE NORIKO HOSOKAWA

**APROVEITAMENTO DO COPOLÍMERO ABS RECICLADO NA MOLDAGEM
DE COMPÓSITOS COM FIBRAS DE JUTA E AVALIAÇÃO DE
PROPRIEDADES**

Sorocaba
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

MEIRE NORIKO HOSOKAWA

**APROVEITAMENTO DO COPOLÍMERO ABS RECICLADO NA MOLDAGEM
DE COMPÓSITOS COM FIBRAS DE JUTA E AVALIAÇÃO DE
PROPRIEDADES**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência dos Materiais para obtenção
do título de Mestre em Ciência dos
Materiais.

Orientação: Profa. Dra. Jane Maria
Faulstich de Paiva

Sorocaba
2017

Hosokawa, Meire Noriko

Aproveitamento de copolímero ABS reciclado na moldagem de compósitos com fibras de juta e avaliação de propriedades / Meire Noriko Hosokawa. -- 2017.

84 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Jane Maria Faulstich de Paiva

Banca examinadora: Virginia Aparecida da Silva Moris, Daniel Komatsu

Bibliografia

1. REEE. 2. ABS reciclado. 3. Compósitos. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MEIRE NORIKO HOSOKAWA

**“APROVEITAMENTO DE COPOLÍMERO ABS RECICLADO NA
MOLDAGEM DE COMPÓSITOS COM FIBRAS DE JUTA E
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES”.**

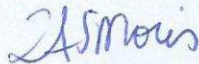
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais - PPGCM, para obtenção do título de mestre em Ciência dos Materiais. Área de concentração Materiais Funcionais e Polímeros de Fontes Renováveis, da Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 13 de março de 2017.

Orientador(a)



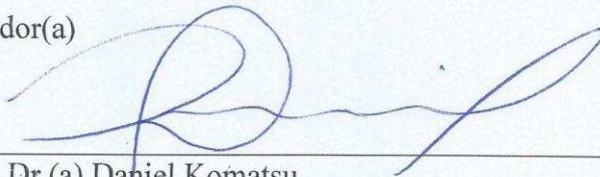
Prof. (a) Dr. (a) Jane Maria Faulstich de Paiva
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba

Examinador(a)



Prof. (a) Dr. (a) Virgínia Aparecida da Silva Moris
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba

Examinador(a)



Prof. (a) Dr. (a) Daniel Komatsu
FATEC – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado saúde para trilhar essa jornada e força para superar os momentos difíceis.

A minha orientadora Jane Maria Faulstich de Paiva pela oportunidade, confiança, ter compartilhado seu conhecimento e valiosas contribuições para o trabalho.

A Cristina Belli e a Sinctronics pela proximidade empresa-universidade.

Aos técnicos de laboratório.

A minha família, meus pais Milton e Yassue, minha irmã Mayra, minha avó Teruco, todos os tios e tias, primos e primas pelo amor incondicional e pela ajuda para lidar com a ansiedade e estresse.

Ao meu namorado Renato pelo amor, companheirismo nos momentos de estresse, paciência nos momentos em que estive ausente e por sempre estar disposto a ajudar.

As minhas amigas Karina, Carolini e Luana pelos anos de amizade e incentivo à vida acadêmica.

Aos amigos que fiz durante o mestrado Karina, Thiago, Janine, Barbara, Olívia, Rodrigo, Andrea, pela diversão, conversas e momentos de estudo.

A CAPES pela concessão da bolsa.

Seja a mudança que você deseja ver no mundo.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

HOSOKAWA, Meire Noriko. Aproveitamento do copolímero ABS reciclado na moldagem de compósitos com fibras de juta e avaliação de propriedades. 2017. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2017.

Em uma sociedade cada vez mais conectada, o crescente consumo de equipamentos eletroeletrônicos tem sido motivo de preocupação em relação à sua gestão, principalmente, porque a expectativa é que até 2018, a quantidade de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) produzidos mundialmente alcance 49,8 milhões de toneladas. O reprocessamento dos REEE é uma alternativa à diminuição do impacto ambiental causado pelo seu descarte em locais inadequados. Assim, neste trabalho foram desenvolvidos compósitos utilizando o copolímero ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) reciclado proveniente de REEE, reforçados com tecidos de fibras de juta. Estes materiais foram moldados por compressão a quente em prensa hidráulica para a avaliação das propriedades mecânicas (flexão, tração e impacto), índice de fluidez, análise térmica por Termogravimetria (TG/DTG) e análise de fratura por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), após ensaios mecânicos. Foi observado, através da análise térmica, que a incorporação do tecido de fibras de juta ocasionou diminuição na estabilidade térmica dos compósitos em relação à matriz. Em relação às propriedades mecânicas foi verificado que a incorporação do tecido de fibras de juta ocasionou aumento na resistência à flexão e à tração, de 13% e 9%, respectivamente. Além disso, foi observado no ensaio de impacto das amostras entalhadas que praticamente não houve alteração no valor da resistência ao impacto, em torno de 100 J/m, que é um resultado positivo, pois materiais reciclados tendem a apresentar menores valores de resistência ao impacto. As análises da fratura dos materiais demonstraram que a incorporação dos tecidos de fibras de juta, melhoraram a moldagem e a compactação do ABS reciclado. Neste sentido, a incorporação do tecido de fibras de juta no ABS reciclado demonstrou resultados satisfatórios, viabilizando a substituição de materiais sintéticos em compósitos. Além disso, a reciclagem do ABS promove a redução no volume deste tipo de polímero descartado e reinserção do mesmo na cadeia produtiva visando, por exemplo, a confecção de novos produtos como painéis, móveis, solado de calçados e componentes automotivos.

Palavras-chave: REEE, ABS reciclado, compósitos, fibras de juta.

ABSTRACT

In a technology-driven society, the increase of electrical and electronic equipment consumption has been a matter of concern in relation to its management, since the expectation is that the quantity of electrical and electronic waste (WEEE) produced worldwide will reach 49.8 million tonnes by 2018. The reprocessing of WEEE is an alternative to reduce the environmental impact caused by improper disposal. In this work, composites using recycled ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) copolymer from WEEE were developed, reinforced with jute fiber fabrics. These materials were molded by compression molding in a hydraulic press in order to evaluate mechanical properties (flexural, tensile and impact strength), melt flow index, Thermogravimetric Analysis (TGA/DTG) and fracture analysis by Scanning Electronic Microscopy (SEM) after mechanical tests. It was observed in the thermal analysis that adding jute fiber fabric caused a decrease in the thermal stability of the composites in relation to the matrix. By mechanical properties, it was verified that, by adding jute fiber fabrics, an increase in flexural and tensile strength occurred up to 13% and 9%, respectively. In addition, it was observed in the impact test for notched specimens that no changes occurred in the maximum strength value about 100 J/m, which is a positive result, since recycled materials tend to present lower impact strength values. Fracture analyzes of the materials demonstrated that the incorporation of the jute fiber fabrics improved the molding process and compaction of recycled ABS. Thus, the incorporation of jute fiber fabric in recycled ABS demonstrated satisfactory results, enabling the substitution of synthetic materials in composites. In addition, recycling of ABS promotes the volume reduction of this type of discarded polymer and its reinsertion in productive chain, aiming, for example, new products such as panels, furniture, shoe soles and automotive components.

Key words: WEEE, recycled ABS, composites, jute fiber.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivos Gerais	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1. Resíduos eletrônicos ou lixo eletrônico.....	17
3.2. Materiais Poliméricos e Reciclagem	21
3.3. Compósitos Poliméricos.....	25
3.4. Fibras naturais	28
4. METODOLOGIA.....	35
4.1. Materiais	35
4.2. Métodos	36
4.2.1. Processo de moldagem	36
4.2.2. Obtenção da matriz polimérica e dos compósitos reforçados com tecido de fibras de juta	37
4.3. Determinação do Índice de Fluidez.....	39
4.4. Termogravimetria	40
4.5. Ensaio Mecânicos	41
4.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1. Índice de Fluidez.....	44
5.2. Termogravimetria.....	45
5.3. Ensaio mecânicos	49
5.3.1. Ensaio de Flexão	49
5.3.2. Ensaio de tração.....	53
5.3.3. Ensaio de impacto	57
5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura	62
6. CONCLUSÕES	67
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
8. REFERÊNCIAS.....	69
ANEXO A	79
ANEXO B	81
ANEXO C	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Gráfico representativo do crescimento da quantidade de REEE gerado mundialmente.....	19
Figura 2:	Representação dos monômeros do copolímero ABS.....	24
Figura 3:	Classificação dos compósitos.....	27
Figura 4:	Representação esquemática da molécula de celulose.....	30
Figura 5:	Aumento da resistência à flexão em função da quantidade de fibras de juta.....	34
Figura 6:	Fotografia da matriz polimérica de ABS reciclado em forma de pellets.....	36
Figura 7:	Fotografia do tecido de fibras de juta utilizado.....	36
Figura 8:	Fotografias da prensa hidráulica com aquecimento.....	37
Figura 9:	Fotografias dos moldes utilizados.....	38
Figura 10:	Fotografia das placas de: (a) flexão; (b) de tração e impacto.....	39
Figura 11:	Fotografias dos cdps para ensaio de (a) flexão; (b) tração e (c) impacto.....	40
Figura 12:	Fotografias do (a) medidor de umidade; (b) medidor de índice de fluidez.....	41
Figura 13:	Fotografias do (a) equipamento de TG; (b) porta amostras.....	41
Figura 14:	Fotografia do: (a) equipamento; (b) corpo de prova em ensaio de flexão.....	42
Figura 15:	Fotografia do: (a) equipamento; (b) corpo de prova em ensaio de tração.....	43
Figura 16:	Fotografia do: (a) equipamento; (b) corpo de prova na garra.....	43
Figura 17:	Fotografia de exemplos de corpos de prova com entalhe.....	44
Figura 18:	Fotografias do: (a) MEV; (b) porta amostras.....	44
Figura 19:	Curvas da análise de TG da matriz de ABS reciclado e seus respectivos compósitos.....	47
Figura 20:	Curvas da análise de DTG da matriz de ABS reciclado e seus respectivos compósitos.....	47
Figura 21:	Corpos de prova do ABS sem fibra após o ensaio de flexão, dos quais 7 não fraturaram totalmente.....	50
Figura 22:	Corpos de prova do ABS + 1 tecido de juta após o ensaio de flexão, dos quais 3 não fraturaram totalmente.....	51
Figura 23:	Corpos de prova do ABS + 2 tecidos de juta após o ensaio de flexão, dos quais 3 não fraturaram totalmente.....	51

Figura 24:	Gráfico de: (a) resistência a flexão; (b) módulo de elasticidade do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecidos de fibras de juta.....	52
Figura 25:	Corpos de prova do ABS sem fibra após o ensaio de tração.....	54
Figura 26:	Corpos de prova do ABS + 1 tecido de juta após o ensaio de tração.....	54
Figura 27:	Corpos de prova do ABS + 2 tecidos de juta após o ensaio de tração.....	55
Figura 28:	Gráfico de: (a) resistência a tração; (b) módulo de elasticidade do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecido de fibras de juta.....	56
Figura 29:	Corpos de prova do ABS sem fibra (a) com entalhe; (b) sem entalhe, após o ensaio de impacto.....	58
Figura 30:	Corpos de prova do ABS + 1 tecido de juta (a) com entalhe; (b) sem entalhe, após o ensaio de impacto.....	59
Figura 31:	Corpos de prova do ABS + 2 tecidos de juta (a) com entalhe; (b) sem entalhe, após o ensaio de impacto.....	59
Figura 32:	Gráfico de resistência ao impacto do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecido de fibras de juta dos corpos de prova sem entalhe.....	60
Figura 33:	Gráfico de resistência ao impacto do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecido de fibras de juta dos corpos de prova com entalhe.....	62
Figura 34:	Imagem de MEV da fratura do corpo de prova do ABS reciclado sem fibra ensaiado em flexão.....	63
Figura 35:	Imagens de MEV da fratura de corpos de prova de compósitos contendo tecidos de fibras de juta, após ensaio de flexão (a) 40x; (b) 300x.....	63
Figura 36:	Imagens de MEV da fratura após ensaio de tração de corpos de prova do: (a) ABS sem fibra; (b) compósito contendo uma camada de tecido de fibras de juta e (c) do compósito contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta.....	64
Figura 37:	Imagens de MEV da fratura após ensaio de impacto de corpos de prova com entalhe do: (a) ABS sem fibra; (b) compósito contendo uma camada de tecido de fibras de juta e (c) compósito contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta..	66
Figura 38:	Imagem de MEV da sessão transversal de fibras do tecido de fibras de juta do compósito contendo duas camadas do tecido de fibras de juta após o ensaio de flexão.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela comparativa de materiais encontrados em resíduos de telefones celulares e monitores CRT.....	19
Tabela 2: Valores de propriedades mecânicas das fibras de vegetais e sintéticas mais utilizadas como reforço em compósitos.....	32
Tabela 3: Composição química da fibra de juta.....	33
Tabela 4: Resultados do ensaio do índice de fluidez e desvio padrão.....	45
Tabela 5: Estágios de degradação das curvas TG/DTG: temperatura inicial (Ti); temperatura final (Tf); perda de massa (%); temperatura onde a degradação é máxima (Tmax); porcentagem residual a 700°C (R).....	48
Tabela 6: Média e desvio padrão de propriedades mecânicas obtidas através dos ensaios de flexão de 12 cdps de cada tipo de material.....	51
Tabela 7: Média e desvio padrão de propriedades mecânicas obtidas através dos ensaios de tração de 12 cdps de cada tipo de material.....	55
Tabela 8: Média e desvio padrão dos resultados do ensaio de impacto Izod dos cdps sem entalhe.....	59
Tabela 9: Média e desvio padrão dos resultados do ensaio de impacto Izod dos cdps com entalhe.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRF	Brominated Flame Retardant
cdp	Corpo de prova
CRT	Cathodic Ray Tube
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPR	Extended Producer Responsibility
HIPS	High Impact Polystyrene
ISO	International Organization for Standardization
PC	Policarbonato
PCI	Placa de Circuito Impresso
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Poli(cloreto de vinila)
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
RoHS	Restriction of certain Hazardous Substances
Tg	Temperatura de Transição Vítrea

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação ambiental em relação aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) tem sido foco de pesquisas devido à obsolescência acelerada de equipamentos como televisores, telefones celulares, computadores, impressoras e seu descarte no meio ambiente. (ONGONDO; WILLIAMS; CHERRETT, 2011; SCAFFARO; BOTTA; DI BENEDETTO, 2012) A produção mundial de REEE, em 2010, foi de 33,8 milhões de toneladas, e a previsão é que esse valor atinja 49,8 milhões de toneladas até 2018 (BALDÉ et al., 2014). Estimativas mostram um acúmulo de 22,4 milhões de toneladas de REEE descartados até 2030, o que torna a sua gestão, um fator importante para a situação ambiental e econômico da sociedade. (CUI; FORSSBERG, 2003; ROCHA, 2009)

No Brasil, a reciclagem de materiais poliméricos tem aumentado nos últimos anos havendo, inclusive, iniciativas de ofertas para compra e venda de resíduos industriais reciclados. (CAMPOS, 2014) Os polímeros mais reciclados são as poliolefinas como o polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP), embora ainda haja algumas dificuldades relacionadas à falta de subsídios fiscais, deficiência na separação seletiva e alto custo de eletricidade. (PACHECO; RONCHETTI; MASANET, 2012)

A quantidade de REEE no país ainda não é bem estabelecida, pois a reutilização de equipamentos mais antigos é comum no país, ou seja, há o repasse desses equipamentos para famílias menos favorecidos. (ARAÚJO et al., 2012) O gerenciamento desses REEE está sendo estabelecido através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 12.305 de 2010. (BRASIL, 2016)

Os REEE provenientes principalmente de equipamentos de tecnologia da informação (TI), como computadores e impressoras, são compostos de materiais ferrosos e não ferrosos, vidros, polímeros entre outros. Dentre os polímeros encontrados, pode ser destacado o ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno), que é um termoplástico que demonstra boas características de isolamento acústico, acabamento superficial, estabilidade térmica e dimensional, facilidade de processamento, baixo custo em relação a outros polímeros de engenharia, além de boa resistência mecânica, principalmente ao

impacto. Devido a diferentes proporções de cada componente, o ABS pode ser aplicado em equipamentos de tecnologia, telecomunicações, eletrodomésticos e componentes de automóveis. (CUI; FORSSBERG, 2003; DÍEZ-PASCUAL; GASCÓN, 2013; SHIN *et al.*, 2010; ST'ANCIU *et al.*, 2015; WIDMER *et al.*, 2005) Além disso, recentemente, o ABS tem sido utilizado para prototipagem em impressora 3D por apresentar facilidade de polimento. (KUO *et al.*, 2016; WENG *et al.*, 2016)

A reciclagem de REEE traz benefícios econômicos e ambientais. No caso dos materiais poliméricos, o reprocessamento consome menor quantidade de energia para sua produção, há menor extração de matérias primas virgens, menor consumo de recursos naturais e menor emissão de gás carbônico para o ambiente (CAMPOLINA *et al.*, 2017). Além disso, ocasiona menor impacto ambiental causado pelo descarte de grande volume desses resíduos. (CUI; FORSSBERG, 2003; BIGUM; BROGAARD; CHRISTENSEN, 2012; RAVI, 2012; MENIKPURA; SANTO; HOTTA, 2014; CAMPOLINA *et al.*, 2017)

Entretanto, estudos apontam que durante o reprocessamento de materiais poliméricos, podem ocorrer reações de degradação do polímero que, posteriormente, podem influenciar nas propriedades do material, como a diminuição na resistência mecânica comparado com a resina virgem. Além disso, quanto mais vezes forem reprocessados, os materiais poliméricos tendem a apresentar redução nos valores de propriedades mecânicas e térmicas (BAI; ISAAC; SMITH, 2007; BRENNAN; ISAAC; ARNOLD, 2002; SCAFFARO; BOTTA; DI BENEDETTO, 2012).

Assim, uma alternativa para tentar melhorar algumas propriedades mecânicas do material reciclado seria combinar a matriz polimérica com fibras (naturais ou sintéticas) ou cargas minerais, produzindo um material compósito. Uma possibilidade viável para a diminuição dos impactos ambientais causados pela utilização de fibras sintéticas como as de vidro, carbono e aramida, é a utilização de fibras de origem vegetal, pelo fato destas serem de fonte renovável, de baixo custo e por apresentarem característica biodegradável. (ESSABIR *et al.*, 2013; KORONIS; SILVA; FONTUL, 2013)

Dentre as fibras vegetais mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos, podem ser destacadas as fibras de coco, curauá, bagaço de cana-

de-açúcar, sisal e juta (MARINELLI et al., 2008). A fibra de juta é considerada uma fibra longa, biodegradável, com brilho relativamente dourado e consistência sedosa, por isto, também é denominada de “fibra de ouro”. Esse tipo de fibra vegetal tem se mostrado promissor no reforço de compósitos de matrizes poliméricas, que podem ser aplicados, por exemplo, no setor automotivo contribuindo para a redução do peso dos componentes e possibilitando a reciclabilidade das peças e menores impactos ambientais. (BLEDZKI; FARUK; SPERBER, 2006)

Neste contexto, o trabalho desenvolvido envolveu o aproveitamento do copolímero ABS, proveniente de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos descartados, na moldagem de compósitos poliméricos reforçados com fibras de juta e avaliação de algumas propriedades mecânicas e térmicas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral reaproveitar o copolímero ABS, proveniente do processo de reciclagem de REEE, para a obtenção de compósitos de ABS reciclado com tecidos de fibras de juta a fim de avaliar propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos desenvolvidos e comparar os resultados com a matriz.

2.2. Objetivos Específicos

- Estabelecer as condições adequadas de moldagem da matriz e dos compósitos contendo tecidos de fibra de juta por compressão a quente;
- Realizar ensaios mecânicos de flexão, tração e impacto nas amostras dos compósitos comparando com a matriz sem o tecido de fibras de juta para avaliar os respectivos comportamentos mecânicos dos materiais;
- Realizar análise térmica, como a termogravimetria (TG/DTG) da matriz e dos compósitos para avaliar a estabilidade e degradação térmica dos materiais moldados.
- Realizar caracterização morfológica da fratura da matriz e dos compósitos após ensaios mecânicos para análise da adesão interfacial entre as fibras de juta e o ABS reciclado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Resíduos eletrônicos ou lixo eletrônico

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) se referem aos equipamentos e suas partes que foram descartados pelo seu proprietário ao final de sua vida útil (WIDMER *et al.*, 2005), cujo funcionamento depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos tal como as geladeiras, fogões, televisores, monitores de computador, impressoras entre outros (BALDÉ *et al.*, 2014).

Com o avanço da tecnologia para a produção de equipamentos e dispositivos mais modernos, o tempo de vida útil da maioria dos produtos tem diminuído rapidamente. Podemos citar como exemplos dessa obsolescência acelerada, os computadores e telefones celulares, no qual o tempo de vida útil desses equipamentos tem diminuído nos últimos anos de quatro para cerca de dois anos. Assim, como consequência, há o aumento do volume desses equipamentos e que, muitas vezes, são descartados em locais inadequados. (BHUTTA; OMAR; YANG, 2011; PERKINS *et al.*, 2014)

A geração de REEE cresce a cada ano como pode ser observado na Figura 1. Em 2014 foram produzidos, mundialmente, cerca de 42 milhões de toneladas de REEE e estima-se um crescimento de 4 a 5% ao ano até 2018. Países como Estados Unidos da América (EUA) e China lideraram a geração de REEE com cerca de 7,0 e 6,0 milhões de toneladas, respectivamente. Na Europa, os países que mais geraram REEE foram a Alemanha (1,8 milhões de toneladas), Reino Unido (1,5 milhões de toneladas) e França (1,4 milhões de toneladas). O Brasil gerou cerca de 1,4 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos. (BALDÉ *et al.*, 2014). Os REEE podem corresponder a cerca de 8% em volume de todos os resíduos urbanos gerados. (ROBINSON, 2009)

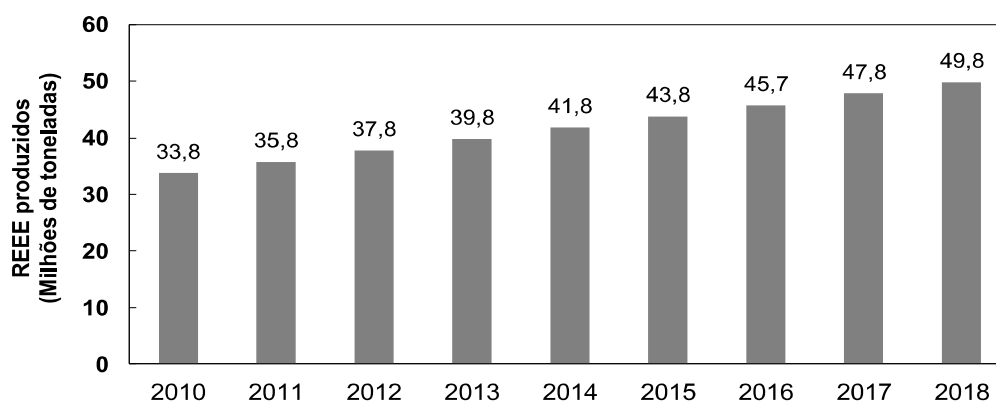


Figura 1 – Gráfico representativo do crescimento da quantidade de REEE gerado mundialmente ao longo dos anos.

Fonte: BALDÉ et al., 2014

Geralmente, os equipamentos eletroeletrônicos são compostos de metais, polímeros, vidros, placas de circuito impresso, entre outros materiais. (MENAD; GUIGNOT; VAN HOUWELINGEN, 2013) A proporção desses materiais varia dependendo do tipo de equipamento, fabricante, modelo, etc. A Tabela 1 compara a proporção de materiais de dois equipamentos diferentes.

Tabela 1 – Tabela comparativa de materiais encontrados nos resíduos de telefones celulares e monitores CRT

Componente	Telefone Celular (%)	Monitor CRT (%)
Ferro	27,0	1,0
Cobre	11,0	6,0
Polímeros	32,0	20,0
Vidro	8,0	59,0
PCI	-	8,5
Bateria	15,0	-
Outros	7,0	5,5

Fonte: Adaptado de TANSKANEN, 2013; VEIT et al., 2015

O descarte inadequado dos REEE pode ocasionar impactos ambientais comprometendo o solo, o ar, a água e trazendo consequências para a saúde

da população. Na China, por exemplo, trabalhadores informais queimam o lixo eletrônico para recuperar metais preciosos e matérias primas, sem a utilização de equipamento de proteção individual (EPI), se expondo a substâncias tóxicas e metais pesados; e descartam os resíduos em solos e cursos de água. (ORLINS; GUAN, 2016) Estudos indicam que os metais pesados presentes em equipamentos eletroeletrônicos, como por exemplo, o chumbo, cádmio, cobre, podem ser absorvidos pelas plantas, animais e humanos através de alimentos, água, ar ou contato. No caso de humanos, os metais pesados poderiam acarretar mudanças no comportamento, interferência nas habilidades de aprendizagem até mesmo doenças graves, como câncer. (GRANT et al., 2013; SONG; LI, 2015)

Em virtude da necessidade de uma gestão adequada dos REEE foi criada na Suíça, a *EPR (Extended Producer Responsibility)*, que é uma abordagem em que a responsabilidade dos custos ambientais associados aos produtos é estendida para a fase pós-consumo, ou seja, as indústrias são responsáveis por seus produtos após a sua vida útil através da reutilização, reciclagem ou na produção de energia ou delegar esta responsabilidade a um terceiro. (OECD, 2001)

Em alguns países há normas e leis que regulamentam a gestão dos REEE. Na União Europeia, existe a Diretiva de REEE 2002/96/EC no qual exige que produtores e importadores colem seus produtos pós-consumo dos consumidores e assegurem que sejam eliminados através de processos ambientalmente seguros, visando, primeiramente, a minimizar a geração de REEE e, também, a promover incentivos ao reuso, reciclagem e outras formas de diminuir o descarte desses resíduos. Também foi aprovado a diretiva RoHS 2002/95/EC (*Restriction of certain Hazardous Substances*), a qual proíbe que os equipamentos eletroeletrônicos contenham níveis superiores aos limites estabelecidos de elementos como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenil polibromado e éter difenil polibromado, visando a substituição das principais substâncias causadoras de problemas ambientais. (ONGONDO; WILLIAMS; CHERRETT, 2011)

No Japão, a lei *Home Appliance Recycling*, criada em 1998, exige que fabricantes e importadores trabalhem com a logística reversa a fim de garantir

a reciclagem de televisores, geladeiras, máquinas de lavar e aparelhos de ar condicionado. A lei exige, ainda, o pagamento por parte dos consumidores de uma taxa para as despesas de transporte e reciclagem de produtos eletroeletrônicos descartados. (KAHHAT *et al.*, 2008)

Nos Estados Unidos da América (EUA) há empresas trabalhando com a coleta, reciclagem e reuso de REEE, mas a falta de regulamentos federais dificulta a difusão do gerenciamento em todo o país. Maine, em 2004, se tornou o primeiro estado dos EUA a aprovar um conceito de EPR, adotando uma filosofia que todos os responsáveis pela geração de REEE devem compartilhar dos custos para uma gestão ambientalmente correta, ou seja, o produtor, o gerador (consumidor) e o município devem partilhar seus gastos com transporte e reciclagem. (WAGNER, 2009)

O gerenciamento do REEE, no Brasil, está sendo estabelecido através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 12.305 de 2010, a qual define que fabricantes, importadores e distribuidores de equipamentos eletroeletrônicos devem implementar sistemas de logística reversa, incluindo a devolução dos produtos após o seu uso (BRASIL, 2016). Além disso, em São Paulo, o Estado criou a lei 13.576, em 2009, que institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final do REEE, no qual são considerados componentes e periféricos de computadores, monitores e televisores, pilhas e baterias e produtos magnetizados (SÃO PAULO, 2016).

Apesar disso, a situação do Brasil em relação ao REEE, é em parte desconhecida, uma vez que o repasse de equipamentos obsoletos às famílias de baixa renda é comum, de modo que esses aparelhos sejam reutilizados. (FOELSTER *et al.*, 2016) O gerenciamento é dificultado devido ao baixo valor desses resíduos no setor informal e, além disso, o sistema de coleta depende da integração entre a educação e cooperação da população, geradores de resíduos industriais, distribuidores e governo, considerando, também, o grande papel desempenhado pelos catadores. (OLIVEIRA; BERNARDES; GERBASE, 2012) De acordo com Araújo *et al.* (2012), o Brasil necessita que as leis e os regulamentos sejam acompanhados por todos os níveis de governo para que todas as disposições sejam rigorosamente obedecidas.

3.2. Materiais Poliméricos e Reciclagem

Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades de repetição formadas a partir de monômeros. Podem ser classificados levando em consideração o comportamento que apresentam quando são aquecidos, podendo ser divididos em termoplásticos e termorrígidos ou termofixos. (CANEVAROLO, 2010)

Nos termoplásticos, o aumento da temperatura ocasiona o movimento molecular diminuindo as forças de ligação secundárias, de tal modo que sob efeito de temperatura e pressão, os polímeros amolecem e fluem e ao resfriarem, assumem o formato de um molde de forma reversível, ou seja, novas aplicações de temperatura e pressão produzem o mesmo efeito de amolecimento e fluxo. Já nos polímeros termorrígidos, com o aquecimento ocorre o processo de cura com a formação de ligações cruzadas covalentes que prendem as cadeias poliméricas de forma irreversível, ou seja, ao se aquecer novamente não há alteração em seu estado físico, sendo infusível e insolúvel, de modo que a energia necessária para quebrar a ligação cruzada é alta o suficiente para destruir a cadeia polimérica. As estabilidades química, física e térmica dos termorrígidos são um desafio para sua reciclagem, pois, ao contrário dos termoplásticos e metais, não podem ser refundidos. Já os termoplásticos são moldáveis a quente além de apresentarem características como leveza, facilidade de moldagem e baixo custo. (CANEVAROLO, 2010)

Os materiais poliméricos têm sido empregados em diversos segmentos, tais como na indústria de embalagens, construção civil, automotiva, eletroeletrônica, agricultura, entre outros. Termoplásticos como o polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), poli(cloreto de vinila) (PVC), poliestireno (PS) e poli(tereftalato de etileno) (PET) representaram 74,2% da demanda europeia de plástico em 2012. (YU et al., 2016)

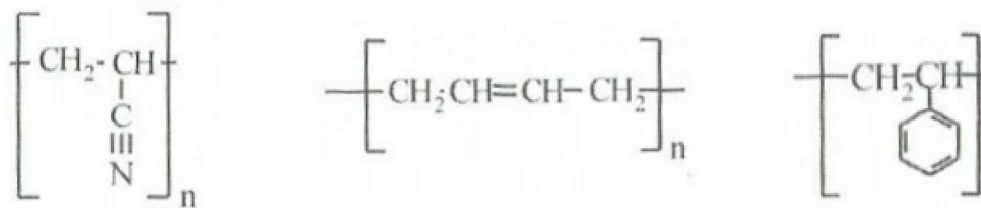
Estudos indicam que os polímeros mais encontrados nos REEE são o PS (poliestireno), PC (policarbonato), HIPS (High Impact Polystyrene - poliestireno de alto impacto), o copolímero ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) e blendas de PC/ABS, sendo que o ABS é o polímero utilizado em

maiores proporções. (STENVALL *et al.*, 2013; TAURINO; POZZI; ZANASI, 2010)

Martinho *et al.* (2012) realizaram um estudo a fim de caracterizar os polímeros presentes em diferentes equipamentos eletroeletrônicos coletados de uma unidade de reciclagem. Os polímeros encontrados em maiores proporções em equipamentos como os monitores CRT foram o ABS (69%) e blendas de PC/ABS (20%). Em impressoras, os polímeros mais encontrados foram o ABS (31%), PC/ABS (23%) e HIPS (21%). Isso significa que os polímeros mais encontrados em equipamentos para uso em informática são o copolímero ABS, blendas PC/ABS e o HIPS.

O ABS é um copolímero amorfo, composto pelos monômeros acrilonitrila, butadieno e estireno (Figura 2). A fase elastomérica de polibutadieno é dispersa em uma fase contínua do copolímero SAN (acrilonitrila e estireno). Na superfície do polibutadieno há uma camada de SAN enxertada para garantir a compatibilidade entre as duas fases (JÚNIOR; JÚNIOR; HEMKEMEIER, 2015). É amplamente utilizado na indústria para fabricação de componentes automotivos, brinquedos, equipamentos de telecomunicação e tecnologia da informação, entre outros setores, devido seu custo relativamente baixo e boas propriedades mecânicas. (SHIN *et al.*, 2010) Cada monômero fornece suas propriedades, no qual acrilonitrila é responsável por conferir resistência química e térmica, resistência a fadiga, dureza e rigidez, enquanto o butadieno atua na resistência ao impacto, estabilidade térmica e bom acabamento superficial. Já o estireno facilita o processamento do material, confere brilho, dureza e rigidez. (BLOM *et al.*, 2006; ITO *et al.*, 2004)

O butadieno é sensível à degradação termo-oxidativa tornando-se um fator importante no desempenho final do ABS, isto porque sua degradação causa diminuição na aderência com a matriz SAN, surgindo concentradores de tensões, o que, geralmente, reduz sua resistência ao impacto. (JÚNIOR; JÚNIOR; HEMKEMEIER, 2015)



Acrilonitrila

Butadieno

Estireno

Figura 2 – Representação dos monômeros do copolímero ABS.

Fonte: CANEVAROLO, 2010

A reciclagem de REEE envolve diferentes técnicas e processos uma vez que tratam de diferentes materiais. A reciclagem é uma sequência de técnicas e etapas que o material é submetido, com o objetivo de obter novamente matérias primas e recuperar partes reutilizáveis. (CHANCEREL; ROTTER, 2009) Os processos mais utilizados na reciclagem de polímeros presentes em equipamentos como carcaças de monitores, impressoras, mouses, entre outros, são o reaproveitamento energético, processos químicos e mecânicos.

No reaproveitamento energético, ocorre a incineração do polímero no qual é transformado em combustível para a geração de energia. Entretanto, a presença de aditivos como retardantes de chama bromados (BRFs) ou PVC pode ocasionar a liberação de produtos perigosos como dioxinas e furanos. (GERBASE; OLIVEIRA, 2012; MA et al., 2016)

Nos processos químicos são utilizado calor e solventes visando converter o polímero em monômeros e matéria prima que poderão ser utilizados novamente pela indústria petroquímica. O custo elevado do processo, ainda inviabiliza a reciclagem química em escala industrial. (GERBASE; OLIVEIRA, 2012; MA et al., 2016)

Já a reciclagem mecânica é o processo mais utilizado no Brasil, pois apresenta baixo custo e se obtém materiais com desempenho aceitável. O resíduo passa por processos de separação, moagem, lavagem, secagem, aglutinação, extrusão obtendo-se os grânulos que podem ser reutilizados pela indústria e serem reintroduzidos na cadeia produtiva. (GERBASE; OLIVEIRA, 2012; MA et al., 2016)

Na literatura, estudos avaliaram os efeitos do reprocessamento no copolímero ABS provenientes de carcaças de computadores descartados. Bai,

Isaac e Smith (2007) realizaram a caracterização do ABS e avaliaram a resistência ao impacto e resistência a tração após 4 ciclos de reprocessamento. Os resultados mostraram que após o quarto reprocessamento, houve um aumento na temperatura de transição vítrea (T_g) da fase borrachosa. Em relação às propriedades mecânicas, houve pequeno aumento no módulo e na resistência a tração e redução significativa na resistência ao impacto, principalmente, no primeiro ciclo de reprocessamento.

Pérez *et al.* (2010) avaliaram as consequências de 10 ciclos de reprocessamentos e do envelhecimento acelerado do ABS e como essa ação refletia nas propriedades do material. Os resultados mostraram que o reprocessamento não ocasionou mudança na estabilidade térmica do material, mesmo após envelhecimento acelerado. Além disso, o número de ciclos de reprocessamento não afetou o índice de fluidez nem a resistência à tração, embora a resistência ao impacto tenha apresentado decréscimo. Entretanto, no envelhecimento acelerado após 50 horas ocorre diminuição da resistência à tração conforme o número de ciclos de reprocessamento aumenta.

Tarantili, Mitsakaki e Petoussi (2010) estudaram a viabilidade de processar os polímeros ABS e HIPS, juntos na mistura, como uma alternativa de aproveitar os resíduos como recebido, ou seja, sem triagem destes e classificação dos seus componentes, avaliando as respostas reológicas, propriedades térmicas e mecânicas. Os resultados mostraram que a blenda ABS/HIPS apresentou miscibilidade parcial, no qual o índice de fluidez aumentou em comparação com os materiais individuais. Houve redução nas propriedades mecânicas, em termos de resistência a tração e alongamento, comparando com os polímeros individuais, porém, o módulo de elasticidade aumentou na proporção 50/50 de ABS/HIPS. Brennan *et al* (2002) também estudaram os efeitos da reciclagem nas propriedades mecânicas dos polímeros ABS e HIPS reciclados. Os resultados mostraram que não houve mudanças significativas na resistência à tração e no módulo de elasticidade do polímero reprocessado, porém houve um decréscimo acentuado na resistência ao impacto do material reciclado.

Na literatura também são apresentadas alternativas na tentativa de melhorar as propriedades mecânicas do ABS reciclado como, por exemplo, a

incorporação de aditivos, cargas e fibras. O envelhecimento do ABS resulta em quebra da cadeia molecular então, um estudo realizado por Wang *et al.* (2015), investigou o efeito da adição de um extensor de cadeia à base de epóxi (Joncryl[®] ADR-4370) em diferentes proporções nas propriedades do ABS reciclado. Os resultados indicaram que o extensor de cadeia ocasionou um aumento na massa molar e na viscosidade do ABS reciclado. Em relação às propriedades mecânicas, os valores das resistências ao impacto e resistência à tração são significativamente maiores comparadas ao ABS sem extensor de cadeia, principalmente a resistência ao impacto que apresentou valores de 2,1 KJ/m² e 6,3 KJ/m² para o ABS sem aditivo e ABS com 0,7% em peso de aditivo, respectivamente.

Vazquez; Barbosa (2016) realizaram um trabalho no qual compararam a eficácia de três diferentes compatibilizantes, SAN, SBS e SBR, a fim de compatibilizar blendas de HIPS e ABS e avaliar a resistência a flexão dos materiais. Os resultados mostraram que o compatibilizante que obteve melhor desempenho foi o SBS com 20% em peso. No entanto, os autores avaliaram que a utilização de 20% em peso desse copolímero não seria economicamente viável, então, considerando a viabilidade econômica, os melhores resultados obtidos, foram com a adição de 2% de SBR.

3.3. Compósitos Poliméricos

Aos longos dos anos, as novas tecnologias têm requisitado materiais cujas propriedades, muitas vezes, não são atendidas pelos materiais convencionais, então, a combinação de diferentes materiais produziu uma nova classe de material, o compósito. (ZHAI; GRÖSCHEL; DRUMMER, 2016; HU *et al.*, 2017)

Os compósitos podem ser definidos como a combinação de um ou mais materiais de naturezas diferentes, cada qual permanecendo com suas características individuais em uma estrutura multifásica (fase contínua e fase dispersa), separadas por uma interface distinta, de modo que combinando as melhores propriedades é obtido um material com propriedades superiores às de cada componente individual. (CALLISTER, 2008)

A matriz (fase contínua) pode ser um material metálico, cerâmico ou polimérico e tem a função de envolver a fase dispersa protegendo-a de danos superficiais devido a ações mecânicas ou reações químicas com o ambiente, manter a orientação e espaçamento entre as fibras, transmitir as forças aplicadas à fase dispersa além de proporcionar acabamento superficial ao material. (CALLISTER, 2008)

A fase dispersa representada pelas partículas ou fibras, é responsável por absorver as cargas mecânicas, melhorando a resistência mecânica do material. Além disso, a fase dispersa pode ter a função de enchimento auxiliando na redução de custos do produto final. Os compósitos reforçados com fibras podem ter uma única camada ou multicamadas. No caso do reforço multicamadas, os compósitos híbridos têm se destacado, nos quais são utilizados mais de um tipo de reforço, orgânico ou inorgânico, e, com essa combinação é possível obter compósitos com melhores propriedades reológicas, térmicas e mecânicas. Os compósitos de camada única podem ser de fibras curtas (dispostas orientadas ou aleatoriamente) ou fibras contínuas podendo ser unidirecional ou bidirecional (ESSABIR *et al.*, 2016; NETO; PARDINI, 2006). A Figura 3 mostra a classificação dos materiais compósitos de acordo com o tipo e arranjo dos reforços existentes.



Figura 3 – Classificação dos compósitos.

Fonte: Adaptado de NETO; PARDINI, 2006.

Nos compósitos, um fator importante a ser considerado é a interface entre os componentes, uma vez que é por meio dela que ocorre a transferência da carga da matriz para a fibra. (TORRES; CUBILLAS, 2005; LI; HU; YU, 2008)

Os compósitos utilizando matrizes termoplásticas vêm despertando interesse dos pesquisadores e da indústria por apresentarem algumas vantagens em relação aos compósitos utilizando matrizes termorrígidas. Isso se deve à potencialidade de se reduzir custos de fabricação pela simplificação do processo produtivo, já que as matrizes termoplásticas não necessitam ser processadas em autoclaves e não há necessidade do acondicionamento em baixas temperaturas no caso dos pré-impregnados e das resinas líquidas. Além disso, as matrizes termoplásticas podem ser reprocessadas e reparadas mais facilmente em relação às termorrígidas devido às características dos termoplásticos serem fusíveis, o que não ocorre nos termorrígidos. (NING et al., 2007)

Na literatura, estudos envolvendo compósitos utilizando matriz polimérica reciclada tem sido foco de muitos pesquisadores como uma alternativa para diminuir o grande volume de materiais poliméricos gerados que são descartados no meio ambiente. Além disso, alguns autores afirmam que no reprocessamento há menor consumo de energia do que no processamento do polímero virgem. (CUI *et al.*, 2008; SIDDIQUE; KHATIB; KAUR, 2008) A maioria dos estudos relacionados a compósitos utilizando matriz reciclada está focada nas matrizes de PP e PE, na qual o objetivo da incorporação do reforço, fibras ou partículas, é ocasionar a melhora de algumas propriedades como, por exemplo, o aumento da resistência mecânica. (SUHARTY et al., 2016; TURKU et al., 2017)

Estudos recentes têm sido realizados visando o reaproveitamento do ABS proveniente de REEE em compósitos. Sun et al. (2015) avaliaram compósitos de ABS provenientes de carcaças de computadores e impressoras reforçados com partículas não-metálicas de circuito impresso nas porcentagens de 0%, 10%, 20% e 30% em peso. Alguns aditivos foram incorporados na mistura tal como o anidrido maleico graftizado, a fim de promover a adesão entre as partículas não-metálicas e o ABS reciclado, ácido esteárico utilizado com lubrificante para aumentar o índice de fluidez, além de Irganox 1010 como

antioxidante e pigmento vermelho. Foram avaliadas as propriedades térmicas, mecânicas, estabilidade e morfologia. As análises revelaram que as partículas não metálicas consistiam de fibras de vidro individuais e pós de resina, que foram dispersos homogeneamente pela matriz e apresentaram boa adesão entre as cargas e a matriz. Os resultados das propriedades mecânicas mostraram que a incorporação de 30% em peso de partículas não metálicas na matriz de ABS reciclada ocasionou aumento de 16% na resistência à flexão e o módulo de flexão aumentou conforme a proporção de partículas não metálicas foi aumentada. Em relação à resistência ao impacto, houve aumento na resistência com a incorporação das partículas, porém o maior aumento foi alcançado com 10% em peso de carga, no qual obtiveram aumento de 147%.

Martins *et al.* (2009), estudaram a viabilidade de compósitos de ABS reforçados com fibras têxteis como fibras acrílicas e fibras de algodão, avaliando as propriedades térmicas, mecânicas e estruturais dos compósitos. Os resultados mostraram que a incorporação de 10% em peso de fibra não ocasionou efeitos significativos na degradação térmica do ABS, enquanto com 30% em peso de fibra, todos os compósitos apresentaram degradação devido a presença das fibras, diminuindo, assim a estabilidade térmica dos compósitos. O processamento resultou em uma boa dispersão das fibras pela matriz de ABS. Em relação a resistência a flexão, a incorporação de 30% em peso de fibra tornou os compósitos mais rígidos do que o ABS sem fibra, ocasionando aumento nos valores do módulo de elasticidade em flexão.

3.4. Fibras naturais

Nos últimos anos tem surgido um grande interesse no desenvolvimento de produtos que envolvam materiais que causem menores impactos ambientais (GOULART *et al.*, 2011; ALVES FIDELIS *et al.*, 2013; HOJO *et al.*, 2014; XIE *et al.*, 2015; PANAITESCU *et al.*, 2016).

As fibras naturais ou lignocelulósicas são aquelas encontradas na natureza, utilizadas “in natura” que podem ser de origem vegetal, animal ou mineral. O Brasil é um país que dispõe de condições climáticas adequadas, solo fértil e disponibilidade de recursos renováveis favorecendo o cultivo de diversos tipos de plantas. (SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007)

São compostas basicamente de fibras de celulose envolvidas em uma matriz amorfa de hemicelulose, lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos, cujas composições e estruturas podem variar dependendo da espécie da planta, idade, clima e condições de solo no qual determina as propriedades e sua aplicação. (SANTOS et al., 2012; GURUNATHAN; MOHANTY; NAYAK, 2015)

A celulose (Figura 4) é considerada um polímero natural e é o principal componente estrutural presente na parede celular das plantas, cuja responsabilidade é garantir a resistência das fibras, devido ao seu alto grau de polimerização e orientação molecular. Tem uma estrutura linear composta por ligações β -1,4-glicosídicas, contendo seis grupos hidroxila que estabelecem interações intra e intermolecular (SILVA et al., 2009). Entretanto, o caráter hidrofílico provoca baixa resistência às fibras quando expostas à umidade, além de ocasionar baixa interação interfacial quando utilizadas como reforço em matriz hidrofóbica. (YAN; KASAL; HUANG, 2016)

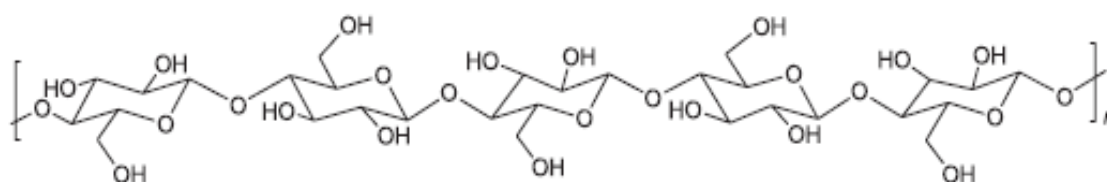


Figura 4 – Representação esquemática da molécula de celulose.

Fonte: SANTOS et al., 2012.

A hemicelulose (também denominada poliose) consiste de uma variedade de moléculas complexas amorfas incluindo a xilose, componente mais abundante em vegetais lenhosos, arabinose, galactose, glucose, entre outros, apresentando estrutura ramificada, de baixa massa molar. É bastante hidrofílica e atua, normalmente, como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina. (SANCHEZ et al., 2010).

A lignina é uma macromolécula de estrutura complexa, tridimensional e amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos. Seu comportamento hidrofóbico está associado na redução da permeabilidade da parede celular. É

responsável por conferir rigidez, proteger as células de ataques de microrganismos e a resistência mecânica auxilia no crescimento e desenvolvimento da planta. (SANTOS et al., 2012)

A utilização de fibras naturais em compósitos vem crescendo a cada ano, com oportunidades nas indústrias automotivas e construção civil. Em 2010, o mercado global de compósitos utilizando fibras naturais atingiu 289,3 milhões de dólares. (PANDEY et al., 2015) Um estudo realizado na Alemanha, Áustria e Finlândia revelou que, na união europeia em 2012, a produção de compósitos utilizando fibras naturais, foi de 90 mil toneladas e a previsão para 2020 é que a produção atinja 120 mil toneladas. O principal setor que contribuiu para o crescimento da produção de compósitos com fibras naturais foi a indústria automotiva e o principal processo de fabricação desses compósitos foi a moldagem por compressão a quente (CARUS et al., 2014).

Existe uma grande variedade de fibras vegetais com diferentes propriedades físicas, químicas e mecânicas. No Brasil, as fibras vegetais mais aplicadas como reforço em matriz polimérica, provenientes ou não de resíduos, são o curauá, bagaço de cana-de-açúcar, sisal, coco, rami e juta. (MARINELLI et al., 2008) . A Tabela 2 mostra as propriedades de algumas fibras utilizadas em compósitos.

Apesar das fibras vegetais apresentarem desvantagens já que suas propriedades mecânicas são modestas comparando com as fibras sintéticas, degradarem com facilidade devido às condições e tempo de armazenamento, não suportarem altas temperaturas de processamento e absorverem grande quantidade de umidade, a aplicação em compósitos poliméricos utilizando as fibras vegetais vem crescendo, uma vez que sua produção tem menor impacto ambiental em relação à produção das fibras de vidro. Além disto, os compósitos utilizando fibras naturais são mais leves, assim melhoram a eficiência de combustível, especialmente em aplicações automotivas e a incineração final de fibras naturais resulta em energia recuperada e créditos de carbono. (SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007; ALVES FIDELIS et al., 2013; JOSHI et al., 2004) Adicionalmente, as fibras naturais não são tóxicas, causam menor desgaste nos equipamentos que processam o

compósito e necessitam de menor consumo de energia para o processamento, comparado com os compósitos contendo fibras de vidro. (Neto e Pardini, 2006).

Tabela 2 – Valores de propriedade mecânica de fibras vegetais e sintéticas mais utilizadas como reforço em compósitos.

	Fibras Naturais			Fibras sintéticas		
	Sisal	Coco	Juta	Vidro-E	Aramida (normal)	Carbono (Normal)
Densidade (g/cm ³)	1,3-1,5	1,2	1,3-1,5	2,5	1,4	1,4
Alongamento (%)	2,0-2,5	30,0	1,5-1,8	2,5	3,3-3,7	1,4-1,8
Resistência a tração (MPa)	511-635	175	393-773	2000-3500	3000-3150	4000
Modulo de Young (GPa)	9,4-22	4,0-6,0	26,6	70,0	63-67	230-240
Vantagens	Baixo custo, fonte renovável, requer pouca energia para sua produção, menos abrasiva.			Baixo custo (fibra de vidro), boa resistência ao calor, à umidade e à corrosão.		
Desvantagens	Baixa durabilidade, alta absorção de umidade, variação de propriedades, baixa temperatura de processamento.			Alto custo (fibras de aramida e carbono), não degradável, abrasivo (fibra de vidro)		

Fonte: BLEZKI; GASSAN, 1999; MARINELLI et al., 2008; PICKERING; EFENDY; LE, 2016.

As aplicações de fibras naturais envolvem diversos setores como, por exemplo, a indústria automotiva, moveleira, de embalagens e construção, entre outros. A indústria alemã lidera no uso de compósitos utilizando fibras naturais, como o sisal, para a fabricação de peças internas e externas de automóveis. A Mercedes empregou matriz epóxi com a adição de fibras de juta nos painéis de porta em um de seus veículos. Nos Estados Unidos, a palha está sendo utilizada na construção civil e as fibras de linho, cânhamo e sisal estão sendo empregadas em componentes automotivos (SANJAY et al., 2016).

A utilização de fibra de juta como reforço em compósitos poliméricos tem sido foco de pesquisadores por se tratar de uma fibra de baixo custo, encontrada em abundância em alguns países, além de apresentar boas

propriedades mecânicas, considerando as fibras de origem vegetal. Depois do algodão, a juta é a segunda fibra vegetal mais comum e são extensivamente cultivadas em países como Bangladesh, China, Índia, Indonésia e Brasil. (SEVER et al., 2011; RAMESH; PALANIKUMAR; REDDY, 2013; BLEDZKI et al., 2015; RANGANATHAN et al., 2015)

A juta é uma fibra de origem vegetal extraída do caule das plantas do gênero *Corchorus*, no qual existem mais de 40 espécies. Entretanto, suas fibras são obtidas principalmente de espécies como a juta branca (*Corchorus capsular*) e juta tossa (*Corchorus olitorus*) e seus cultivos são realizados na época de muita chuva, cuja umidade relativa chega a 95% em temperaturas que variam entre 21°C a 38°C. As fibras da juta são caracterizadas por seu brilho dourado e sedoso com comprimento de 1 a 4 metros e diâmetro de até 20 micrometros. No Brasil, a juta foi trazida por japoneses em 1960 e cultivada nas várzeas amazônicas, tornando-se uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas (Homma, 2009).

As fibras de juta são biodegradáveis compostas basicamente de celulose, lignina e hemicelulose (Tabela 3).

Tabela 3 – Composição química da fibra de juta.

Fibra	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Extrativos
Juta	64,4	12,0	11,8	0,7

Fonte: JAWAID; ABDUL KHALIL, 2011.

Bledzki, et al. (2015) avaliaram as características e propriedades do compósito utilizando matriz de polipropileno reforçado com quatro diferentes tipos de fibras vegetais: madeira macia, abacá, juta e kenaf. Os resultados mostraram que a fibra de juta apresentou alto teor de celulose e, por isso, apresentou maior resistência à degradação termo-oxidativa comparado ao kenaf, abacá e a madeira macia. Além disso, os compósitos contendo fibras de juta apresentaram maiores valores de HDT (*Heat deflection temperature*), seguidos dos compósitos contendo fibras de kenaf, compósitos contendo abacá e compósitos contendo madeira macia, respectivamente. Em relação às propriedades mecânicas, o compósito que apresentou melhor resistência à

flexão e impacto foram aqueles contendo fibras de kenaf e abacá, respectivamente. Embora, os compósitos contendo as fibras de juta, tenham apresentado menores valores comparados com os outros tipos de fibras, ainda assim os valores são superiores aos da matriz de polipropileno.

Monteiro et al. (2006), investigaram as propriedades dos compósitos com matriz de polietileno reciclado reforçados com tecidos de fibras de juta também reciclado e constataram que houve aumento na resistência à flexão (Figura 5) conforme o teor de juta aumentava. A incorporação de até 30% em peso no teor de fibras de juta na matriz ocasionou um aumento nas propriedades de resistência à flexão. Em proporções maiores do que 30% acarretaram na queda da resistência à flexão, porém valores superiores à resistência à flexão da matriz.

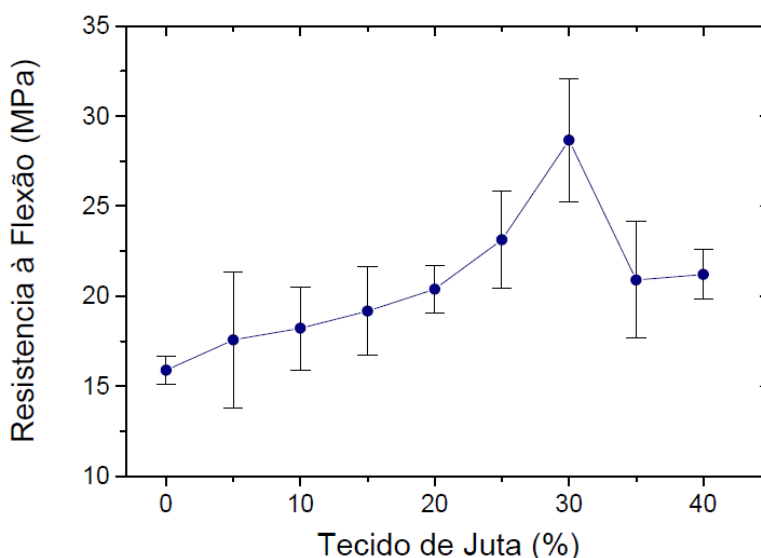


Figura 5 – Aumento da resistência à flexão em função da quantidade de fibras de juta.

Fonte: MONTEIRO et al., 2006

A combinação de fibras diferentes numa matriz, obtendo-se os compósitos híbridos pode satisfazer a necessidade de melhorar as propriedades dos compósitos de fibras naturais. Ramesh; Palanikumar; Reddy (2013) estudaram compósitos híbridos de fibras de vidro-sisal-juta com matriz de resina poliéster, no qual avaliaram as propriedades mecânicas em tração,

flexão e impacto em três diferentes sistemas: resina-fibra de vidro-sisal, resina-fibra de vidro-juta e resina-fibra de vidro-sisal-juta. Os resultados indicaram que os compósitos do sistema resina-fibra de vidro-juta apresentaram maior resistência à tração comparado com os demais sistemas. Em relação à resistência ao impacto, o sistema resina-fibra de vidro-sisal apresentou maiores valores comparados aos demais sistemas. Já o sistema contendo resina-fibra de vidro-sisal-juta apresentou a maior resistência a flexão.

Embora os estudos acerca dos compósitos utilizando fibras vegetais estejam relativamente avançados, (CARUS et al., 2014, RAMESH; PALANIKUMAR; REDDY, 2013; BLEDZKI, et al., 2015) há poucos trabalhos na literatura relacionados a estudos de compósitos do copolímero ABS utilizando fibras de origem vegetal (NEHER et al., 2014), principalmente, envolvendo o aproveitamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE).

4. METODOLOGIA

4.1. Materiais

O polímero utilizado como matriz polimérica neste trabalho foi o ABS reciclado (MFI = 27,46 g.10minutos⁻¹), na forma de grânulos (*pellets*) na cor preta (Figura 6), cedido pela empresa *Sinctronics*, instalada em Sorocaba que realiza o processo de reciclagem de REEE no qual os principais polímeros obtidos são o ABS e o HIPS. Esta empresa coleta peças descartadas de equipamentos eletroeletrônicos que contém o copolímero ABS, realiza um pré-processamento via extrusão, transformando o material em *pellets*.



Figura 6 – Fotografia da matriz polimérica de ABS reciclado em forma de *pellets*.

Fonte: Próprio autor

A fibra vegetal utilizada como reforço dos compósitos foi a juta (gramatura 270 g/m²), disponível no comércio em forma de tecido bidirecional (Figura 7).

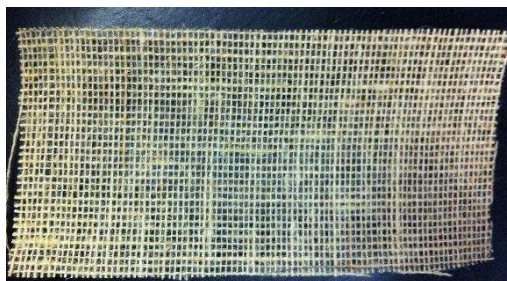


Figura 7 – Fotografia do tecido de fibras de juta utilizado.

Fonte: Próprio autor

4.2. Métodos

4.2.1. Processo de moldagem

As placas da matriz polimérica e dos compósitos foram processadas em moldagem por compressão a quente, utilizando moldes fechados usinados em liga de alumínio cujas dimensões são de (16x18x0,5cm) para a moldagem da placa para realização de ensaio de flexão e as dimensões de (13x26x0,3cm) para moldagem da placa para os ensaios de tração e impacto. A prensa de laboratório utilizada é da marca Marconi, modelo MA 098/A (Figura 8).

Inicialmente, foi realizada a limpeza do molde (Figura 9) utilizando acetona para retirada de qualquer sujeira e depois foram aplicadas duas camadas de desmoldante à base de cera de carnaúba e solventes derivados de petróleo.



Figura 8 – Fotografias da prensa hidráulica com aquecimento

Fonte: Próprio autor

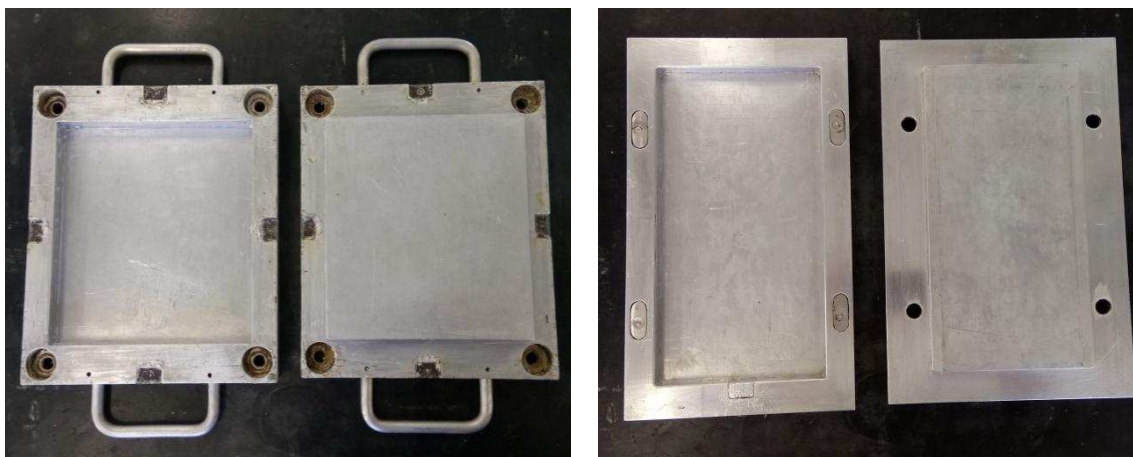


Figura 9 – Fotografia dos moldes utilizados.

Fonte: Próprio autor

4.2.2. Obtenção da matriz polimérica e dos compósitos reforçados com tecido de fibras de juta

A obtenção das placas da matriz e dos compósitos iniciou-se com o corte retangular do tecido de juta no mesmo tamanho do molde utilizado. O tecido de fibras de juta não sofreu qualquer tipo de tratamento ou secagem para evitar a introdução de mais etapas no processo de moldagem.

A matriz polimérica em forma de *pellets* foi pesada conforme o volume dos moldes. Primeiramente, metade da quantidade pesada de matriz foi inserida no molde, depois, acomodaram-se as camadas de tecidos de fibras de juta, completando o molde com o restante de matriz, garantindo, assim, que o tecido de fibra de juta ficasse no meio da placa. Então, o molde foi fechado e prensado a temperatura de 190°C, durante 30 minutos para a fusão da resina (matriz), com uma força constante de 3 toneladas, no qual resultou em uma pressão de, aproximadamente, 10 kgf.cm⁻² nas placas moldadas, até resfriar completamente. Depois disso, as placas foram desmoldadas. As placas contendo somente a matriz de ABS reciclado foram obtidas pelo mesmo procedimento, para comparação.

Os compósitos contendo uma camada de tecido apresentaram, aproximadamente, 6% em massa de fibras de juta e os compósitos contendo duas camadas de tecido apresentaram, aproximadamente, 12% em massa de fibras de juta. Neste trabalho, não foi possível moldar placas contendo mais

camadas de tecidos de fibras de juta devido à limitação da espessura do molde, o que também alteraria a espessura dos cdps especificados em cada norma.

As placas (Figura 10a e 10b), após o resfriamento, foram cortadas e lixadas gerando 12 corpos de prova para os ensaios de flexão, tração e impacto. Os corpos de prova para os ensaios de flexão foram lixados nas dimensões de 127x12,7x5 mm (Figura 11a), conforme norma ASTM D790. Os corpos para os ensaios de tração foram lixados nas dimensões de 250x25x3 mm (Figura 11b), conforme norma ASTM D3039. Os corpos de prova para os ensaios de impacto foram lixados nas dimensões de 63,5x12,7x3 mm, conforme a norma ASTM D256 (Figura 11c).



(a)



(b)

Figura 10 – Fotografia das placas de: (a) flexão; (b) tração e impacto.

Fonte: Próprio autor.

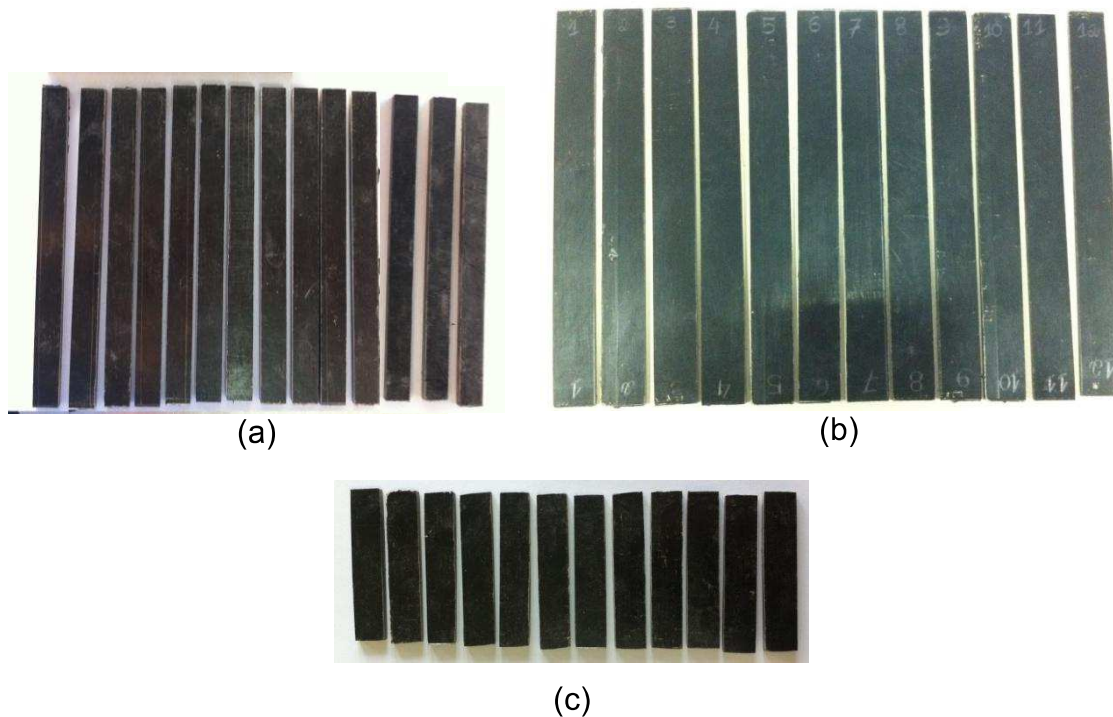


Figura 11 – Fotografia dos corpos de prova para ensaio de (a) flexão; (b) tração; (c) impacto. Fonte: Próprio autor.

4.3. Determinação do Índice de Fluidez

O índice de fluidez (Melt Flow Index – MFI) é obtido a partir da taxa de fluxo do polímero sob uma carga e seu valor é expresso pela quantidade de material que flui em gramas por 10 minutos. Primeiramente, os materiais moldados foram submetidos a um medidor de umidade da marca Mettler Toledo, modelo HS153 (Figura 12a) a 100°C durante 10 minutos para a retirada de umidade.

O índice de fluidez do ABS reciclado antes da moldagem e dos moldados de ABS sem fibra, compósito contendo uma e duas camadas de tecido de fibras de juta, foi medido utilizando um plastômetro da marca Instron, modelo Ceast MF20 (Figura 12b) acoplado a um computador, seguindo a norma ISO 1133. O pré-aquecimento sem a carga é realizada por 5 minutos e depois disso, a temperatura é ajustada para 220°C utilizando uma carga de 10Kg e o corte automático ocorre a cada 10 segundos.



(a)



(b)

Figura12: Fotografias do: (a) medidor de umidade; (b) medidor de índice de fluidez

Fonte: Próprio autor

4.4. Termogravimetria

As análises de termogravimetria (TG) do tecido de fibras de juta, da matriz e dos compósitos foram realizadas em cadinho de teflon com cerca de 17 mg de amostra em um intervalo de temperatura de 25°C até 800°C, razão de aquecimento de 10°C. min⁻¹ sob atmosfera inerte de nitrogênio, com fluxo de 50 mL.min⁻¹. As amostras foram analisadas em um analisador termogravimétrico da marca Mettler Toledo, modelo TGA1 (Figura 13a). As análises foram realizadas em duplicata.



(a)



(b)

Figura 13 – Fotografias do: (a) equipamento de TGA; (b) porta amostras.

Fonte: Próprio autor.

4.5. Ensaio Mecânicos

Os ensaios de flexão da matriz polimérica e dos compósitos foram realizados em máquina universal de ensaios mecânicos da marca EMIC, modelo DL 10000 (Figura 14a), com uma programação do ensaio de flexão em três pontos, de acordo com a norma ASTM D790 cuja dimensão dos corpos de prova foi de 127x12,7x5mm (Figura 14b), em temperatura ambiente.

A célula de carga utilizada foi de 500kgf, a distância entre os apoios foi de 83,2mm e a velocidade de ensaio foi de 2,2 mm/min, no qual foi determinada a partir da equação 1.

$$R = \frac{ZL^2}{6d} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- R = velocidade do ensaio;
- Z = constante = 0,01
- L = distância entre os apoios = 16d
- d = espessura média dos cdps

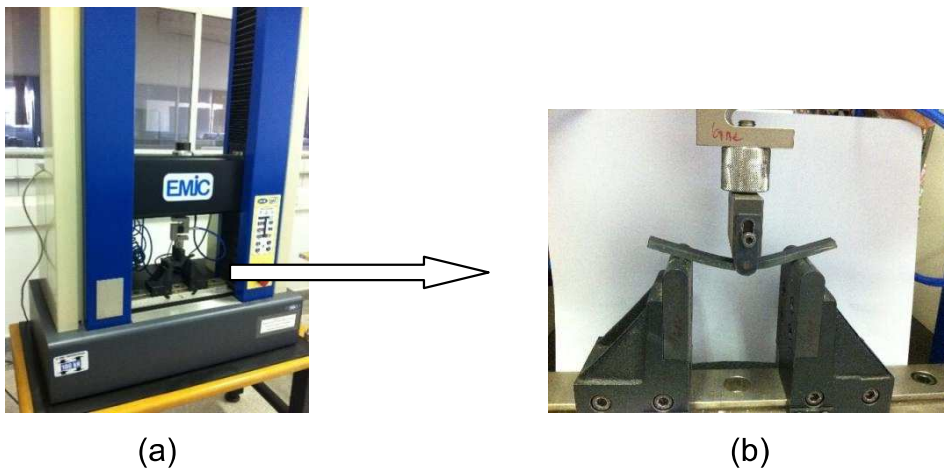


Figura 14 – Fotografias do: (a) equipamento; (b) corpo de prova em ensaio de flexão.

Fonte: Próprio autor

Os ensaios de tração foram realizados em temperatura ambiente utilizando a máquina universal de ensaios mecânicos, marca EMIC, modelo DL 30000 (Figura 15a), baseando-se na norma ASTM D3039 cuja dimensão dos

corpos de prova foi de 250x25x3mm. A velocidade de ensaio foi de 2,0 mm/min com uma célula de carga de 2000kgf.

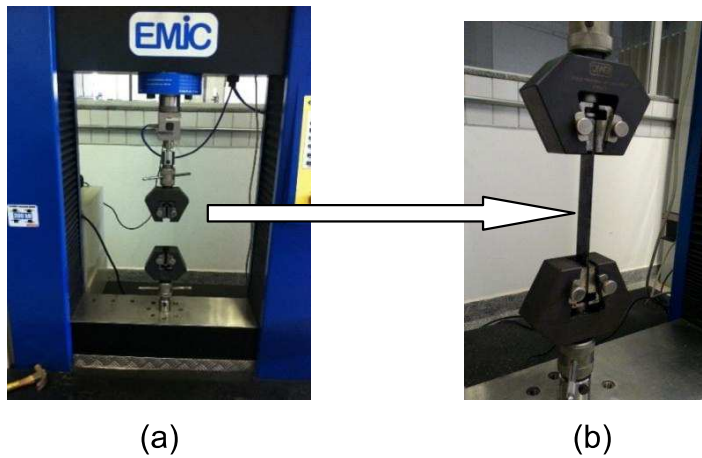


Figura 15 – Fotografias do: (a) equipamento; (b) corpo de prova em ensaio de tração. Fonte: Próprio autor

O ensaio de impacto foi realizado em um equipamento de impacto pendular da marca Instron, modelo CEAST 9050 (Figura 16), com martelo de 1J na configuração de impacto IZOD de acordo com a norma ASTM D256 cuja dimensão dos corpos de prova foi de 63,5x12,7x3mm. Cada lote de corpos de prova foi dividido em dois grupos, ou seja, com entalhe em “V” de 2,54 mm de profundidade e sem entalhe (Figura 17).

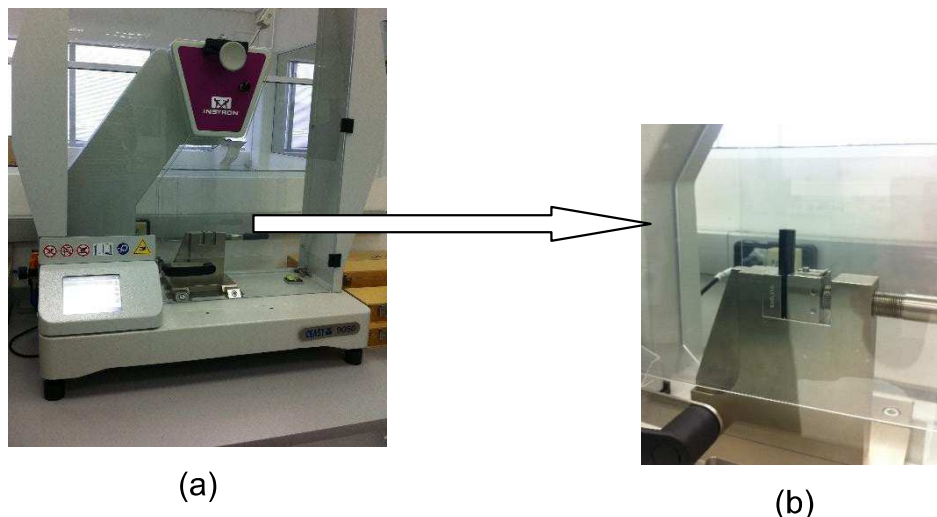


Figura 16– Fotografias do: (a) equipamento; (b) corpo de prova na garra.

Fonte: Próprio autor

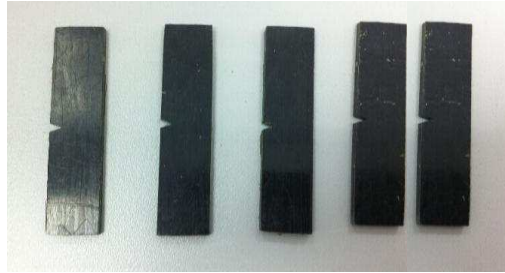


Figura 17– Fotografia de exemplos de corpos de prova com entalhe

Fonte: Próprio autor

Posteriormente, os resultados dos ensaios mecânicos (flexão, tração e impacto) realizados no ABS reciclado e seus compósitos, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o software gratuito Assistat, com posterior aplicação do teste de Tukey. Neste teste, as médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5%.

4.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização morfológica da fratura dos corpos de prova foi realizada através de imagens obtidas por microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca HITACHI, modelo TM3000 (Figura 18a). A preparação das amostras (Figura 18b) foi realizada fixando o material com fita de carbono no suporte. Neste trabalho não foi realizado o recobrimento metálico nas amostras. As análises foram realizadas com uma tensão de aceleração de 15kV utilizando filamento de tungstênio.



(a)



(b)

Figura 18 – Fotografias do: (a) MEV; (b) porta amostras.

Fonte: Próprio autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Índice de Fluidez

A Tabela 4 apresenta os resultados do índice de fluidez (MFI) realizado nas amostras de ABS sem fibra, compósito de ABS contendo uma camada de tecido de fibras de juta e compósito de ABS contendo duas camadas de tecido de fibras de juta.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de índice de fluidez e desvio padrão

Quant. Tecidos de juta	Índice de Fluidez (g.10min ⁻¹)
ABS (pellets)	27,40 ± 1,11
0	26,15 ± 1,32
1	22,87 ± 0,76
2	9,97 ± 0,34

A partir da tabela 4 é possível observar que o índice de fluidez do ABS reciclado antes da moldagem foi de 27,40 ± 1,11 g.10min⁻¹. No trabalho de Hirayama; Saron (2015) foi avaliado o MFI do ABS virgem e do ABS reciclado de equipamentos de computadores e constataram que o índice de fluidez do ABS reciclado aumentou em relação ao ABS virgem, cujos valores foram 15,93g.10 min⁻¹ e 8,43g.10min⁻¹, respectivamente, indicando um efeito na diminuição na massa molar do polímero.

No caso deste trabalho, considerando o valor do índice de fluidez e o desvio padrão do ABS reciclado após a moldagem, pode ser observado que, praticamente, não houve aumento no valor do índice de fluidez, onde valor encontrado foi de 26,15 ± 1,32 g.10min⁻¹, indicando que a moldagem por compressão a quente não ocasionou diminuição na massa molar do ABS reciclado.

Com a incorporação de uma camada de tecido de fibras de juta houve decréscimo no valor do índice de fluidez, 12,5% em relação às amostras de ABS sem fibra, cujo valor obtido foi de 22,87 ± 0,76 g.10min⁻¹. O menor valor no índice de fluidez foi obtido nas amostras do compósito contendo duas camadas de tecido de fibras de juta, no qual apresentou MFI = 9,97 ± 0,34 g.10min⁻¹ um decréscimo de mais de 60% comparado com o ABS sem fibra. Esse decréscimo no índice de fluidez pode ser atribuído à restrição de

mobilidade da matriz polimérica devido à presença das fibras, elevando, assim, a viscosidade aparente do material compósito. De acordo com OZEN et al. (2013), a incorporação de fibras naturais no polímero pode ocasionar a diminuição do índice de fluidez em até 78% em relação ao polímero sem a fibra. No caso deste trabalho, o valor do MFI obtido no compósito contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta está mais próximo ao valor do ABS virgem que foi descrito no trabalho de Hirayama e Saron (2015).

5.2. Termogravimetria

Nas figuras 19 e 20 estão representados os gráficos da Termogravimetria (TG) e da derivada (DTG) do ABS reciclado, do compósito contendo uma camada de tecido de fibras de juta e do compósito contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta. As curvas TG e DTG de cada material estão mostradas separadamente no Anexo A.

Os dados como a temperatura inicial de degradação (T_i), temperatura final (T_f), a porcentagem de perda de massa em cada estágio (%) e a temperatura onde a degradação é máxima ($T_{máx}$) estão na Tabela 5.

A partir das curvas TG e DTG (Figuras 19 e 20) e Tabela 5 pode ser observado que o ABS sem fibras apresentou temperatura de decomposição maior do que a dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta. A matriz reciclada apresentou um estágio de perda de massa no intervalo de temperatura entre 371,7–475,5°C, com perda de massa de 88,2%, cujo máximo da DTG foi de 427,2°C.

De acordo com Yang *et al.* (2004), a degradação dos componentes do ABS ocorre em temperaturas diferentes, no qual o butadieno e o estireno apresentam degradação em 340 e 350°C, respectivamente. No trabalho de Hirayama e Saron (2015) foi realizada a caracterização de polímeros como ABS e HIPS provenientes de computadores descartados, e avaliadas algumas propriedades mecânicas, térmicas e reológicas em comparação com os polímeros virgens. Os resultados desse trabalho (Hirayama; Saron, 2015), mostraram que a degradação inicial do ABS reciclado ocorreu em 383°C, temperatura maior do que o ABS virgem, o qual apresentou degradação inicial

em 360°C. Essa maior estabilidade do ABS reciclado, provavelmente, ocorreu devido à presença de aditivos no material reciclado (Hirayama; Saron, 2015).

Neste trabalho, a presença de aditivos no ABS reciclado e diferentes porcentagens dos componentes no ABS (acrilonitrila, butadieno e estireno) por serem provenientes de diversos tipos de equipamentos e diversas marcas são fatores que também influenciam na temperatura de degradação.

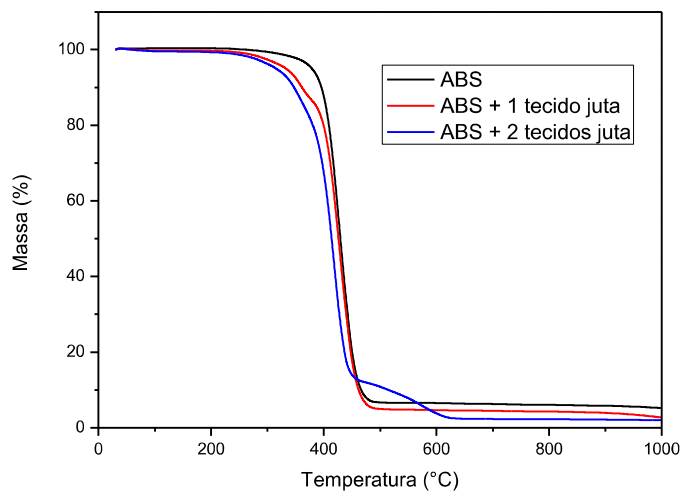


Figura 19 – Curvas da análise de TG da matriz de ABS reciclado e seus respectivos compósitos.

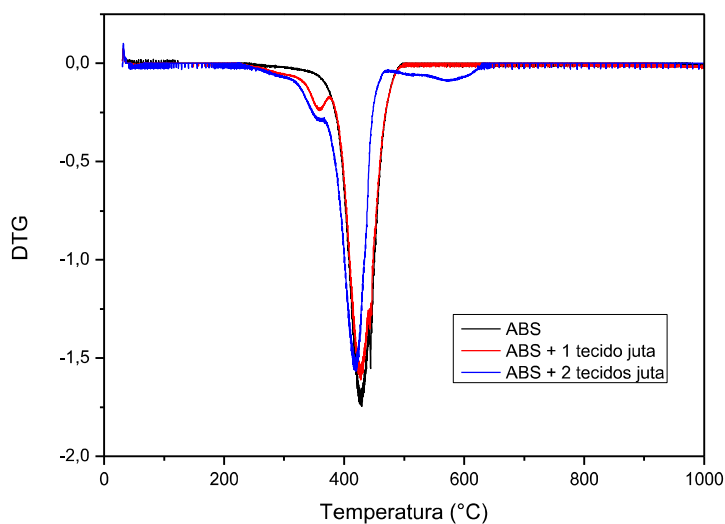


Figura 20 – Curvas da análise DTG da matriz de ABS reciclado e seus respectivos compósitos.

Tabela 5 – Estágios de degradação das curvas TG/DTG. Temperatura inicial (Ti); temperatura final (Tf); perda de massa (%); temperatura onde a degradação é máxima (Tmáx); porcentagem residual a 700°C. (R)													
Material	1° Estágio				2° Estágio				3° Estágio				R (%)
	Ti (°C)	Tf (°C)	%	Tmáx (°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	%	Tmáx (°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	%	Tmáx (°C)	
0	371,7	475,5	88,2	427,2	-	-	-	-	-	-	-	-	6,3
1	299,0	367,3	8,6	359,0	367,5	476,8	82,8	427,2	-	-	-	-	4,5
2	287,5	361,2	10,8	355,2	361,3	446,7	71,5	417,8	446,8	615,2	11,8	576,3	2,3

Na literatura, Hossain et al. (2011) avaliaram os efeitos do tratamento superficial nas fibras de juta nas propriedades térmicas. Os resultados do estudo mostram que para as fibras de juta que não sofreram tratamento a perda de massa ocorre em três estágios distintos, no qual o primeiro está associado à perda de umidade da fibra em temperatura até 150°C. O segundo estágio ocorre em intervalo entre 260-350°C que foi atribuído à degradação da celulose. O terceiro estágio, em temperaturas acima de 350°C foi atribuído à degradação de componentes como a lignina.

Em relação aos compósitos, pode ser observado a partir das curvas TG/DTG, que a degradação dos compósitos contendo uma camada de tecido de fibras de juta ocorreu em dois estágios e nos compósitos contendo duas camadas de tecido de fibras de juta, a degradação ocorreu em três estágios distintos (Figuras 19 e 20). Na Tabela 5, pode ser observado que para o compósito contendo uma camada de tecido de fibras de juta, o primeiro estágio ocorreu no intervalo entre 299,0-367,3°C com perda de massa de aproximadamente 8,6%, temperatura na qual pode estar ocorrendo a degradação da celulose presente na fibra de juta e, início da degradação da matriz de ABS reciclada. O segundo estágio de perda de massa ocorreu no intervalo de temperatura entre 367,5-476,8°C, o qual é atribuído à degradação da matriz, apresentando máximo da DTG em 427,2°C.

Já o compósito de ABS reforçado contendo duas camadas de tecido de fibras de juta apresentou três estágios de perda de massa. O primeiro estágio ocorreu no intervalo entre 287,5-361,2°C com perda de massa de 10,8% devido à degradação da celulose da fibra, assim como o início da degradação da matriz reciclada. O segundo estágio ocorreu no intervalo de temperatura entre 361,3-446,5°C relacionado à degradação da matriz ABS, componente em maior quantidade, cuja perda de massa foi de 71,5%. O terceiro estágio de perda de massa ocorreu no intervalo de temperatura 446,8-615,2°C, associado à degradação da lignina que, devido à sua natureza macromolecular complexa, apresenta decomposição em faixa de temperatura mais elevada. (HOSSAIN et al., 2011)

Os resultados destas análises estão em acordo com Sun *et al.* (2015) que analisaram a estabilidade térmica de compósitos utilizando ABS reciclado proveniente de carcaças de computadores e impressoras reforçado com

partículas não metálicas de resíduos de placas de circuito impresso. Os autores constataram que a matriz de ABS iniciou a degradação em 370°C com o máximo em 419°C. Com a incorporação das partículas não metálicas, a temperatura inicial de degradação e a temperatura máxima reduziram, devido à baixa temperatura de degradação das partículas que está em torno de 280°C.

Em relação aos resíduos do ABS reciclado e dos compósitos, pode ser observado a partir da Tabela 5 que os valores variaram de acordo com a quantidade de camadas de tecidos de fibras de juta. A matriz de ABS reciclado foi o material que apresentou maior porcentagem de massa residual a 700°C, ou seja, 6,3%, provavelmente, devido à presença de aditivos e cargas inorgânicas que se decompõem em temperaturas mais elevadas. Já para o compósito contendo uma camada de fibras de juta há diminuição na porcentagem de massa residual 4,5% que pode estar associado a menores quantidades de matriz presente no material compósito. O mesmo ocorreu nos compósitos contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta, ou seja, o resíduo encontrado neste material a 700°C foi de 2,3%.

5.3. Ensaio mecânico

5.3.1. Ensaio de Flexão

Estão representados nas Figuras 21, 22 e 23, os corpos de prova após os ensaios de flexão. É possível observar que houve uma variação no comportamento das amostras em relação ao ensaio, uma vez que alguns corpos de prova não fraturaram completamente, conforme citado nas respectivas legendas.



Figura 21 – Corpos de prova do ABS sem fibra após o ensaio de flexão, dos quais 7 não fraturaram totalmente.



Figura 22 – Corpos de prova do ABS + 1 tecido de juta após o ensaio de flexão, dos quais 3 não fraturaram totalmente.



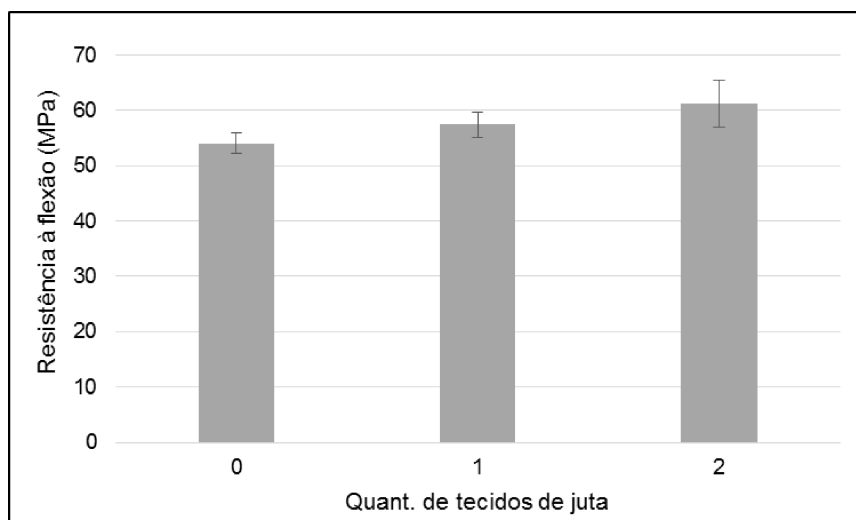
Figura 23– Corpos de prova do ABS + 2 tecidos de juta após o ensaio de flexão, dos quais 3 não fraturaram totalmente.

Os resultados das médias dos ensaios de flexão do ABS reciclado e seus compósitos estão ilustrados na Tabela 6. Com base nesses valores, foram elaborados gráficos da variação da resistência à flexão e do módulo de elasticidade, como mostrado na Figura 24 (a) e (b). Os gráficos completos com todas as curvas dos ensaios de flexão estão no Anexo B.

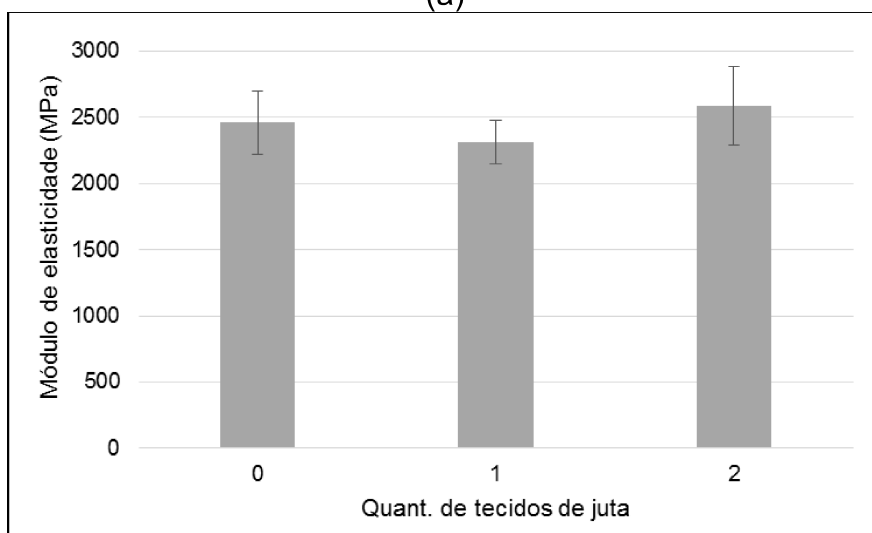
Tabela 6 – Média e desvio padrão de propriedades mecânicas obtidas através dos ensaios de flexão de 12 corpos de prova de cada tipo de material.

Quant. de tecidos de Juta	Resistência Máxima (MPa) *	Deformação Máxima (mm)	Módulo de Elasticidade (MPa) *
0	54,04 ± 1,84 c	9,31 ± 1,30 a	2459,0 ± 242,0 ab
1	57,40 ± 2,20 b	8,43 ± 0,70 ab	2310,0 ± 165,0 b
2	61,14 ± 4,23 a	7,84 ± 1,16 b	2585,0 ± 296,0 a

* Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.



(a)



(b)

Figura 24 – Gráfico de: (a) resistência a flexão; (b) módulo de elasticidade do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecidos de fibras de juta

A partir da Tabela 6 pode ser observado que a resistência à flexão da matriz (ABS reciclado sem fibra) foi de 54,04 MPa. A incorporação do tecido de fibras de juta ocasionou aumento na resistência à flexão dos compósitos (Figura 24a) e, considerando o teor de fibras de juta, o compósito de ABS reciclado com duas camadas de tecido de fibra de juta apresentou melhor resistência a flexão atingindo 61,1 MPa em comparação com o compósito de ABS reciclado com uma camada de tecido de fibras de juta, cuja resistência foi de 57,4 MPa.

Em relação ao módulo de elasticidade (Tabela 6 e Figura 24b), pode ser observado que a incorporação do tecido de fibras de juta não ocasionou mudanças expressivas comparando com a matriz sem fibra. Já no caso do compósito contendo duas camadas de tecido de fibras de juta, o material apresentou o maior módulo de elasticidade. Em contrapartida, ocorreu diminuição nos valores da deformação máxima dos compósitos de ABS reciclada contendo duas camadas de tecido de fibra de juta em comparação com a matriz sem fibra.

A partir destes resultados pode-se inferir que a utilização do tecido de fibras de juta reforçou a matriz de ABS reciclado em relação à resistência a flexão.

Nos compósitos, durante o ensaio de flexão, ocorre fratura em tração e compressão, ou seja, a camada superficial de compósitos enfrenta fratura compressiva enquanto ocorre o modo de tração na camada inferior. (SRINIVASA et al. 2010) Em estudo na literatura, Khan *et al.* (2016) avaliaram a resistência a flexão de biocompósitos de poli(ácido L-láctico) (PLLA) reforçados com fibras de juta em forma de tecido e não-tecido, preparados por moldagem a quente. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que a incorporação de fibras de juta na forma de tecido bidirecional ocasionou aumento de 95% na resistência a flexão dos compósitos, enquanto os compósitos com fibras de juta (unidirecionais) apresentaram aumento de 60%, ambos em comparação com a matriz de PLLA, cujos valores foram $82,0 \pm 12,0$ MPa, $67,0 \pm 8,4$ MPa e $42,0 \pm 9,7$ MPa, respectivamente. Neste trabalho, os valores encontrados para a resistência a flexão foram $54,04 \pm 1,84$ MPa para o ABS reciclado sem fibra, $57,40 \pm 2,20$ MPa para o compósito de ABS reciclado contendo uma camada de tecido de fibras de juta e $61,14 \pm 4,23$ MPa para o compósito de ABS reciclado contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta.

Lima (2009) realizou um estudo das propriedades de compósitos de tecido de juta em matriz de polietileno reciclado nas proporções de 0 a 40% em peso de juta. Nas proporções de 5% e 10% em peso de juta (porcentagem próxima à utilizada neste trabalho), a resistência à flexão foi de 25,17 MPa e 31,9MPa, respectivamente. Comparando com a literatura, a resistência à flexão dos compósitos de ABS reciclado contendo fibras de juta deste presente

trabalho foi maior, uma vez que os valores encontrados no compósito de ABS reciclado contendo uma camada de tecidos de fibras de juta e compósito de ABS reciclado contendo duas camadas de tecidos de fibra de juta foram 57,4 MPa e 61,1MPa. Neste trabalho, considerando a matriz (ABS sem fibras), houve um aumento de 13% na resistência a flexão com a incorporação dos tecidos de fibras de juta no compósito contendo duas camadas de tecido de fibras de juta.

5.3.2. Ensaio de tração

Nas figuras 25, 26 e 27 estão representados os corpos de prova fraturados após o ensaio de tração. Diferentemente do ensaio de flexão, todos os corpos de prova se romperam durante o ensaio de tração, conforme os modos de falha válidos citados na ASTM D3039.

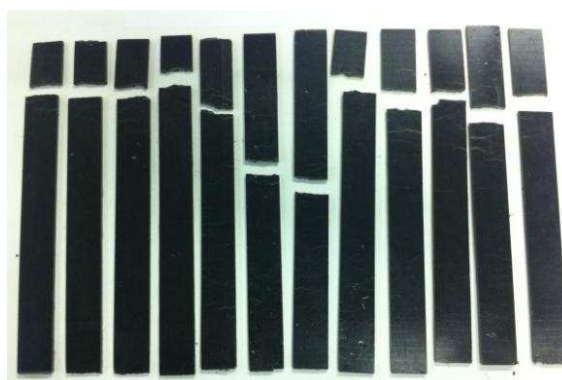


Figura 25 – Corpos de prova do ABS sem fibra após o ensaio de tração.

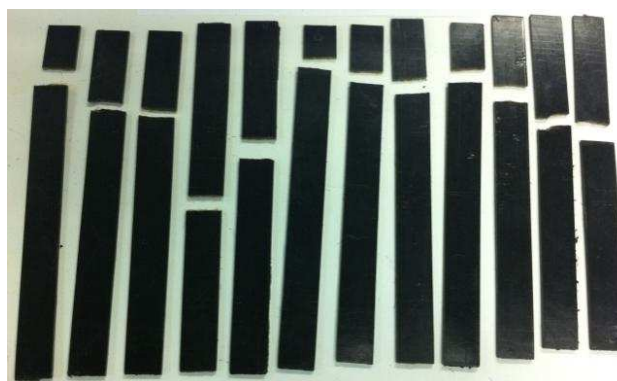


Figura 26 – Corpos de prova do ABS + 1 tecido de juta após o ensaio de tração.

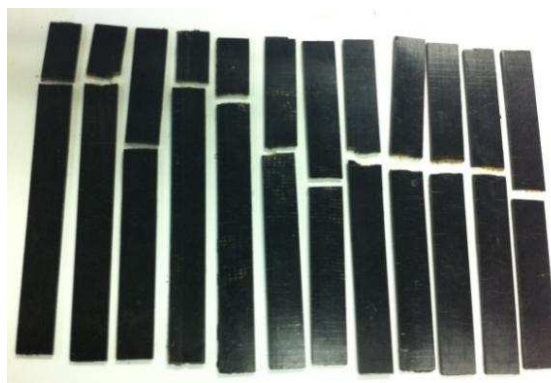


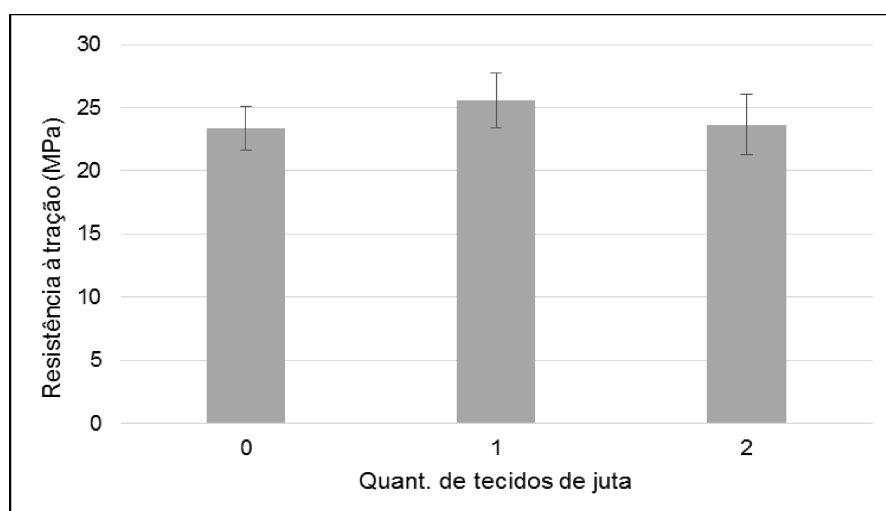
Figura 27 – Corpos de prova do ABS + 2 tecidos de juta após o ensaio de tração.

Os resultados dos ensaios de tração do ABS reciclado e seus compósitos estão apresentados na Tabela 7. Com base nesses valores foram utilizados os valores para o cálculo da variação da resistência à tração e do módulo de elasticidade, como mostrado na figura 28 (a) e (b). Os gráficos completos com todas as curvas dos ensaios de tração estão no Anexo C.

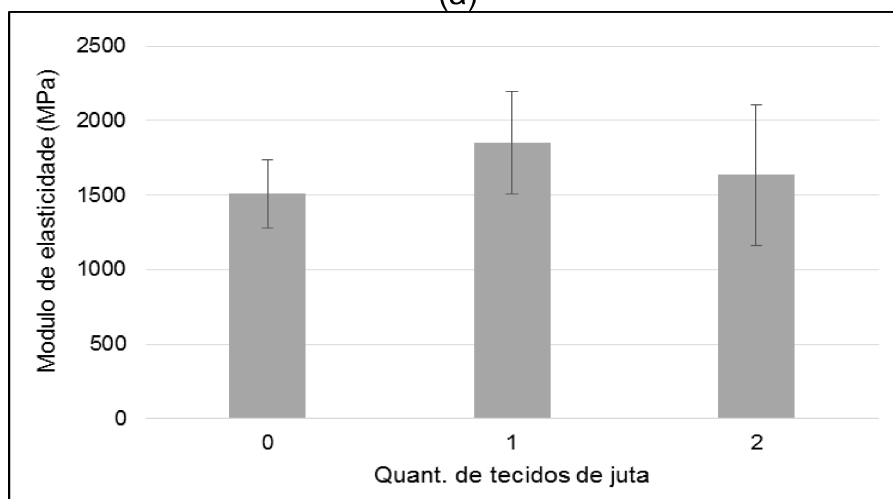
Tabela 7 – Média e desvio padrão de propriedades mecânicas obtidas através dos ensaios de tração de 12 corpos de prova de cada tipo de material

Quant. de tecidos de Juta	Resistência Máxima (MPa) *	Deformação Máxima (mm) *	Módulo de Elasticidade (MPa) *
0	23,38 ± 1,67 b	3,85 ± 0,48 a	1510,0 ± 227,4 a
1	25,58 ± 2,16 a	3,40 ± 0,29 b	1850,0 ± 343,3 a
2	23,67 ± 2,42 ab	3,34 ± 0,39 b	1634,0 ± 473,5 a

*Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5% pelo teste de Tukey



(a)



(b)

Figura 28 – Gráfico de: (a) resistência à tração; (b) Modulo de elasticidade do ABS reciclado sem fibras e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecidos de fibras de juta.

A partir da Tabela 7 pode ser observado que a resistência a tração obtida para a matriz de ABS reciclada foi de 23,38 MPa. Este valor obtido é menor do que o encontrado em outro trabalho (HIRAYAMA; SARON, 2015), cujo valor foi de $40,4 \pm 0,3$ MPa para ABS reciclado de REEE. O maior valor encontrado na literatura pode ser justificado através do índice de fluidez que está associado à massa molar do material. No caso deste trabalho, o índice de fluidez é maior do que encontrado na literatura (HIRAYAMA; SARON, 2015) o que sugere menor massa molar corroborando com menor valor obtido de resistência mecânica à tração do ABS reciclado.

Na tabela 7 e figura 28 (a) é possível observar que as resistências à tração dos compósitos contendo uma camada de tecido de fibras de juta diferem-se dos outros materiais, pois apresentou uma média de 25,6 MPa, ou seja, um aumento de 9,4% em relação à matriz sem fibra. Já para o compósito contendo duas camadas de fibras de juta o valor foi similar à matriz sem fibra. Em contrapartida, a rigidez do material não foi alterada, uma vez que não houve diferença significativa nos valores obtidos no módulo de elasticidade. Porém, ocorreu decréscimo nos valores da deformação máxima dos compósitos comparado com a matriz sem fibra, que pode ocorrer com o aumento da descontinuidade da matriz em função do aumento no teor de fibra. (LEE; WANG, 2006)

Mishra; Biswas (2013) investigaram a influência no teor de fibra de juta em forma de tecido bidirecional em compósitos utilizando resina epóxi como matriz. As proporções de fibra variaram de 0% a 48% em peso no qual os valores da resistência à tração variaram de 43 MPa a 110 MPa, revelando que a resistência à tração aumentou conforme o teor de fibra na matriz também foi aumentado. No caso deste trabalho aqui apresentado, o aumento na quantidade de camadas de tecidos de fibras de juta não promoveu o aumento da resistência a tração do compósito.

Estudo na literatura afirma que a utilização de fibra vegetal em matriz de ABS pode ocasionar diminuição na resistência à tração do compósito. Neher et al. (2014) estudaram a resistência a tração de compósitos de ABS utilizando fibras de palma em diferentes proporções. Com a incorporação de 5% em peso de fibras de palma, houve um decréscimo na resistência à tração dos compósitos em relação à matriz, cujos valores foram de aproximadamente 33,5 MPa e 39,0 MPa, respectivamente. Já com 10% em peso de fibras de palma, a resistência à tração foi de aproximadamente 35,0 MPa, enquanto com 20% a resistência foi de 34 MPa. Essa diminuição na resistência à tração dos compósitos ocorreu devido à incompatibilidade da fibra e da matriz.

Neste trabalho, houve aumento de 9,4% na resistência a tração quando incorporada uma camada de tecido de fibras de juta. Em relação ao valor da resistência à tração do compósito contendo duas camadas de tecido de fibra de juta, provavelmente, ocorreu menor intensidade de adesão interfacial entre as fibras e a matriz, devido ao aumento da quantidade de fibras de juta.

Para tanto, estudos na literatura indicam que a incorporação de aditivos poderia promover a compatibilidade entre a matriz e as fibras. Rana; Mandal; Bandyopadhyay (2003) estudaram a influência da incorporação do compatibilizante PP graftizado com anidrido maleico em compósitos de polipropileno (PP) reforçados com fibra de juta curta e verificaram aumento significativo na resistência à tração do compósito contendo 40% em peso de fibra conforme o teor do foi aumentado. Em contrapartida, ocorreu decréscimo no módulo de elasticidade dos compósitos contendo mais de 1% de compatibilizante. Neste trabalho, optou-se por não se utilizar nenhum aditivo, mas trabalhos futuros poderiam investigar a influência de algum compatibilizante na resistência mecânica.

No geral, os resultados obtidos neste trabalho foram positivos, pois a incorporação das fibras de juta na matriz de ABS reciclado não ocasionou diminuição nos valores de resistência à tração e do módulo de elasticidade dos compósitos em relação à matriz.

5.3.3. Ensaio de impacto

Nas Figuras 29, 30 e 31 estão representados os corpos de prova com entalhe e sem entalhe do ABS reciclado e seus compósitos após o ensaio de impacto Izod, onde se observa que alguns corpos de prova sem entalhe não romperam após o ensaio de impacto. Além disso, é possível verificar a presença de fibras de juta fraturadas nos corpos de prova com entalhe e sem entalhe.

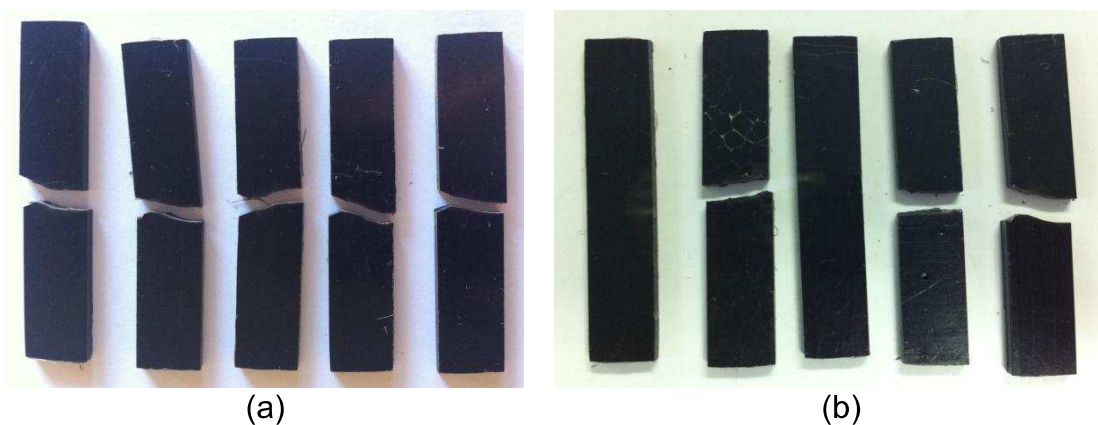


Figura 29 – Corpos de prova do ABS sem fibra: (a) com entalhe; (b) sem entalhe, após o ensaio de impacto.

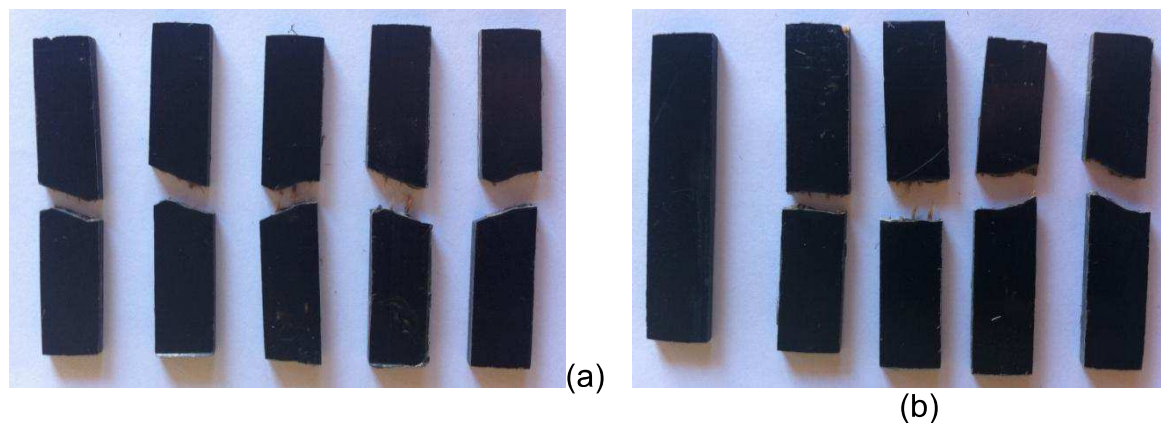


Figura 30 – Corpos de prova do ABS + 1 tecido de fibras de juta: (a) com entalhe; (b) sem entalhe, após o ensaio de impacto.

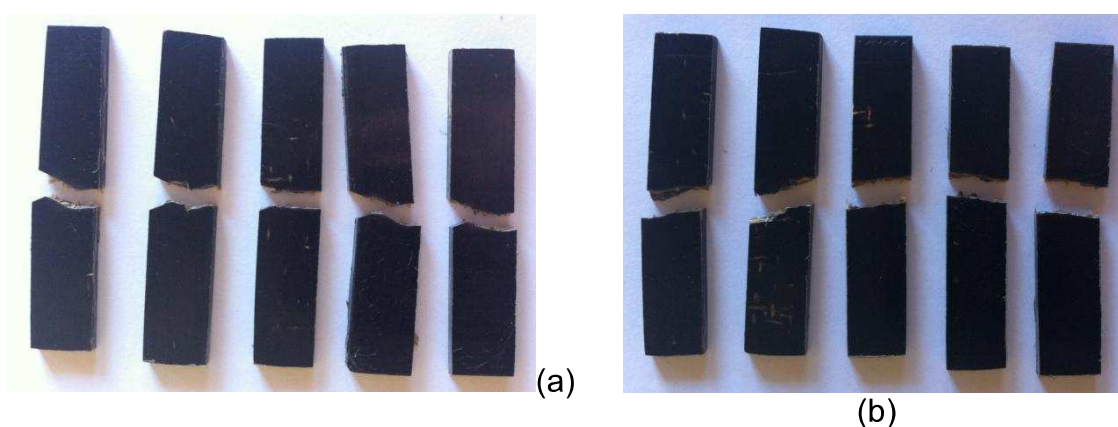


Figura 31 – Corpos de prova do ABS + 2 tecidos de fibra de juta: (a) com entalhe; (b) sem entalhe, após o ensaio de impacto.

A Tabela 8 e a Figura 32 apresentam os resultados obtidos no ensaio de impacto do ABS reciclado e seus compósitos dos corpos de prova sem entalhe.

Tabela 8 – Média e Desvio Padrão dos resultados do ensaio de impacto Izod dos corpos de prova sem entalhe.

Quantidade de tecidos de Juta	Energia absorvida (%) *	Resistência ao Impacto (J/m) *
0	72,76 ± 25,08 a	227,31 ± 78,39 a
1	59,41 ± 22,83 a	185,57 ± 71,31 a
2	59,54 ± 9,55 a	184,11 ± 28,33 a

* Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5% pelo teste de Tukey

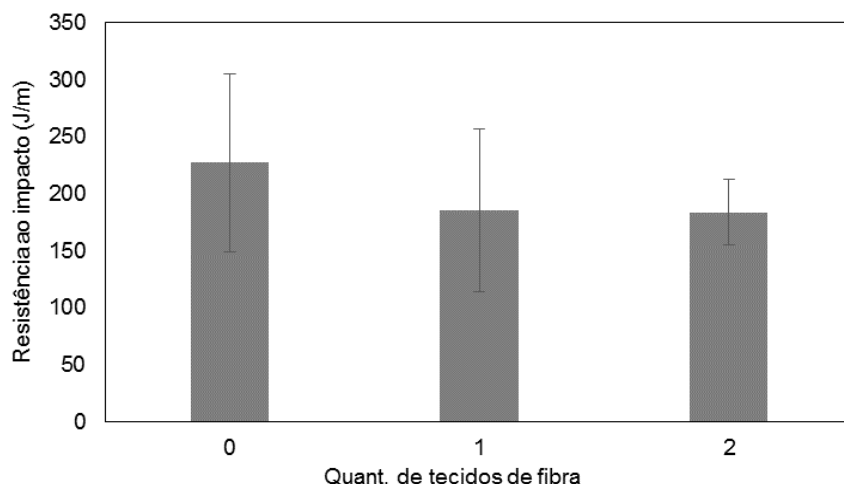


Figura 32 – Gráfico de resistência ao impacto do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecido de fibras de juta dos corpos de prova sem entalhe.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 8, seus respectivos valores de desvio padrão e teste de Tukey foi possível observar que, para os corpos de prova sem entalhe, não houve mudança significativa na resistência ao impacto dos compósitos em relação ao ABS reciclado sem fibra, o qual considera-se um resultado positivo, uma vez que estudos (FIRDAUS et al, 2013; SOMMERHUBER et al, 2015) apontam que a incorporação de fibras naturais em matriz de ABS ocasiona uma diminuição significativa na resistência ao impacto dos compósitos em relação à matriz.

Firdaus et al (2013) avaliaram a resistência ao impacto de compósitos híbridos de ABS contendo fibras de algodão e borracha moída nas proporções de 0, 5, 10 e 15% em peso em corpos de prova sem entalhe. Os resultados revelaram uma tendência de diminuição da resistência ao impacto à medida que as porcentagens de carga aumentaram. Já Sommerhuber et al (2015) estudaram compósitos de HDPE (polietileno de alto impacto) reciclado reforçado com partículas de madeira, no qual observaram queda na resistência ao impacto de corpos de prova sem entalhe. Esse comportamento pode ser atribuído à dificuldade de adesão interfacial entre a matriz e as partículas de madeira, decorrente de impurezas presentes na matriz polimérica de HDPE reciclado.

Os valores altos de desvio padrão das propriedades mecânicas dos compósitos contendo tecidos de fibras vegetais podem ser associados à natureza heterogênea das fibras de origem natural, e que também dependem das condições de cultivo, e processamento. (PIRES et al., 2012; ALVES FIDELIS et al., 2013). Essa heterogeneidade é uma desvantagem em relação às fibras sintéticas, uma vez que há uma dificuldade em obter compósitos com os mesmos valores de resistência mecânica. No caso deste trabalho, tais valores relativamente altos de desvio padrão podem ser mais facilmente observados nos resultados de corpos de prova não entalhados (Tabela 8) porque não há um concentrador de tensão, como no caso do entalhe, onde se inicia a trinca, seguida pela propagação da fratura. Desta forma, corpos de prova não entalhados, sob impacto, tendem a revelar mais a heterogeneidade de fibras vegetais quando utilizadas como reforço em compósitos, resultando em valores mais altos de desvio padrão.

Os materiais compósitos cujos corpos de prova foram entalhados, apresentados na Tabela 9, não revelaram mudança significativa na resistência ao impacto em comparação com a matriz de ABS reciclada com entalhe.

Tabela 9 – Média e Desvio Padrão dos resultados do ensaio de impacto Izod dos corpos de prova com entalhe.

Quantidade de tecidos de Juta	Energia absorvida (%) *	Resistência ao Impacto (J/m)*
0	27,47 ± 1,20 a	86,41 ± 3,76 a
1	33,47 ± 2,60 a	104,54 ± 8,14 a
2	32,18 ± 6,14 a	100,57 ± 19,11 a

* Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

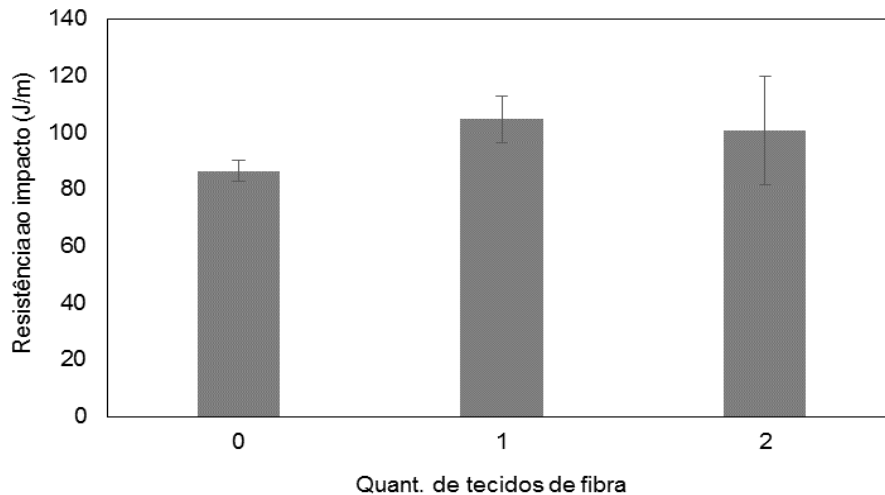


Figura 33 – Gráfico de resistência ao impacto do ABS reciclado sem fibra e dos respectivos compósitos de ABS reciclado contendo tecido de fibras de juta dos corpos de prova com entalhe

A fase elastomérica de butadieno presente no ABS também influencia na resistência ao impacto. Segundo Ito et al (2004), o butadieno é responsável pela resistência ao impacto dos materiais, então, quanto menor a quantidade da fase elastomérica, menor é a carga de impacto que o ABS suporta.

Analisando os dois grupos de corpos de prova entalhados e não entalhados (Tabelas 8 e 9; Figuras 32 e 33), é possível observar que os corpos de prova com entalhe demonstram menores valores na resistência ao impacto quando comparados aos não entalhados. Este comportamento já era esperado, pois os entalhes são concentradores de tensão e tendem a diminuir a capacidade de absorção de energia de impacto dos materiais.

Comportamento semelhante ocorreu no estudo de Yang *et al.* (2004) no qual foram analisadas propriedades mecânicas de impacto de compósitos de polipropileno (PP) com casca de arroz, utilizando corpos de prova sem entalhe e com entalhe. No caso dos corpos de prova sem entalhe foi observada baixa adesão interfacial devido à micro espaços na interface do PP com casca de arroz, provocando microfissuras durante o ensaio, e ocasionando menor resistência ao impacto dos compósitos em comparação com a matriz de PP sem casca de arroz. Já nos corpos de prova entalhados, houve uma maior concentração de tensão na região do entalhe, direcionando a fratura e minimizando a deformação plástica.

5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura

As Figuras 34 e 35 (a e b) apresentam imagem de MEVs obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) que revelam o aspecto da superfície de fratura de corpos de prova, após o ensaio de flexão da matriz ABS e dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta em diferentes ampliações.

A Figura 34 ilustra o aspecto típico da fratura de um dos corpos de prova do ABS reciclado ensaiado em flexão, no qual apresenta marcas da fratura e onde é possível verificar que a resina fundiu completamente.

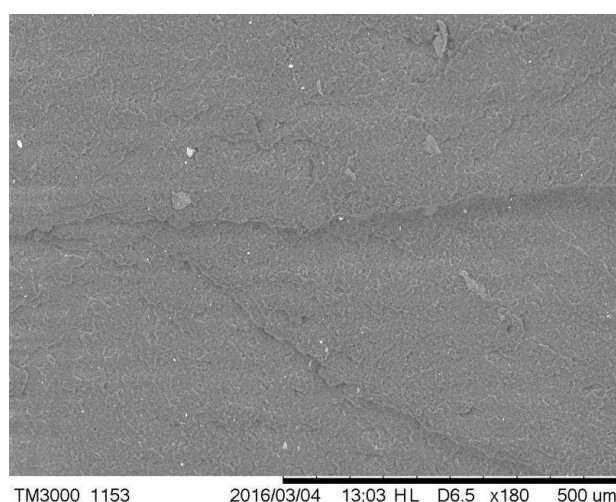


Figura 34 – Imagem de MEV da fratura do corpo de prova do ABS reciclado sem fibra ensaiado em flexão.

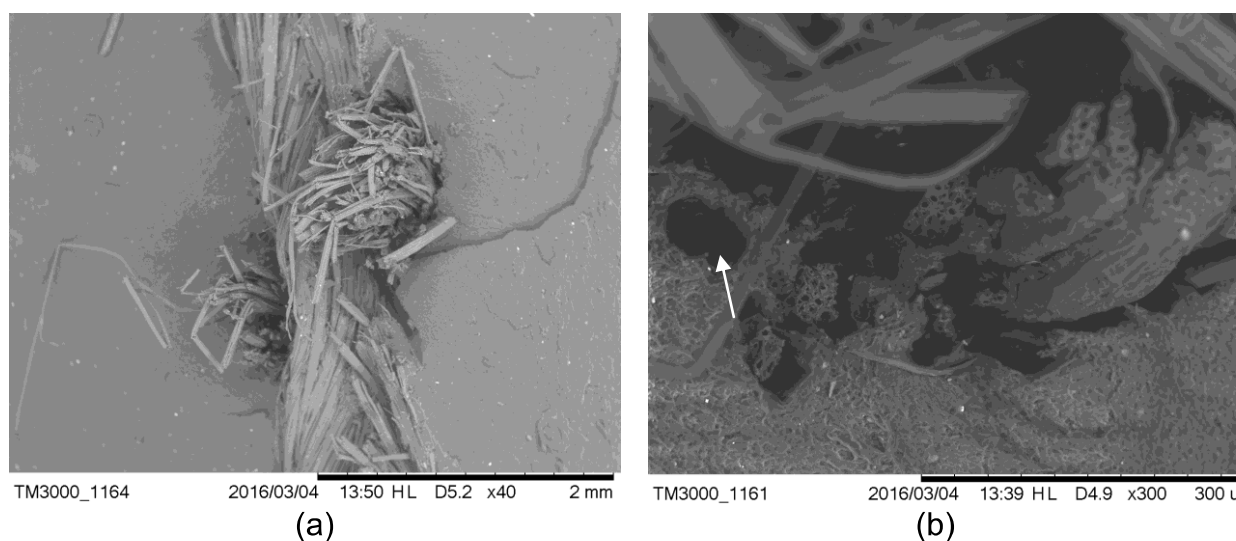
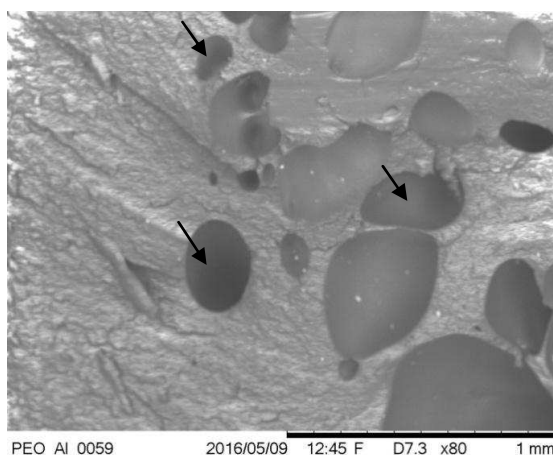


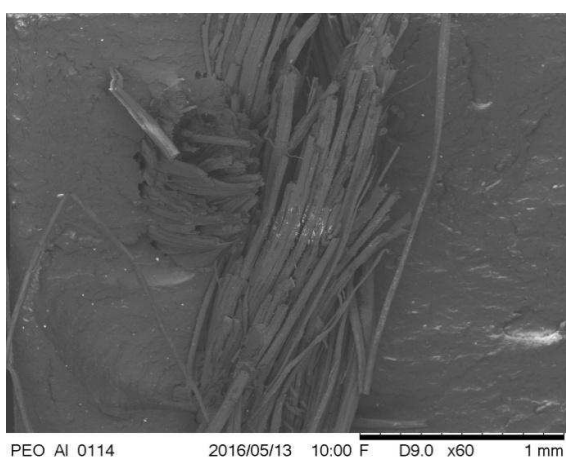
Figura 35 – Imagem de MEV da fratura de corpos de prova de compósitos contendo tecidos de fibras de juta, após ensaio de flexão. (a) 40x; (b) 300x

A partir da figura 35(a) é possível observar o tecido de fibras de juta bidirecional envolvido pela matriz de ABS reciclada, no qual nota-se que as fibras estão orientadas paralelamente e perpendicularmente em relação à superfície de fratura do corpo de prova. Neste trabalho, não é possível avaliar a dispersão da fibra pela matriz, já que se trata de um tecido e este se encontra no meio do corpo de prova. Na figura 35 (b) é possível verificar a dificuldade de a matriz envolver as fibras localizadas mais internamente.

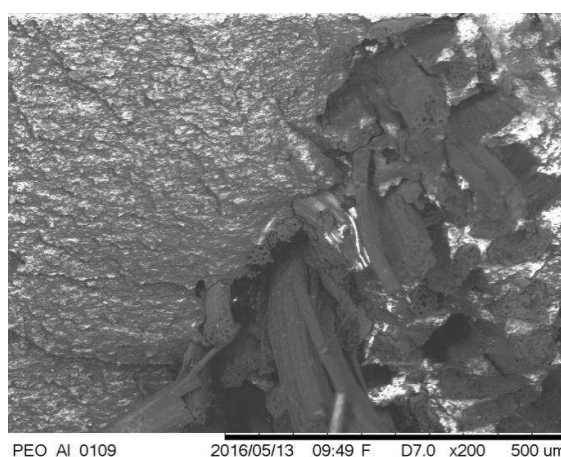
As Figuras 36 (a, b e c) apresentam imagens de MEV que revelam o aspecto da superfície de fratura de corpos de prova após o ensaio de tração do ABS reciclado e dos compósitos contendo uma e duas camadas de tecido de fibras de juta.



(a)



(b)



(c)

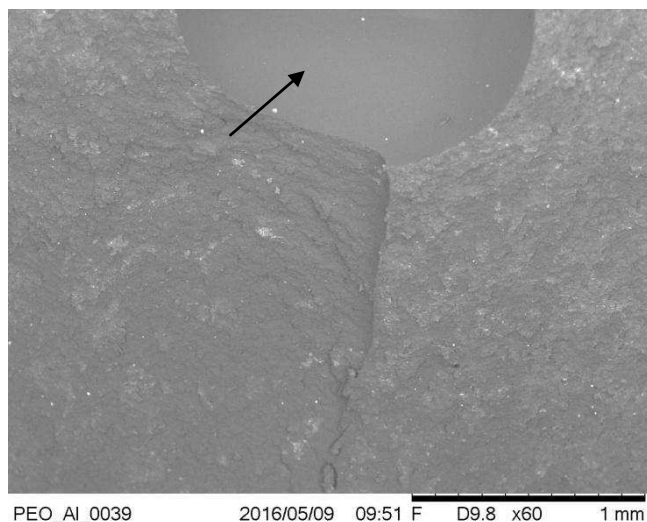
Figura 36 – Imagem de MEV da fratura de corpos de prova após o ensaio de tração: (a) ABS reciclado sem fibra; (b) compósito contendo uma camada de tecido de fibras de juta, (c) compósito contendo duas camadas de tecido de fibras de juta.

A partir das imagens de MEV da matriz de ABS (Figura 36a) é possível observar que a fratura do corpo de prova revela várias cavidades que podem ser atribuídas às bolhas geradas devido à emissão de voláteis que foram se formando durante o processo de moldagem da placa, e ficaram aprisionados na matriz polimérica. Como o material é reciclado, geralmente, contém diversos tipos aditivos que foram adicionados anteriormente, ou seja, durante a primeira fabricação das peças e componentes, o que facilita a geração de voláteis.

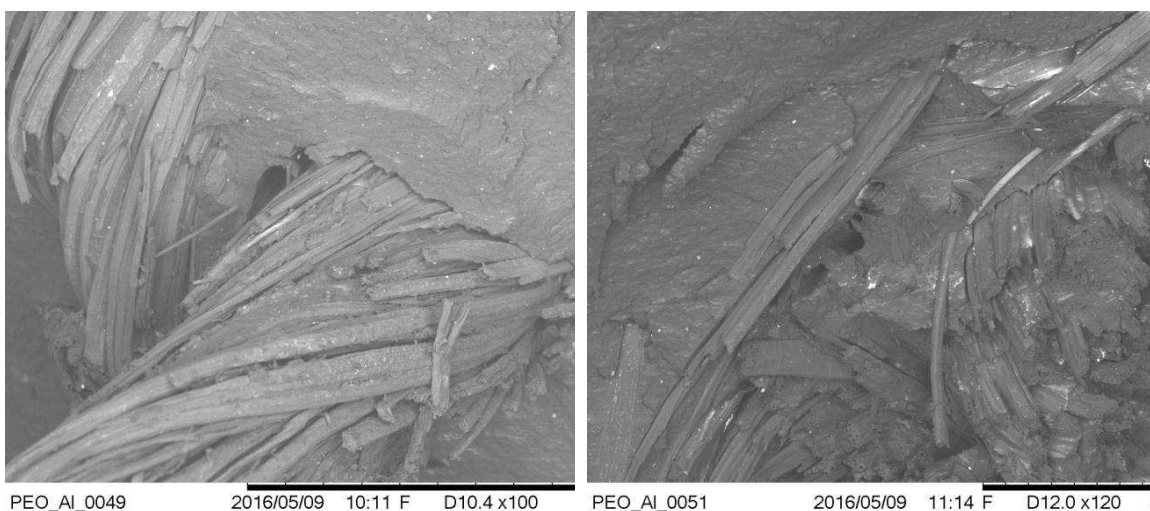
Ao contrário da matriz de ABS reciclada, nas imagens de MEV dos compósitos (Figuras 36a e 36b) não foram observadas a presença das cavidades resultantes da geração de voláteis durante o processamento. Isto pode estar relacionado ao fato que o tecido de fibras de juta auxiliou na melhoria no processamento, facilitando a saída dos voláteis da matriz polimérica, ou seja, os voláteis não ficaram aprisionados e não ocasionaram as cavidades no material.

A imagem por MEV do compósito de ABS reciclado contendo duas camadas de tecidos de fibra de juta (Figura 36c) exhibe a presença de feixes de fibras fraturados juntamente com a matriz. Também podem ser observados alguns espaços vazios devido ao arrancamento das fibras no ensaio mecânico de tração. Pode ser observado que há descolamento das fibras da matriz, devido a uma adesão interfacial menos intensa nestas regiões dos corpos de prova, o que justifica menor resistência à tração do compósito contendo duas camadas de tecidos de fibra de juta.

As Figuras 37 (a, b e c) apresentam imagens de MEV que revelam o aspecto da superfície de fratura de corpos de prova após o ensaio de impacto Izod do ABS reciclado e dos compósitos contendo uma e duas camadas de tecido de fibras de juta.



(a)



(b)

(c)

Figura 37 – Imagem de MEV da fratura após ensaio de impacto de corpos de prova (com entalhe): (a) ABS reciclado sem fibra; (b) compósito contendo uma camada de tecido de fibras de juta e (c) compósito contendo duas camadas de tecido de fibras de juta.

Na Figura 37(a) é possível observar a presença de cavidade na matriz reciclada, decorrente da emissão de voláteis aprisionados durante o processo de moldagem. Além disso, observam-se as marcas resultantes do processo de ruptura do corpo de prova.

A Figura 38 ilustra a sessão transversal da fibra de juta do compósito após o ensaio de flexão observado por MEV.

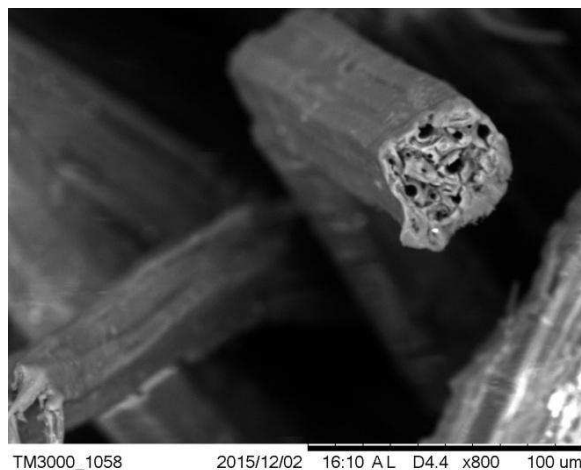


Figura 38 – Imagem de MEV da sessão transversal de fibras do tecido de fibra de juta do compósito de ABS reciclado contendo duas camadas do tecido de fibras de juta após o ensaio de flexão.

A partir da Figura 38 pode ser observado que a fibra de juta é caracterizada por uma sessão transversal de geometria circular, onde a superfície longitudinal é irregular.

Diferentemente dos resultados obtidos, Ferreira *et al.* (2016) destaca que as fibras de juta são caracterizadas por uma sessão transversal de geometria irregular de forma que a área da sessão transversal varia ao longo do seu eixo longitudinal. Isso se deve ao fato que as fibras vegetais possuem grande variedade em relação às suas características morfológicas e, conseqüentemente, pode influenciar o seu comportamento mecânico quando incorporado à matriz. Isso corrobora com a variação do desvio padrão obtido nos ensaios mecânicos (discutidos anteriormente), que pode ser atribuído à variação da característica morfológica da fibra de juta.

6. CONCLUSÕES

Os resultados do índice de fluidez inferem que a incorporação das fibras de juta solucionaria a baixa viscosidade do material, alcançando valores semelhantes ao índice de fluidez de um material virgem.

Na termogravimetria foi possível verificar que houve redução na temperatura de degradação dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta em relação ao ABS sem fibras. Entretanto, alguns processos possibilitam que os compósitos sejam moldados adequadamente, já que em alguns casos a temperatura de moldagem não ultrapassa 250°C, como por exemplo, a moldagem por compressão a quente.

Além disso, a incorporação de tecidos de fibra de juta nos compósitos ocasionou melhora em algumas propriedades mecânicas como em flexão e tração em relação ao ABS reciclado, um fator atrativo dependendo da aplicação do material como, por exemplo, em produtos como painéis, móveis, solado de calçados e componentes automotivos.

Portanto, existe a possibilidade de reintroduzir materiais que seriam descartados na cadeia produtiva, de forma que não ocorra agressão ao meio ambiente, à saúde do trabalhador e, ainda sim, obtendo materiais que atendam às necessidades de cada projeto para um determinado produto. A utilização das fibras naturais em compósitos poliméricos está se tornando uma forte tendência no mercado de compósitos a fim de diminuir os impactos causados pelas fibras sintéticas, principalmente as de vidro.

Além disso, a reciclagem do ABS proveniente de REEE apresenta viabilidade do ponto de vista ambiental e tecnológico já que o reprocessamento da matriz reciclada para a produção de outros produtos resulta em menores volumes de resíduos descartados no meio ambiente e, por ser um termoplástico, pode ser facilmente processado por métodos relativamente simples como à compressão a quente.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Variação de pressão de moldagem de compósitos e alívio de pressão.
- Comparação os resultados obtidos na termogravimetria e ensaios mecânicos com o ABS virgem para analisar possíveis diferenças.
- Avaliação dos efeitos de vários ciclos de reprocessamento e do envelhecimento do ABS reciclado nas propriedades físicas, térmicas e mecânicas do material.
- Uso de compatibilizantes ou aditivos.
- Realização de fratura criogênica dos materiais e análises por MEV.

8. REFERÊNCIAS

ALVES FIDELIS, M.E.; PEREIRA, T.V.C.; GOMES, O. da F.M.; DE ANDRADE SILVA, F.; TOLEDO FILHO, R.D. The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 2, n. 2, p. 149–157, abr. 2013.

ARAÚJO, M. G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C. F.; BILITEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, v. 32, n. 2, p. 335–342, fev. 2012.

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D790 Standard Test Methods: Flexural properties of unreinforced and Reinforced plastics and electrical insulating materials. United States, 2002.

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D3039/D3039M Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Pennsylvania, 2008

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D256 - 10e1 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Pennsylvania, 2010.

BAI, X.; ISAAC, D. h.; SMITH, K. Reprocessing Acrylonitrile–butadiene–styrene Plastics: Structure–property Relationships. *Polymer Engineering & Science*, v.47, n. 2, p. 120–130, fev. 2007.

BALDÉ, C.P.; Wang, F.; Kuehr, R.; Huisman, J. The global e-waste monitor — 2014. Bonn, Germany: United Nations University, IAS – SCYCLE, 2015. Disponível em: (<http://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-small.pdf>). Acesso em: 24 abr. 2016.

BHUTTA, M. K. S.; OMAR, A.; YANG, X. Electronic Waste: A Growing Concern in Today's Environment. *Economics Research International*, v. 2011, p. 1–9, jun. 2011.

BIGUM, M.; BROGAARD, L.; CHRISTENSEN, T. H. Metal recovery from high-grade WEEE: A life cycle assessment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 207–208, p. 8–14, mar. 2012.

BLEDZKI, A. K.; FARUK, O.; SPERBER, V. E. Cars from Bio-Fibres. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 291, n. 5, p. 449–457, abr. 2006.

BLEDZKI, A. K.; FRANCISZCZAK, P.; OSMAN, Z.; ELBADAWI, M. Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers. *Industrial Crops and Products*, v. 70, p. 91–99, ago. 2015.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, v. 24, n. 2, p. 221–274, maio 1999.

BLOM, H.; YEH, R.; WOJNAROWSKI, R.; LING, M. Detection of Degradation of ABS Materials via DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 83, n. 1, p. 113–115, 3 fev. 2006.

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Brasília – DF, 2010

BRENNAN, L. B.; ISAAC, D. H.; ARNOLD, J. C. Recycling of Acrylonitrile–butadiene–styrene and High-Impact Polystyrene from Waste Computer Equipment. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 86, n. 3, p. 572–578, 17 out. 2002.

CALLISTER, W. D. Jr. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC Editora, 707 p., 2008.

CAMPOLINA, J.M; SIGRST, C.S.L; PAIVA, J.M.F; NUNES, A.O; MORIS, V.A.S. A study on the environmental aspects of WEEE plastic recycling in a Brazilian company. *Int J Life Cycle Assess.* 2017 DOI: 10.1007/s11367-017-1282-2

CAMPOS, H. K. T. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, SI:Packaging Waste Recycling. v. 85, p. 130–138, abr. 2014.

CANEVAROLO Jr., S.V. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogo e engenheiros. 3ª Ed. São Paulo: Artliber Editora, 280 p., 2010.

CARUS, M. et al. Wood–plastic composites (WPC) and natural fibre composites (NFC): European and Global Markets 2012 and future trends. Nova Institute, Germany, 2014. Disponível em: <[www.nova-institut.de/ download/market_study_wpc_nfc_short_version](http://www.nova-institut.de/download/market_study_wpc_nfc_short_version)> Acesso em jan. 2017.

CHANCEREL, P.; ROTTER, S. Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment. *Waste Management*, v. 29, n. 8, p. 2336–2352, ago. 2009.

CUI, J.; FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 99, n. 3, p. 243–263, 30 maio 2003.

CUI, Y.; LEE, S.; NORUZIAAN, B.; CHEUNG, M.; TAO, J. Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 39, n. 4, p. 655–661, abr. 2008.

DÍEZ-PASCUAL, A. M.; GASCÓN, D. Carbon Nanotube Buckypaper Reinforced Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Composites for Electronic Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, v. 5, n. 22, p. 12107–12119, nov. 2013.

EGUIAZÁBAL, J. I.; NAZÁBAL, J. Reprocessing Polycarbonate/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Blends: Influence on Physical Properties. *Polymer Engineering & Science*, v. 30, n. 9, p. 527–531, maio 1990.

ESSABIR, H.; BOUJMAL, R.; BENSALAH, M. O.; RODRIGUE, D.; BOUHFD, R.; QAISS, A. el kacem. Mechanical and thermal properties of hybrid composites: Oil-palm fiber/clay reinforced high density polyethylene. *Mechanics of Materials*, v. 98, p. 36–43, jul. 2016.

ESSABIR, H.; ELKHAOUANI, A.; BENMOUSSA, K.; BOUHFD, R.; ARRAKHIZ, F. Z.; QAISS, A. Dynamic mechanical thermal behavior analysis of doum fibers reinforced polypropylene composites. *Materials & Design*, v. 51, p. 780–788, out. 2013.

FERREIRA, S. R.; MARTINELLI, E.; PEPE, M.; DE ANDRADE SILVA, F.; TOLEDO FILHO, R. D. Inverse identification of the bond behavior for jute fibers in cementitious matrix. *Composites Part B: Engineering*, v. 95, p. 440–452, jun. 2016.

FIRDAUS, S.M., NURDINA, AZMIL ARIFF, M. Impact strength on fiber-reinforced hybrid composite. *Materials Science and Engineering*, v. 50, p. 1-5, 2013

FOELSTER, A.-S.; ANDREW, S.; KROEGER, L.; BOHR, P.; DETTMER, T.; BOEHME, S.; HERRMANN, C. Electronics recycling as an energy efficiency measure – a Life Cycle Assessment (LCA) study on refrigerator recycling in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 129, p. 30–42, ago. 2016.

GERBASE, A. E.; OLIVEIRA, C. R. de. Recycling of e-waste: an opportunity for chemistry. *Química Nova*, v. 35, n. 7, p. 1486–1492, 2012.

GOULART, S. A. S.; OLIVEIRA, T. A.; TEIXEIRA, A.; MILÉO, P. C.; MULINARI, D. R. Mechanical Behaviour of Polypropylene Reinforced Palm Fibers Composites. *Procedia Engineering*, v. 10, p. 2034–2039, jan. 2011.

GRANT, K.; GOLDIZEN, F. C.; SLY, P. D.; BRUNE, M.-N.; NEIRA, M.; VAN DEN BERG, M.; NORMAN, R. E. Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. **The Lancet Global Health**, v. 1, n. 6, p. e350–e361, dez. 2013.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 77, p. 1–25, out. 2015.

HIRAYAMA, D.; SARON, C. Characterisation of Recycled Acrylonitrile-Butadiene-Styrene and High-Impact Polystyrene from Waste Computer Equipment in Brazil. *Waste Management & Research*, p. 1–7, maio 2015.

HOJO, T.; XU, Z.; YANG, Y.; HAMADA, H. Tensile Properties of Bamboo, Jute and Kenaf Mat-reinforced Composite. *Energy Procedia*, v. 56, p. 72–79, jan. 2014.

HOMMA, A.K.O. A imigração japonesa na Amazônia: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. *Somanlu*, ano 9, n. 1, jan./jun. 2009

HOSSAIN, M. K.; DEWAN, M. W.; HOSUR, M.; JEELANI, S. Effect of Surface Treatment and Nanoclay on Thermal and Mechanical Performances of Jute Fabric/Biopol “gREEEEn” Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 30, n. 22, p. 1841–1856, nov. 2011.

HU, D.; XING, Y.; CHEN, M.; GU, B.; SUN, B.; LI, Q. Ultrastrong and excellent dynamic mechanical properties of carbon nanotube composites. *Composites Science and Technology*, v. 141, p. 137–144, mar. 2017.

ISO - International Organization for Standardization - ISO 1133 -Plastics determination of the melt mass-flow rate (MFR) and melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics — Part 1: Standard method, 2011

ITO, E. N.; PESSAN, L. A.; HAGE JR., E.; COVAS, J. A. Analysis of the morphological development of PBT/ABS blends during the extrusion and injection molding processes. *Polímeros*, v. 14, n. 2, p. 83–92, jun. 2004.

JAWAID, M.; ABDUL KHALIL, H. P. S. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 86, n. 1, p. 1–18, ago. 2011.

JOSHI, S. V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; ARORA, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. v. 35, n. 3, p. 371–376, mar. 2004.

JÚNIOR, J. S.; JÚNIOR, N. B.; HEMKEMEIER, M. Aspectos ambientais da substituição de componentes em fibra de vidro por componentes e ABS (acrilonitrila butadieno estireno) em uma indústria de produção de carrocerias de ônibus. *Ciência & Engenharia*, v. 23, n. 2, p. 33–38, fev. 2015.

KAHHAT, R.; KIM, J.; XU, M.; ALLENBY, B.; WILLIAMS, E.; ZHANG, P. Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, n. 7, p. 955–964, maio 2008.

KHAN, G. M. A.; TERANO, M.; GAFUR, M. A.; ALAM, M. S. Studies on the mechanical properties of woven jute fabric reinforced poly(l-lactic acid) composites. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, v. 28, n. 1, p. 69–74, jan. 2016.

KORONIS, G.; SILVA, A.; FONTUL, M. GREEEn composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites Part B: Engineering*, v. 44, n. 1, p. 120–127, jan. 2013.

KUO, C.-C.; LIU, L.-C.; TENG, W.-F.; CHANG, H.-Y.; CHIEN, F.-M.; LIAO, S.-J.; KUO, W.-F.; CHEN, C.-M. Preparation of starch/acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS) biomass alloys and their feasible evaluation for 3D printing applications. *Composites Part B: Engineering*, v. 86, p. 36–39, fev. 2016.

LEE, S.-H.; WANG, S. Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 37, n. 1, p. 80–91, jan. 2006.

LI, Y.; HU, C.; YU, Y. Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 39, n. 4, p. 570–578, abr. 2008.

LIMA, A. C. Caracterização e propriedades de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado. 2009. 113f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2009.

MA, C.; YU, J.; WANG, B.; SONG, Z.; XIANG, J.; HU, S.; SU, S.; SUN, L. Chemical recycling of brominated flame retarded plastics from e-waste for clean fuels production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 61, p. 433–450, ago. 2016.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Development of polymeric composites with natural fibers: a contribution to the sustainability of Amazon. *Polímeros*, v. 18, n. 2, p. 92–99, jun. 2008.

MARTINHO, G.; PIRES, A.; SARAIVA, L.; RIBEIRO, R. Composition of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling. *Waste Management*, v. 32, n. 6, p. 1213–1217, jun. 2012.

MARTINS, J. N.; KLOHN, T. G.; BIANCHI, O.; FIORIO, R.; FREIRE, E. Dynamic Mechanical, Thermal, and Morphological Study of ABS/Textile Fiber Composites. *Polymer Bulletin*, v. 64, n. 5, p. 497–510, nov. 2009.

MENAD, N.; GUIGNOT, S.; VAN HOUWELINGEN, J. A. New characterisation method of electrical and electronic equipment wastes (WEEE). *Waste Management*, v. 33, n. 3, p. 706–713, mar. 2013.

MENIKPURA, S. N. M.; SANTO, A.; HOTTA, Y. Assessing the climate co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) recycling in Japan. *Journal of Cleaner Production*, v. 74, p. 183–190, jul. 2014.

MISHRA, V.; BISWAS, S. Physical and Mechanical Properties of Bi-directional Jute Fiber Epoxy Composites. *Procedia Engineering*, v. 51, p. 561–566, jan. 2013.

MONTEIRO, S. N.; TERRONES, L. A. H.; CAMERINI, A. L.; PETRUCCI, L. J. T.; D'ALMEIDA, J. R. M. Properties of composites made of discarded jute sackcloth reinforcing recycled polyethylene matrix. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 11, n. 4, p. 403–411, dez. 2006.

NEHER, B.; BHUIYAN, M. M. R.; KABIR, H.; QADIR, M. R.; GAFUR, M. A.; AHMED, F. Study of Mechanical and Physical Properties of Palm Fiber Reinforced Acrylonitrile Butadiene Styrene Composite. *Materials Sciences and Applications*, v. 2014, jan. 2014.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. Compósitos estruturais ciência e tecnologia. 1ª ed., São Paulo: Edgard Blucher, 336 p., 2006

NING, H.; VAIDYA, U.; JANOWSKI, G. M.; HUSMAN, G. Design, manufacture and analysis of a thermoplastic composite frame structure for mass transit. *Composite Structures*, v. 80, n. 1, p. 105–116, set. 2007.

OECD. Extended producer responsibility. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2001.

OLIVEIRA, C. R. de; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. *Waste Management*, v. 32, n. 8, p. 1592–1610, ago. 2012.

ONGONDO, F. O.; WILLIAMS, I. D.; CHERRETT, T. J. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management*, v. 31, n. 4, p. 714–730, abr. 2011.

ORLINS, S.; GUAN, D. China's toxic informal e-waste recycling: local approaches to a global environmental problem. *Journal of Cleaner Production*, v. 114, p. 71–80, fev. 2016.

OZEN, E.; KIZILTAS, A.; KIZILTAS, E. E.; GARDNER, D. J. Natural Fiber Blend—nylon 6 Composites. *Polymer Composites*, v. 34, n. 4, p. 544–553, abr. 2013.

PACHECO, E. B. A. V.; RONCHETTI, L. M.; MASANET, E. An overview of plastic recycling in Rio de Janeiro. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 60, p. 140–146, mar. 2012.

PANAITESCU, D. M.; NICOLAE, C. A.; VULUGA, Z.; VITELARU, C.; SANPOREAN, C. G.; ZAHARIA, C.; FLOREA, D.; VASILIEVICI, G. Influence of hemp fibers with modified surface on polypropylene composites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 37, p. 137–146, maio 2016.

PANDEY, J. K.; NAGARAJAN, V.; MOHANTY, A. K.; MISRA, M. Commercial potential and competitiveness of natural fiber composites. In: *Biocomposites*. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. [s.l.] Woodhead Publishing, p. 1–15, 2015.

PÉREZ, J. M.; VILAS, J. L.; LAZA, J. M.; ARNÁIZ, S.; MIJANGOS, F.; BILBAO, E.; LEÓN, L. M. Effect of Reprocessing and Accelerated Weathering on ABS Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 18, n. 1, p. 71–78, mar. 2010.

PERKINS, D. N.; BRUNE DRISSE, M.-N.; NXELE, T.; SLY, P. D. E-Waste: A Global Hazard. *Annals of Global Health*, v. 80, n. 4, p. 286–295, jul. 2014.

PICKERING, K. L.; EFENDY, M. G. A.; LE, T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Special Issue on Biocomposites. v. 83, p. 98–112, abr. 2016.

PIRES, E. N.; MERLINI, C.; AL-QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O. The influence of alkaline treatment on jute fiber- reinforced epoxy resin composite. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 339–344, 2012.

RAMESH, M.; PALANIKUMAR, K.; REDDY, K. H. Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites. *Composites Part B: Engineering*, v. 48, p. 1–9, mai. 2013.

RANA, A. K.; MANDAL, A.; BANDYOPADHYAY, S. Short jute fiber reinforced polypropylene composites: effect of compatibiliser, impact modifier and fiber loading. *Composites Science and Technology*, v. 63, n. 6, p. 801–806, maio 2003.

RANGANATHAN, N.; OKSMAN, K.; NAYAK, S. K.; SAIN, M. Regenerated Cellulose Fibers as Impact Modifier in Long Jute Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Effect on Mechanical Properties, Morphology, and Fiber Breakage. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 132, n. 3, p. 1–10, jan. 2015.

RAVI, V. Evaluating overall quality of recycling of e-waste from end-of-life computers. *Journal of Cleaner Production*, v. 20, n. 1, p. 145–151, jan. 2012.

ROBINSON, B. H. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Science of The Total Environment*, v. 408, n. 2, p. 183–191, dez. 2009.

ROCHA, G. et al. Diagnosis of Waste Electric and Electronic Equipment Generation in the State of Minas Gerais. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Governo Minas, Minas Gerais, Brazil, 2009. Disponível em : http://ewasteguide.info/Rocha_2009 Acesso em: 14 mai. 2016.

SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. Unsaturated polyester resin composite with sugar cane bagasse: influence of treatment on the fibers properties. *Polímeros*, v. 20, n. 3, p. 194–200, set. 2010.

SANJAY, M. R.; ARPITHA, G. R.; NAIK, L. L.; GOPALAKRISHNA, K.; YOGESHA, B. Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural Resources*, v. 07, n. 03, p. 108, mar. 2016.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H. de; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potential of sugarcane straw for ethanol production. *Química Nova*, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012.

SÃO PAULO, Lei Nº 13.576, de 06 de julho de 2009 - Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico, São Paulo, SP, 2009

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 38, n. 7, p. 1694–1709, jul. 2007.

SCAFFARO, R.; BOTTA, L.; DI BENEDETTO, G. Physical properties of virgin-recycled ABS blends: Effect of post-consumer content and of reprocessing cycles. *European Polymer Journal*, v. 48, n. 3, p. 637–648, mar. 2012.

SEVER, K.; ERDEN, S.; GÜLEC, H. A.; SEKI, Y.; SARIKANAT, M. Oxygen plasma treatments of jute fibers in improving the mechanical properties of jute/HDPE composites. *Materials Chemistry and Physics*, v. 129, n. 1–2, p. 275–280, set. 2011.

SHIN, Y. J.; HAM, Y. R.; KIM, S. H.; LEE, D. H.; KIM, S. B.; PARK, C. S.; YOO, Y. M.; KIM, J. G.; KWON, S. H.; SHIN, J. S. Application of cyclophosphazene derivatives as flame retardants for ABS. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 16, n. 3, p. 364–367, maio 2010.

SIDDIQUE, R.; KHATIB, J.; KAUR, I. Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*, v. 28, n. 10, p. 1835–1852, 2008.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Applications of lignocellulosic fibers in polymer chemistry and in composites. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 661–671, 2009.

SOMMERHUBER, P. F.; WELLING, J.; KRAUSE, A. Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood–Plastic Composites. *Waste Management*, v. 46, p. 76–85, dez. 2015.

SONG, Q.; LI, J. A review on human health consequences of metals exposure to e-waste in China. *Environmental Pollution*, v. 196, p. 450–461, jan. 2015.

SRINIVASA, V. et al. Fracture Morphology of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composite Laminates. *Materials Research*. v.13, n. 3: 417-424, 2010

STANCIU, M. D.; CURTU, I.; COSEREANU, C.; LICA, D. Soundproofing Performance Evaluation of Panels Made of Fibers of Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer (ABS). *Procedia Technology*, v. 19, p. 260–267, jan. 2015.

STENVALL, E.; TOSTAR, S.; BOLDIZAR, A.; FOREMAN, M. R. S.; MÖLLER, K. An analysis of the composition and metal contamination of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Waste Management*, v. 33, n. 4, p. 915–922, abr. 2013.

SUHARTY, N. S.; ISMAIL, H.; DIHARJO, K.; HANDAYANI, D. S.; FIRDAUS, M. Effect of Kenaf Fiber as a Reinforcement on the Tensile, Flexural Strength and Impact Toughness Properties of Recycled Polypropylene/Halloysite Composites. *Procedia Chemistry*, v. 19, p. 253–258, 2016.

SUN, Z.; SHEN, Z.; ZHANG, X.; MA, S. Co-recycling of acrylonitrile–butadiene–styrene waste plastic and nonmetal particles from waste printed circuit boards to manufacture reproduction composites. *Environmental Technology*, v. 36, n. 2, p. 160–168, jan. 2015.

TANSKANEN, P. Management and recycling of electronic waste. *Acta Materialia*, v. 61, n. 3, p. 1001–1011, fev. 2013.

TARANTILI, P. A.; MITSAKAKI, A. N.; PETOUSSI, M. A. Processing and properties of engineering plastics recycled from waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Polymer Degradation and Stability*, v. 95, n. 3, p. 405–410, mar. 2010.

TAURINO, R.; POZZI, P.; ZANASI, T. Facile characterization of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) for mechanical recycling. *Waste Management*, v. 30, n. 12, p. 2601–2607, dez. 2010.

TORRES, F. G.; CUBILLAS, M. L. Study of the interfacial properties of natural fibre reinforced polyethylene. *Polymer Testing*, v. 24, n. 6, p. 694–698, set. 2005.

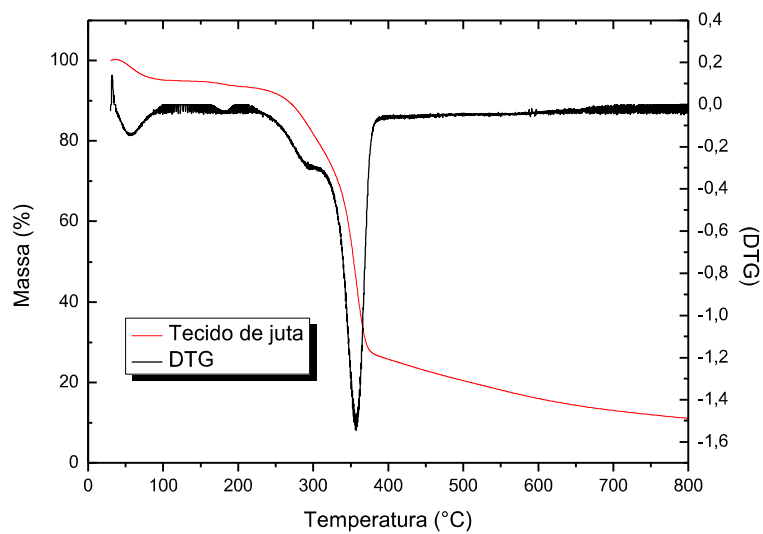
TURKU, I.; KESKISAARI, A.; KÄRKI, T.; PUURTINEN, A.; MARTTILA, P. Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends. *Composite Structures*, v. 161, p. 469–476, fev. 2017.

VAZQUEZ, Y. V.; BARBOSA, S. E. Recycling of mixed plastic waste from electrical and electronic equipment. Added value by compatibilization. *Waste Management*, v. 53, p. 196–203, jul. 2016.

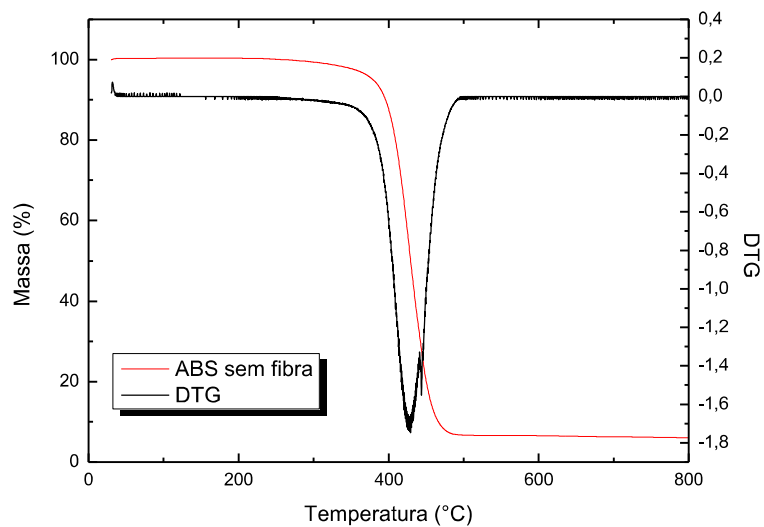
VEIT, H. M.; OLIVEIRA, E. de; RICHTER, G.; VEIT, H. M.; OLIVEIRA, E. de; RICHTER, G. Thermal processes for lead removal from the funnel glass of CRT monitors. *Revista Escola de Minas*, v. 68, n. 3, p. 287–294, set. 2015.

WAGNER, T. P. Shared responsibility for managing electronic waste: A case study of Maine, USA. *Waste Management*, v. 29, n. 12, p. 3014–3021, dez. 2009.

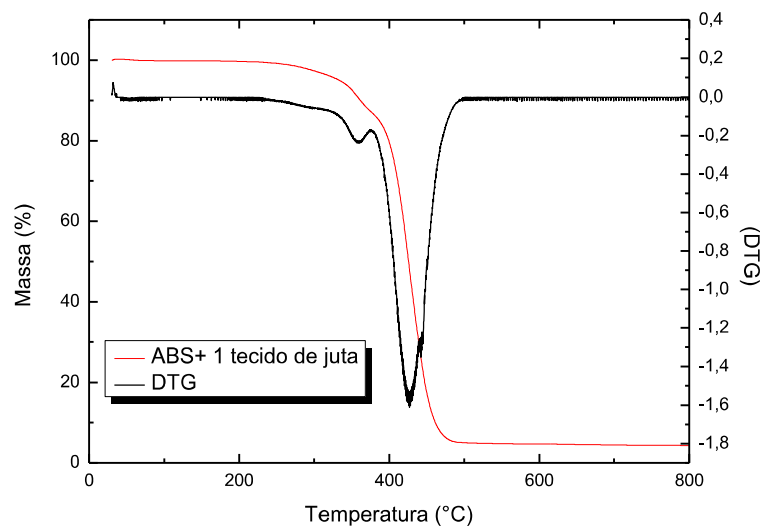
- WANG, J.; LI, Y.; SONG, J.; HE, M.; SONG, J.; XIA, K. Recycling of acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) copolymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE), through using an epoxy-based chain extender. *Polymer Degradation and Stability*, v. 112, p. 167–174, fev. 2015.
- WENG, Z.; WANG, J.; SENTHIL, T.; WU, L. Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials & Design*, v. 102, p. 276–283, jul. 2016.
- WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BÖNI, H. Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 25, n. 5, p. 436–458, jul. 2005.
- XIE, X.; ZHOU, Z.; JIANG, M.; XU, X.; WANG, Z.; HUI, D. Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. *Composites Part B: Engineering*, v. 78, p. 153–161, set. 2015.
- YAN, L.; KASAL, B.; HUANG, L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B: Engineering*, v. 92, p. 94–132, maio 2016.
- YANG, H.-S.; KIM, H.-J.; SON, J.; PARK, H.-J.; LEE, B.-J.; HWANG, T.-S. Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. *Composite Structures*, v. 63, n. 3–4, p. 305–312, fev. 2004
- YANG, S.; RAFAEL CASTILLEJA, J.; BARRERA, E. V.; LOZANO, K. Thermal analysis of an acrylonitrile–butadiene–styrene/SWNT composite. *Polymer Degradation and Stability*, v. 83, n. 3, p. 383–388, mar. 2004
- YU, J.; SUN, L.; MA, C.; QIAO, Y.; YAO, H. Thermal degradation of PVC: A review. *Waste Management*, v. 48, p. 300–314, fev. 2016.
- ZHAI, Z.; GRÖSCHEL, C.; DRUMMER, D. Tensile behavior of quasi-unidirectional glass fiber/polypropylene composites at room and elevated temperatures. *Polymer Testing*, v. 54, p. 126–133, set. 2016.

ANEXO A: Curvas TG e DTG de cada material

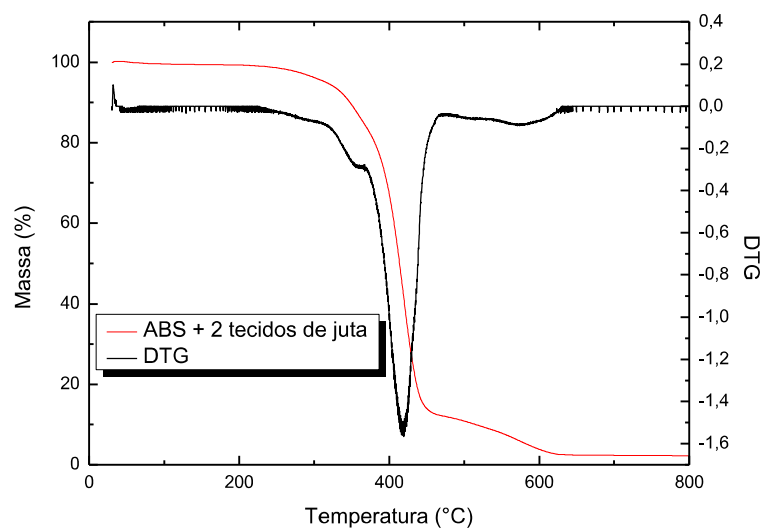
Curvas da TG/DTG do tecido de fibras de juta



Curvas da TG/DTG do ABS sem fibras

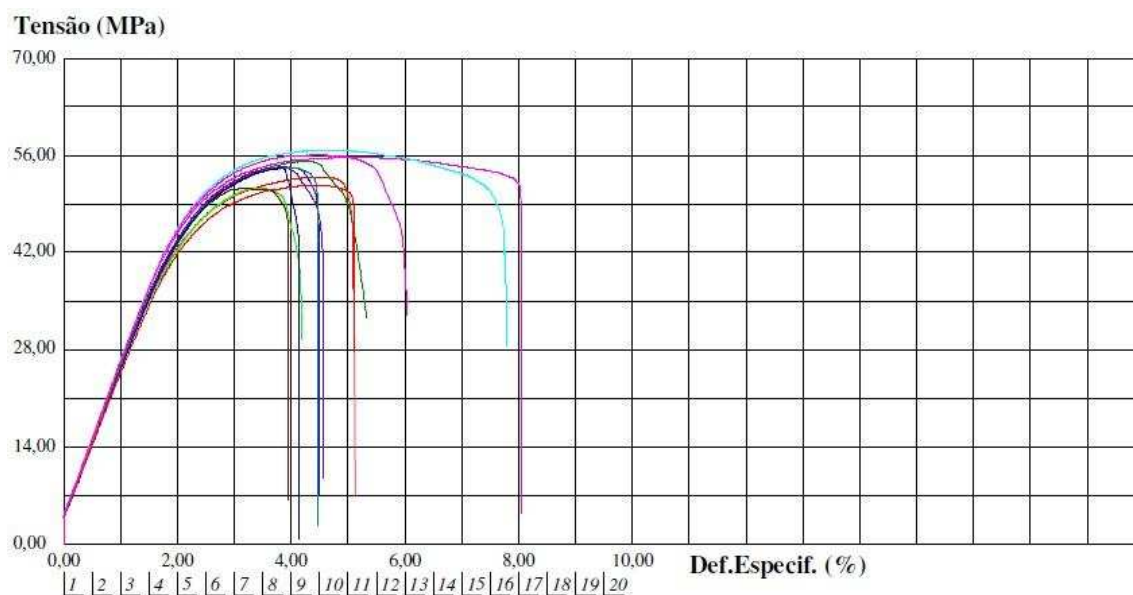


Curvas da TG/DTG do compósito de ABS reciclado contendo uma camada de tecido de fibras de juta

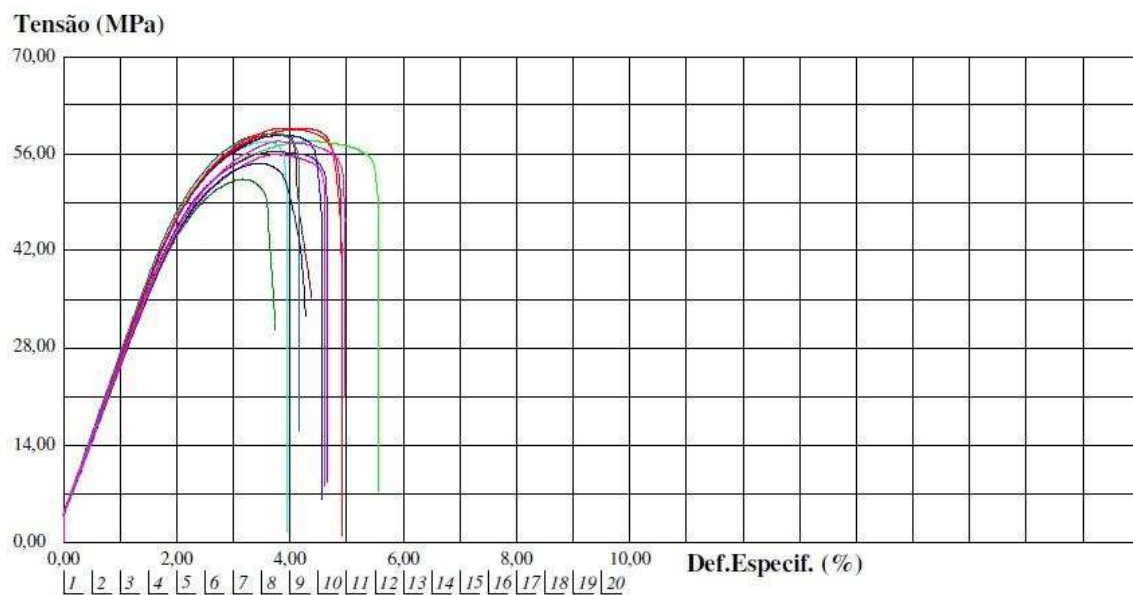


Curvas da TG/DTG do compósito de ABS reciclado contendo duas camadas de tecido de fibras de juta

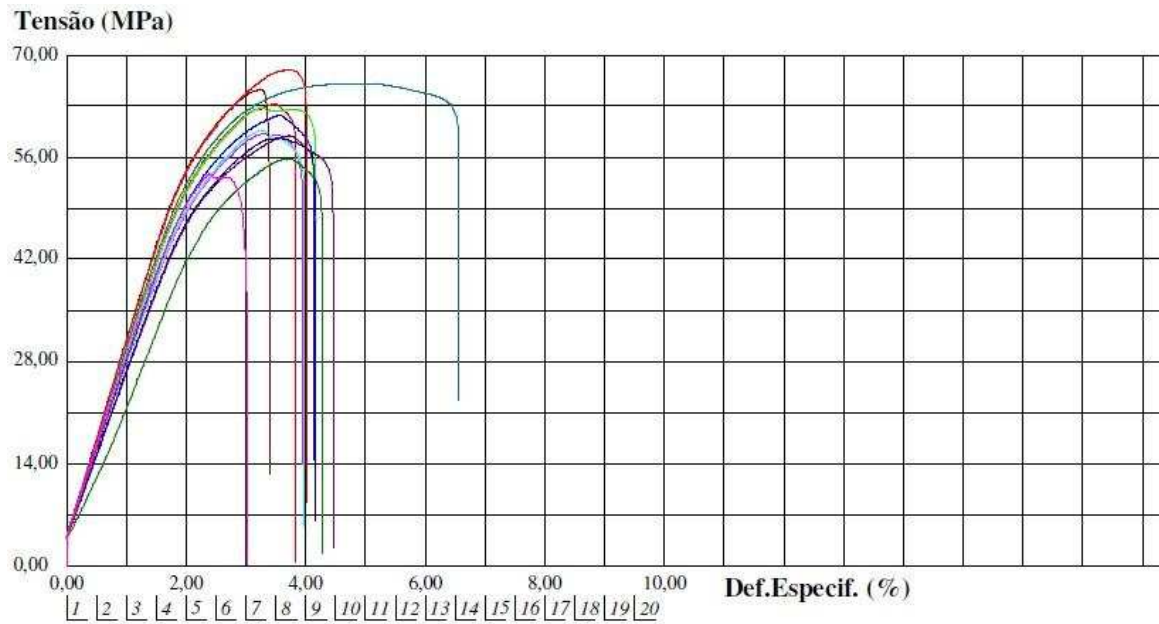
ANEXO B: Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova ensaiados em flexão



Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova de ABS sem fibra, ensaiados em flexão.

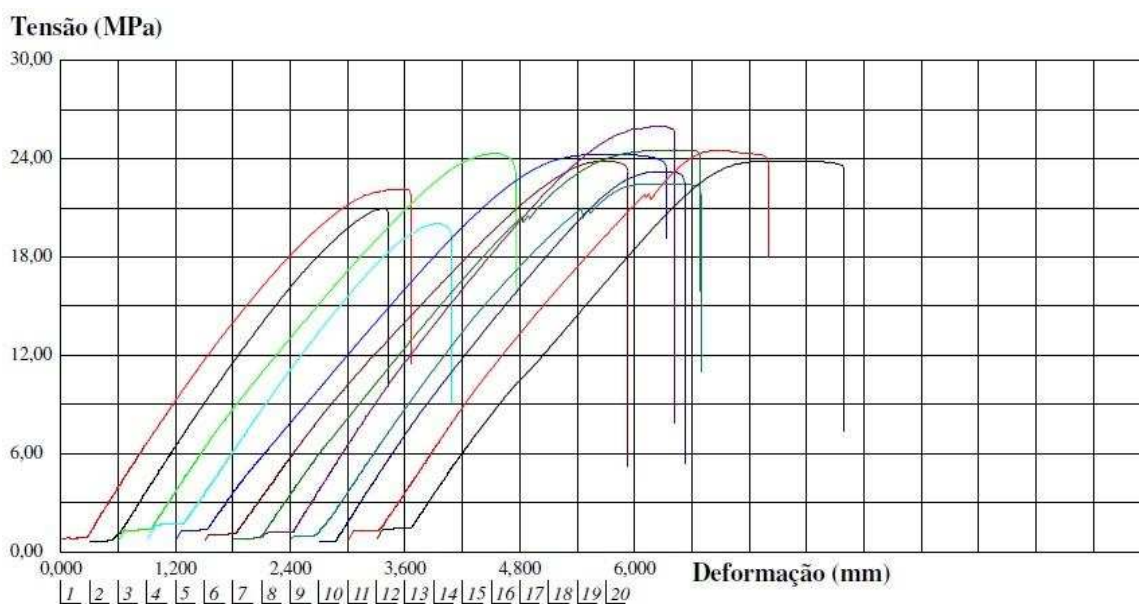


Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova do compósito de ABS contendo uma camada de tecido de fibras de juta, ensaiados em flexão.

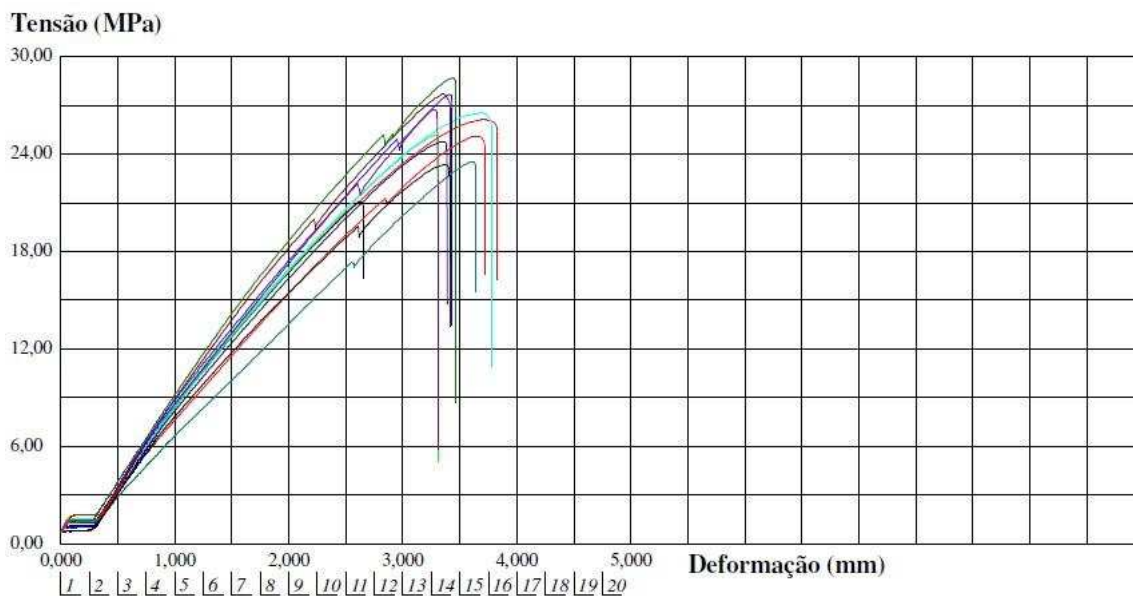


Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova de compósitos de ABS reciclado contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta, ensaiados em flexão.

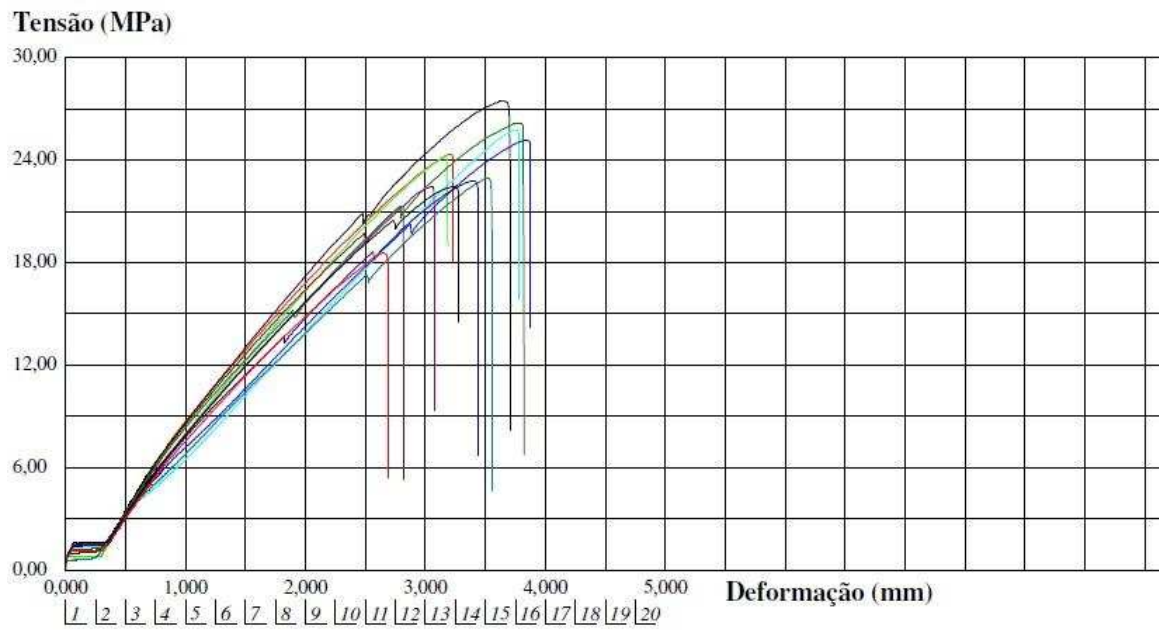
ANEXO C: Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova ensaiados em tração



Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova de ABS sem fibras, ensaiados em tração.



Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova de compósitos de ABS reciclado contendo uma camada de tecido de fibras de juta, ensaiados em tração.



Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova do compósito de ABS reciclado contendo duas camadas de tecidos de fibras de juta, ensaiados em tração.