



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



VINÍCIUS VICENTE SILVA ROSA

**COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)
REFORÇADOS COM BIOMASSA DA CASCA DO AÇAÍ**

VOLTA REDONDA

2019

VINÍCIUS VICENTE SILVA ROSA

**COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)
REFORÇADOS COM BIOMASSA DA CASCA DO AÇAÍ**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais poliméricos.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Cirlene Fourquet
Bandeira

VOLTA REDONDA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

R788c Rosa, Vinícius Vicente Silva.
Compósito de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçado com
biomassa da casca do açaí. / Vinícius Vicente Silva Rosa. - Volta
Redonda: UniFOA, 2019. 56 p.: Il

Orientador (a): Sérgio Roberto Montoro
Coorientador (a): Cirlene Fourquet Bandeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em
Materiais, 2019

1. Materiais - dissertação. 2. Compósitos. 3. Açaí. 4. Tração. 5.
TGA. 6. DSC. I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Bandeira, Cirlene
Fourquet. III. Centro Universitário de Volta Redonda. IV. Título.
CDD – 620.1



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



VINÍCIUS VICENTE SILVA ROSA

Compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçados com biomassa
da casca do açaí

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Coorientador: Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
"MESTRE EM MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS


Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO MONTORO
Presidente / UniFOA


Prof. Dr. ROBERTO DE OLIVEIRA MAGNAGO
Examinador interno / UniFOA


Prof. Dr. JORGE LUIZ ROSA
Examinador externo / FATEC

Outubro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha Mãe, Márcia Vicente Silva Rosa por todo apoio, esforço e sacrifícios. Por mais que a jornada fosse difícil, ela nunca fraquejou ante todas as dificuldades e continuou sua luta para a minha educação e sucesso ao longe da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família que sempre foram minha maior motivação para que eu conseguisse concluir esse trabalho e sem eles nada disso teria significado.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro e Prof^a. Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira por todas as vezes que se dispuseram em me ajudar, todo o carinho e cuidado que tiveram por esse tempo criando uma amizade muito importante que pretendo levar comigo para vida toda.

Aos colaboradores do UniFOA que diariamente contribuem diretamente e indiretamente para que pessoas como eu possam cursar bacharelado, especialização e mestrado aqui na região.

A todos que são presentes na minha vida e tiveram que abrir mão do tempo deles comigo para que eu pudesse completar essa nova etapa da minha vida.

EPÍGRAFE

"O que precisamos é de mais pessoas
especializadas no impossível."

Theodore Roethke

ROSA, V. V. S. **Compósito de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçado com biomassa da casca do açaí**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2019.

RESUMO

A utilização de biomassas vegetais na fabricação de compósitos tem-se evidenciado, pois são elementos alternativos utilizado para criação de menores estruturas. Os benefícios da utilização são variados, não param no setor econômico, alcançando outras possibilidades, tais como a utilização de materiais ecologicamente seguro, que geram benefícios sociais. No Brasil, a utilização de biomassas naturais na indústria proporciona o desenvolvimento das comunidades produtoras que, possuem nesses saberes, uma maneira de sobrevivência. Diante disto, foi observado que a biomassa da casca do açaí, que vem sendo descartada, pode ser reaproveitada como reforço em matrizes termoplásticas. Nesse trabalho estudou-se a viabilidade técnica para fabricação de compósitos de matriz polimérica de PEAD reforçados com a biomassa da casca do açaí. Foram estudadas as proporções de 10%, 20% e 30% (m/m). Foram realizadas análises de picnometria de hélio para avaliar a influência da adição da biomassa da casca do Açaí na massa específica dos compósitos processados. Os compósitos foram caracterizados mecanicamente por meio de ensaios de resistência a tração e flexão e termicamente através de análises de termogravimetria (TGA) e calorimetria exploratória de varredura (DSC). Foi constatado um aumento na massa específica dos compósitos conforme o aumento da quantidade de biomassa, o que deve ser considerado na hora da determinação de aplicação do compósito. Em relação à resistência a tração e a flexão, constatou-se que a resistência máxima sofreu redução com o aumento do teor de biomassa. Quanto às análises de TGA, foi constatado que a resistência térmica dos compósitos reduziu com as adições de biomassa. Os resultados de DSC dos compósitos apresentaram uma diminuição nos valores de entalpia, diminuição essa coerente com as adições de biomassa da casca do Açaí, que não apresentou fusão apreciável. Dessa forma, com a adição de biomassa da casca do Açaí no PEAD obteve-se um material com até 30% menos polímero e com propriedades mecânicas e térmicas viáveis para determinadas aplicações do PEAD.

Palavras-chave: Compósitos, Açaí, Tração, TGA, DSC.

ROSA, V. V. S. **High density polyethylene (HDPE) composite reinforced with açai biomass**. 2019. Dissertation (Professional Master Of Material). – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2019.

ABSTRACT

The utilization of vegetable biomass in the manufacture of composites has been evidenced, as they are alternative elements used to create smaller structures. The benefits of this are varied, do not stop in the economic sector, reaching other possibilities, such as the utilization of environmentally safe materials that generate social benefits. In Brazil, the utilization of natural biomass in industry provides the development of producing communities that, in this knowledge, have a way of survival. With that, it was observed that the biomass of açai shell, which has been discarded, can be reused as reinforcement in thermoplastic matrices. In this work we studied the technical feasibility to manufacture HDPE polymer matrix composites reinforced with açai shell biomass. The proportions of 10%, 20% and 30% (m/m) were studied. Helium pycnometry analyzes were performed to evaluate the influence of the addition of Açai shell biomass on the specific mass of the processed composites. The composites were mechanically characterized by tensile and flexural strength tests and thermally by thermogravimetry (TGA) and exploratory scanning calorimetry (DSC) analyzes. An increase in the specific mass of composites was observed as the amount of biomass increased, which should be considered when determining the application of the composite. Regarding tensile strength and flexural strength, it was found that the maximum strength decreased with increasing biomass content. As for the TGA analyzes, it was found that the thermal resistance of the composites reduced with the biomass additions. The DSC results of the composites showed a decrease in enthalpy values, a decrease consistent with the biomass additions of the Acai bark, which did not show appreciable fusion. Thus, the addition of biomass from the Acai biomass in HDPE resulted in a material with up to 30% less polymer and with mechanical and thermal properties for certain HDPE applications.

Keywords: Composites, Açai, Tension, TGA, DSC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estados Produtores de Açai.....	18
Figura 2. Classificação esquemática dos materiais compósitos.....	22
Figura 3. Estrutura do polietileno	24
Figura 4. Prensagem a quente (BMC)	33
Figura 5. Extrusão (reator contínuo)	34
Figura 6. Analisador de densidade real	39
Figura 7. Máquina de ensaio mecânico EMIC	40
Figura 8. CDP de tração de acordo com a Norma ASTM D638	41
Figura 9. Máquina de ensaio mecânico EMIC	42
Figura 10. CDP de flexão de acordo com a Norma ASTM D790	42
Figura 11. TGA das amostras com 10,20 e 30% da fibra de açai	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Propriedades de Controle de Matriz PEAD (Braskem)	36
Tabela 2.	Propriedades Típicas da Matriz PEAD	37
Tabela 3.	Resultado das massas específicas por meio da análise de picnometria de hélio	43
Tabela 4.	Valores obtidos nas curvas dos compósitos de PEAD com açaí	45

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

PEAD	<i>Poliétileno de alta densidade</i>
PE	<i>Poliétileno</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
PEAUD	<i>Poliétileno de ultra peso molecular</i>
UHMDPF	<i>Poliétileno de ultra peso molecular</i>
PS	<i>Poliestireno</i>
PVC	<i>Poli Cloreto de vinila</i>
TGA	<i>Análise termo gravimétrica</i>
MEV	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>
RTM	<i>Injeção de resina</i>
SMC	<i>Sheet Molding Compound</i>
mm	<i>Milímetro</i>
BMC	<i>Bulk Mold Compound</i>
kN	<i>Quilo Newton</i>
UFRJ	<i>Universidade Federal do Rio de Janeiro</i>
DSC	<i>Análise de Calometria Exploratória Diferencial</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.1.1	Contexto	16
1.1.2	Descrição do problema.....	17
1.1.3	Relevância	18
1.3	JUSTIFICATIVA	19
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1.	Compósitos	20
2.2	Matrizes Termoplásticas	21
2.2.1	Polietileno (PE)	22
2.2.2	Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	23
2.2.3	Termoplásticos utilizados com materiais lignocelulósicos	24
2.3	Reforços de Biomassas Naturais.....	25
2.3.1	Biomassa de Açaí.....	25
2.3.2	Fibras de Abacaxi	27
2.3.3	Fibras de Algodão.....	28
2.3.4	Fibras de Bagaço de Cana-de-Açúcar.....	28
2.3.5	Fibras de Capim Sapê	28
2.3.6	Fibras de Banana	29
2.3.7	Fibras da Casca do Coco	29
2.3.8	Fibra de Macadâmia	29
2.4	Processamento de Compósitos	29
2.4.1	Moldes Abertos.....	30
2.4.2	Moldes Fechados	30
2.4.3	Prensagem a Quente.....	31
2.4.4	Processos Contínuos.....	32
2.5	Propriedades Mecânicas e Viscoelásticas.....	33
2.5.1	Comportamento Mecânico.....	34
2.5.2	Comportamento Dinâmico – Mecânico	35
3	MATERIAIS E METODOS	36
3.1	Materiais	36

3.1.1	Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	36
3.1.2	Biomassa da Casca do Açaí.....	37
3.2	Processamento dos Compósitos	37
3.3	Determinação da Massa Especifica via Picnometria de Hélio	37
3.4	Preparo dos Corpos de Prova para Ensaio Mecânicos.....	38
3.5	Caracterizações Mecânicas dos Compósitos	38
3.5.1	Ensaio de tração	38
3.5.2	Ensaio de flexão	40
3.6	Caracterizações Térmicas	42
3.6.1	Análise Termogravimétrica (TGA)	42
3.6.2	Análises de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Resultados das Massas Específicas.....	43
4.2	Resultados das caracterizações mecânicas	44
4.2.1	Resultados dos ensaios de tração.....	44
4.2.2	Resultados dos ensaios de flexão	45
4.3	Resultados das Análises Térmicas	46
5	CONCLUSÕES	50
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O grande uso de materiais poliméricos é proveniente de suas propriedades mecânicas condicionadas pela massa molecular e baixa pela cristalinidade, carga, plastificante, ligações cruzadas, aditivos, entre outros indicadores da amostra (RUDIN, 1982).

Existe uma convergência no uso de recursos naturais renováveis alternativos, para benefício do ser humano na criação de novos materiais. Hoje em dia a pesquisa no desenvolvimento de novos materiais direciona-se para áreas que consentem as necessidades socioeconômicas e os apelos ambientais. Assim, compósitos que usam fibras naturais são cada vez mais estudados, sendo uma alternativa muito utilizada (PRASAD; RAO, 2011).

É grande a utilização de materiais naturais, especialmente os de fibras vegetais, como intensificador nos compósitos que podem ser usados em várias áreas desde a indústria automotiva até a construção civil, dentre outras (DUC; VERGNES; BUDTOVA; 2011). Suas vantagens são a baixa massa específica, flexibilidade no processamento, boas propriedades mecânicas, fácil manuseio, recurso renovável e biodegradável, não tóxicos, além do baixo custo e uso de sistemas simples para algum tratamento superficial (LEI, WU, 2010; KU et al., 2011).

Suas características são conforme suas propriedades químicas, físicas. Outro tópico importante na aquisição das propriedades apropriadas do produto final é a condição de processamento, que afeta a estrutura molecular do produto. Assim, a relação entre o processo, propriedades e arcabouço do polímero usado na produção ambicionada é essencial para a modificação de materiais poliméricos (PESSAN, HAGE, 2002).

Atualmente, os polímeros substituem outros materiais, sendo necessário que o produto possua um desempenho mecânico satisfatório em sua vida útil. O comportamento à fluência é uma alteração termodinâmica, modificando as características dos polímeros com o passar do tempo, podendo o mesmo se alterar longe do limite de escoamento, chegando a um estado de deformação irrecuperável, prejudicando, a atuação da peça. A fluência é comprometida pela: temperatura,

elasticidade e, período, as variáveis de processamento promovem um desequilíbrio no esqueleto molecular, restaurando a termodinâmica, condicionada a temperatura, tendo na modificação volumétrica diminuição de volume livre o comprometimento da peça (GERRY, RON, 1994).

Pelo excesso de volume livre do esqueleto molecular encontrado no desequilíbrio, ocorrerá mais suscetibilidade na entrada de umidade e gases na estrutura, beneficiando a degradação do material. Assim, os desempenhos das peças poliméricas e a sua vida útil são provenientes de fatores intrínsecos à sua composição química e a seu processo. A grandeza da fração que essas variáveis influenciam na propriedade final dos materiais é realizada por uma análise dinâmico-mecânica, perante a estimativa viscoelástica (GERRY, RON, 1994).

A viscoelasticidade está atrelada à capacidade dos polímeros registrarem e dissiparem energia simultaneamente, numa promoção mecânica. Dados experimentais como modificações nas estruturas da parte externa do corpo de prova, diferença de fase e aproveitamento do material são ajustados em DMTA, indicando seu comportamento viscoelástico. Mediante as medidas das propriedades viscoelásticas são conseguidos dados sobre classe, disposições e intercâmbio das macromoléculas e a extensão destes predicados ao longo do tempo (PESSAN, HAGE JR, 2002).

Com embasamento na bibliografia consultada, serão discutidas as propriedades dos materiais e a interpretação de seus resultados, indicando-se o procedimento viscoelástico, suas equações motivadas pela mecânica. O uso das equações nas decorrências possibilita determinar propriedades viscoelásticas em qualquer condição experimental, obtidas por várias experiências.

1.1.1 Contexto

Atualmente um relevante desperdício de biomassas naturais provenientes ou residuais de processos de produção. Cada dia a utilização de biomassas naturais esta sendo aplicada em materiais alternativos e sua aplicação tem se destacado na construção de pequenas estruturas, o que ainda gera benefícios sociais e renda para comunidades produtoras.

1.1.2 Descrição do problema

A biomassa de açaí vem sendo descartada por diversos produtores, o que gera um desperdício de material que poderia ser reutilizado para outros fins e a sua disposição inadequada pode causar problemas ambientais.

O estado do Pará hoje ocupa o primeiro lugar no ranking de produtores de açaí, chegando a produzir 1.274.056 toneladas, o que nos leva a refletir o quanto desta biomassa é desperdiçada, deixando de gerar benefícios a população devido ao seu alto teor de aplicabilidade. Abaixo imagem com os maiores produtores de açaí no Brasil.

Figura 1: Estados Produtores de Açaí no Brasil.



Fonte: site de notícia G1.

1.1.3 Relevância

Hoje o açaí é um grande ícone dentro do extrativismo nacional, proporcionando maior visibilidade à biodiversidade da Floresta Amazônica.

Inicialmente, o açaí só era valorizado devido ao palmito, que era produzido a partir de sua palmeira, com o passar do tempo o açaí ganhou fama e conquistou a população por suas características antioxidantes e seu teor energético.

Diante deste processo observamos que ocorre falta de aproveitamento total do açaí, gerando o desperdício de sua casca que poderia estar sendo utilizada de inúmeras maneiras e contribuindo nos setores ambientais e socioeconômico.

Com o sucesso do trabalho, os resultados de qual fim poderemos dar ao compósito, nos mostra que contribuiremos de forma significativa no caráter ambiental e socioeconômico.

Na parte ambiental utilizando uma quantidade menor de polímeros e utilizando uma biomassa que nos dias atuais esta sendo descartada.

No caráter socioeconômico será uma área de aplicação no qual a comunidade produtora poderá destinar o fim da biomassa que hoje é descartada.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Produção, caracterização e análise da viabilidade de compósitos de PEAD reforçados com biomassa de açaí a fim de identificar suas características físicas, químicas e mecânicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar, analisar a possibilidade de se utilizar os resíduos da casca do açaí;
- Implementar tecnologias e projeto, contribuindo com o desenvolvimento sustentável;
- Demonstrar a possibilidade de se evitar o descarte da casca do açaí gerado após a extração da polpa da fruta, reduzindo o impacto ambiental;

- Analisar os principais fatores que podem influenciar na fabricação de compósitos de matriz termoplástica de PEAD quanto às resistências mecânica e térmica e demais propriedades como, por exemplo, massa específica.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diante da quantidade de rejeitos da casca do açaí gerados no setor produtivo, principalmente pelas indústrias de extração e comercialização da polpa da fruta, tornou-se necessário investigar alternativas que promovam a utilização da biomassa que é destacada (casca), assim como sua reutilização. Dessa forma, buscou-se utilizá-los como insumo na fabricação de novos produtos, diminuindo o descarte dessa biomassa em aterros e leitos de rios, melhorando as condições de saúde da população residente nas cidades produtoras da polpa de açaí.

Nessa perspectiva, esse estudo tem como justificativa principal demonstrar a viabilidade de substituir parcialmente o PEAD pela biomassa da casca do açaí, dando-lhes uma destinação correta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. COMPÓSITOS

A necessidade crescente de materiais que atendam as demandas do mercado vem impulsionando a combinação de diferentes materiais, objetivando a obtenção de um material compósito, com melhores características que seus componentes, e que o desempenho atenda aos requisitos específicos dos mais diversos projetos nos mais variados setores, desde a fabricação de peças para a indústria aeroespacial até a fabricação de materiais esportivos. Esses materiais são formados por uma mistura heterogênea, não solúvel, de dois ou mais constituintes, compondo suas fases distintas denominadas de matriz e reforço. A matriz, em maior quantidade, pode ser um metal, um material cerâmico ou polimérico (MOREIRA, 2009).

A matriz ou fase contínua protege o reforço do ambiente externo, impedindo seu contato com meios corrosivos ou ácidos e mantendo o reforço no seu devido lugar, transferindo toda a tensão para o mesmo. Sua escolha se dá, por sua influência no desempenho conforme a temperatura de serviço e seu processamento, capacidade de envolvimento e proteção do reforço durante o manuseamento ou por contato e capacidade de distribuição do carregamento pelo reforço (TARGA, 2011).

No caso das matrizes poliméricas, elas são classificadas em termorrígidas e termoplásticas. Os termorrígidos são materiais, que no primeiro aquecimento, formam ligações cruzadas (cura), após o resfriamento, os demais aquecimentos, geram a degradação do polímero. Já os termoplásticos são materiais que podem sofrer sucessivos aquecimentos e resfriamentos, apresentando em todos os aquecimentos a fusão (BANDEIRA, 2011).

Os compósitos poliméricos, em sua maioria, apresentam matrizes termorrígidas. Essas matrizes se apresentam como uma alternativa para diversas aplicações, incluindo aplicações estruturais, o que se deve em grande parte, a tenacidade à fratura, resistência ao impacto e tolerância a danos, maior que os observados nas matrizes termorrígidas (NOGUEIRA, 2004; MAZUR, 2010).

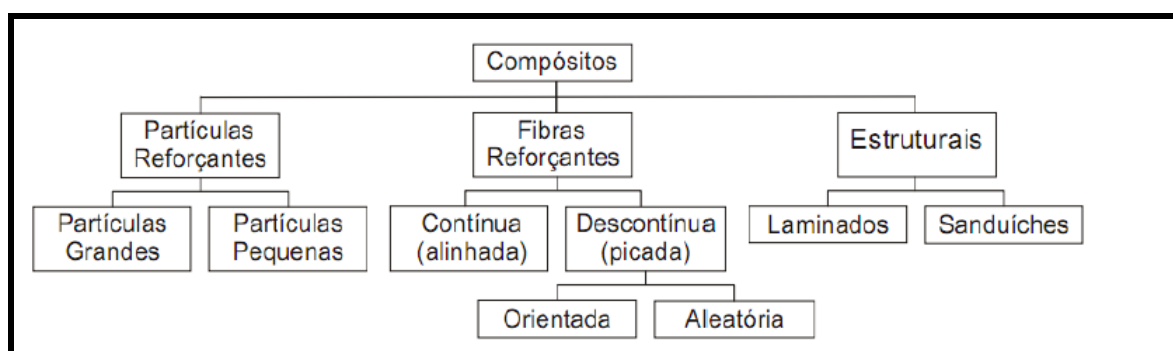
Esses polímeros, geralmente, apresentam cadeias poliméricas longas, podendo ser lineares ou ramificadas, que durante o aquecimento não formam ligações cruzadas. Além disto, são sólidos à temperatura ambiente, se tornando

fluido quando aquecidos, permitindo sua reciclagem, fator de importância atualmente (NOGUEIRA, 2004; MAZUR, 2010).

O reforço, por sua vez, tem como função suportar os esforços mecânicos que são transferidos para ele pela matriz. No entanto, isto só ocorre quando há uma boa afinidade química no reforço e na matriz. Ele pode ser formado por uma fibra contínua ou descontínua, um material particulado ou outros materiais. Suas características são geradas pelo intercâmbio da matriz/reforço e pela distribuição do reforço na matriz (BANDEIRA, 2011; REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011; DIACENCO, 2010; MAZUR, 2010; MOREIRA, 2009)

Geralmente, os compósitos são classificados conforme a morfologia dos seus constituintes (Figura 1), se destacando por apresentarem baixa massa específica (0,9 a 1,6 g/cm³), resistência química e mecânica, além de possuírem flexibilidade arquitetônica, permitindo a produção de peças com alta complexidade (HOLMES, 2017; BANDEIRA, 2011).

Figura 2: Classificação esquemática dos materiais compósitos.



Fonte: Adaptado por Diacenco, 2010.

2.2 Matrizes Termoplásticas

Atualmente, o mercado apresenta grande variedade de polímeros termoplásticos para as mais diversas aplicações, levando em conta suas propriedades químicas e mecânicas. A importância do seu uso como matriz, é consequência do seu processamento ser mais rápido se comparado aos termoendurecíveis, pois precisa apenas de aquecimento, não exigindo grandes ciclos de cura (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

Além disso, se forem considerados temas como reciclagem e ecologia, os termoplásticos são ecologicamente melhores, pois a maioria das matrizes termoplásticas apresenta menor taxa de toxicidade, não libertando produtos químicos no processamento e podem ser aquecidas, permitindo sua penetração nas fibras, com ajuda de mecanismo de pressão, podendo ser retrabalhadas quantas vezes for necessário (PLASTIC RECYCLING, 2018).

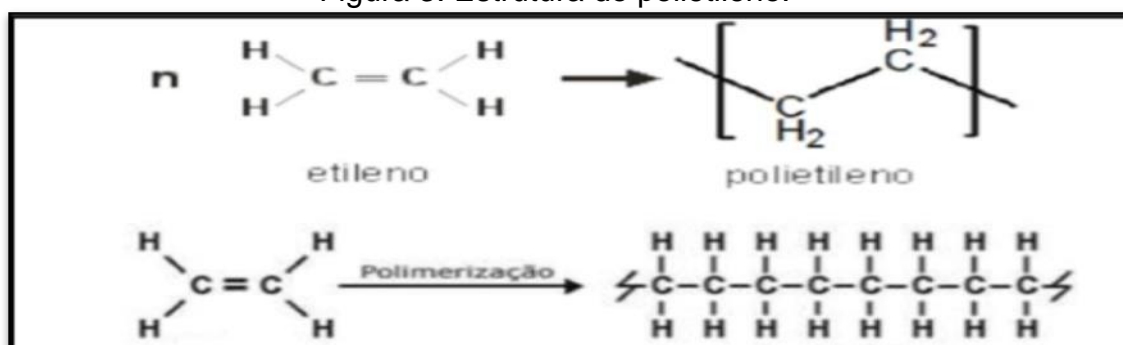
As matrizes termoplásticas oferecem algumas vantagens como, por exemplo: capacidade de ser processado em grandes volumes; possibilidade de reproprocessamento; melhor resistência ao impacto; ciclo de processamento mais curto e maior confiabilidade na reprodução das peças (MARQUES et al., 2010).

Dentre estas matrizes, o PEAD (polietileno de alta densidade) se destaca como sendo um dos mais vendidos e o segundo com maior índice de reciclagem no mundo devido a sua baixa absorção de umidade, excelente resistência química, ser auto deslizante, soldável, moldável e estampável, ter boa resistência ao impacto, ser de fácil higienização, ser antiaderente, auto lubrificante e não apresentar toxicidade quando em contato com alimentos e remédios (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS, 2016).

2.2.1 Polietileno (PE)

Estruturalmente, o polietileno é formado por unidades de etileno repetidas vezes. Todos os carbonos estão na forma de hibridização sp^3 e o ângulo entre as ligações C-C é de $109,5^\circ$. Além do que, essa configuração atribuiu ao polietileno à formação de cristais, assim, o material é classificado como semicristalino (Figura 2) (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

Figura 3: Estrutura do polietileno.



Fonte: Barbosa JR., 2010.

Sua utilização é bastante ampla, incluindo fabricação de recipientes para líquidos, objetos domésticos, sacolas plásticas, brinquedos, filmes plásticos, caixas, embalagens, confecção de baldes e bacias, brinquedos, potes para alimentos, assentos sanitários, isolamento de fios, nas indústrias aeronavais, tecelagem, indústria médico-hospitalar entre outras (BARBOSA JR, 2010).

Sua polimerização ocorre por adição. Este processo consiste na junção de monômeros idênticos, apresentando no mínimo uma ligação dupla. Para a formação da macromolécula ocorre o rompimento das ligações pi (π) que dão origem a duas novas ligações simples. Já o processo de polimerização pode ocorrer de três formas, distintas que são a polimerização em suspensão (*Slurry*), polimerização em solução e polimerização em fase gasosa (FERNANDES; LONA, 2004).

Os polietilenos, no mercado, classificam-se por suas características físicas e mecânicas de acordo com as normas ASTM vigentes, sendo comum a venda de acordo com a densidade do material. Neste processo, os polietilenos são denominados de PEBD ou pela sigla em inglês *LDPE* (polietileno de alta densidade), PEAD ou *MDPE* (polietileno de média densidade), PEAD ou *HDPE* (polietileno de alta densidade), PEUAD ou *UHMDPE* (polietileno de ultra alto peso molecular) (ABIPLAST, 2010).

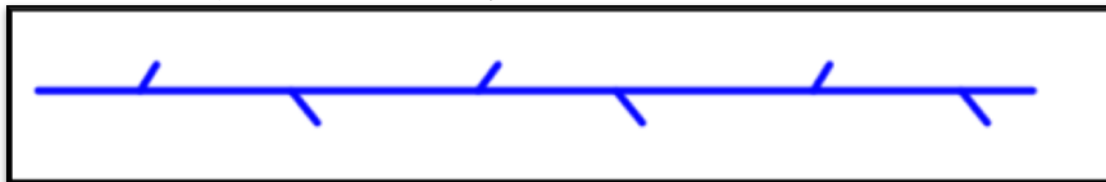
2.2.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

O PEAD, por possuir alto peso molecular, exibe excelentes propriedades mecânicas, físicas, químicas e hidráulicas, apresentando boa resistência ao tenso fissuramento e às deformações, garantindo resistência superior a 50 anos. Sua produção é pelo processo de suspensão, garantindo uma cadeia linear e alta densidade do polietileno (PEAD), permitindo que seu alinhamento e empacotamento de suas cadeias sejam melhores e que as forças intramoleculares ajam com maior vigor, e seu ponto de fusão e cristalinidade sejam maiores (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS, 2016).

O PEAD possui densidades na faixa de 0,94-0,97 g/cm³, que por ter o nível de ramificação muito baixa, são chamados, muitas vezes, de polietileno linear (Figura 3) (PEACOCK, 2000). Esse polímero tem características como durabilidade, impermeabilidade, resistência à corrosão e ductilidade, sendo um dos plásticos mais

resistentes e utilizados do mercado. Sua flexibilidade é menos vulnerável a danos promovidos por oscilações como vibração e choques (PEACOCK, 2000).

Figura 4: Representação da Cadeia Linear do PEAD.



Fonte: Peacock (2000).

Além disto, este polímero possui um T_f entre 130- 135°C, permitindo que o mesmo seja usado na geração de compósitos reforçados com fibras vegetais, pois devido à baixa temperatura das fibras, as mesmas são acionadas com termoplásticos que se liquefazem abaixo desta temperatura de degradação (FERNANDES; LONA, 2004).

2.2.3 Termoplásticos utilizados com materiais lignocelulósicos

Os termoplásticos selecionados para serem utilizados com materiais lignocelulósicos devem ser fundidos ou amolecidos abaixo do ponto de degradação do componente lignocelulósico. Entre os termoplásticos utilizados estão: polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli (cloreto de vinila) (PVC) e polietileno de alta (PEAD) e baixa densidade (PEBD). Outros materiais podem ser acrescentados para modificação do processamento e desempenho dos produtos compósitos termoplásticos. Aditivos podem melhorar a ligação entre o termoplástico e o componente lignocelulósico, desempenho do compósito e processabilidade. Dentre este, o PE possui estrutura compacta conferindo-lhe uma densidade alta, cálculo apropriado entre suas propriedades mecânicas e resistência química tornando plausível sua utilização como matriz de compósitos com reforços de fibras vegetais (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS, 2016).

2.3 Reforços de Biomassas Naturais

O Brasil possui grande diversidade de biomassas naturais com díspares propriedades químicas, físicas e mecânicas. Diversas biomassas e cargas naturais, provenientes ou não de resíduos, são designadas por materiais lignocelulósicos, que são macromoléculas orgânicas constituídas por pectinas, ligninas, hemicelulose e celulosas as quais podem estar ligadas ou não entre si (ALBINANTE *et al*, 2013).

A utilização das biomassas provenientes de vegetais na fabricação de compósitos destaca-se, pois são materiais alternados apostos na constituição de pequenas armações. Suas vantagens são diversas, não se restringindo ao setor econômico, compreendendo outras vertentes, tais como o uso de materiais ecologicamente seguros, que trazem benefícios sociais. No Brasil, o emprego de biomassas naturais na indústria induz um progresso nas sociedades produtoras, como uma maneira de sobrevivência (CHANDRAMOHAN; BHARANICHANDAR, 2013).

Além disto, estas biomassas apresentam boas propriedades mecânicas devido à baixa densidade; são obtidas por fontes renováveis e recicláveis; possuem baixo custo e baixo investimento e são de fácil manipulação, processamento e são bons isolantes térmicos e acústicos (SPINACÉ, 2015).

Entretanto, estas fibras apresentam alguns problemas tais como a sua baixa resistência à tração, sua característica é variada, possuindo grande assimilação de umidade, obstaculizando sua temperatura no processo ($T_f < 220^\circ\text{C}$), sua pequena oposição à chama e seus produtos possuem limitação de cores (MOREIRA, 2009).

Dentre estas biomassas se destacam as biomassas de açaí, abacaxi, da casca de noz- macadâmia, do capim sapê, do algodão, cana de açúcar e de banana.

2.3.1 Biomassa de Açaí

O emprego do açaizeiro é grande, sendo utilizado para a construção, fabricação de celulose, medicamento entre outros, confecção de artesanatos e bijuterias e para alimentação. A produção agroindustrial possui papel principalmente na extração de açaí. A polpa processada do fruto é usada para nutrição em vários países e estados brasileiros (SILVA *et al.*, 2013).

Conforme Lima Jr (2007) os compósitos cimentícios reforçados com biomassa de açaí não suportam dano à resistência na compressão. Suas biomassas aumentam resistência à tração (aproximadamente 13%) de fibrocimentos originados deste reforço, indicando boa atuação com a matriz e o procedimento pós-fissura inseparável aos fibrocimentos, avigorando a área confinante à fratura.

Os resultados dos ensaios de caracterização física das biomassas (densidade e razão de aspecto das biomassas) indicam que mesmo com variações existentes nos dados da literatura, os materiais lignocelulósicos estudados são adaptados para a confecção de compósitos mais leves e têm potencial de reforço, já que os valores de razão de aspecto (L/D) observados na literatura são superiores aos das fibras lignocelulósicas curtas (GUIMARÃES JUNIOR *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013).

A caracterização química encontrada na literatura, indica que os tratamentos alcalinos realizados com 5% de NaOH e com adição de 1% de NaBH₄ são mais competentes no arrefecimento da composição amorfa (hemicelulose) e acréscimo da composição cristalina (celulose) nas fibras de açaí (ALBINANTE *et al.*, 2013; MERLINI *et al.*, 2012).

Albinante *et al.*, (2013), ensina que a celulose demonstra sua estrutura, após o tratamento de NaOH, quando ocorre o arrefecimento das ligações de hidrogênio da fase amorfa, aumentando o intumescimento da celulose e o arrefecimento do grau de cristalinidade. Assim, os percentuais de celulose encontrados após o tratamento são maiores. A celulose proporciona mais resistência às fibras vegetais, acrescentando o teor de celulose com o tratamento químico e tornando as fibras com o máximo de reforço nos compósitos.

Esses resultados são comprovados nos ensaios de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR), onde as bandas relacionadas à presença de hemicelulose somem nas fibras com tratamentos alcalinos e na análise termogravimétrica (TGA), onde foi notado um acréscimo da temperatura de deterioração das fibras tratadas se comparadas com as que não possuem tratamento, determinado na evolução do equilíbrio térmico das fibras (CARDOSO *et al.*, 2013).

Na análise termogravimétrica (TGA) como nos ensaios mecânicos (resistência à tração e à flexão) feitos nos compósitos, verificou-se resultados inferiores ou equivalentes estatisticamente à resina. Esses resultados encontrados na literatura atrelam-se ao fato dos compósitos terem sido feitos com fibras curtas e dispostos aleatoriamente, assim os corpos de provas obtidos não tinham composição

homogênea entre matriz/reforço, além do processo de feitura desses compósitos ter sido feito em contato com o ar, ajudando na formação de bolhas, afetando as propriedades mecânicas dos compósitos (ARAÚJO, 2009; ALMEIDA JUNIOR et al., 2012).

Na avaliação do comportamento térmico dos compósitos de açaí, ocorreu um acréscimo na estabilidade térmica dos puros submetidos aos tratamentos alcalinos em relação aos outros. Nos compósitos híbridos de açaí não ocorreu melhoria significativa com adição do hidróxido de sódio, mas, com adição do borohidreto de sódio, o compósito indicou uma temperatura de deterioração abaixo do compósito híbrido. Constatou-se que as temperaturas de deterioração dos compósitos híbridos com fibras de açaí e de açaí/vidro *in natura* foram superiores à temperatura de degradação do compósito reforçado por fibras de açaí sem tratamento, indicando que a combinação das fibras foi eficiente na melhoria das propriedades térmicas desse compósito (SANCHEZ *et al.*, 2010).

A análise MEV para a biomassa de açaí, achadas na literatura indicam a heterogeneidade dos compósitos, destacando-se a diferença do tamanho das fibras, aleatoriedade, baixa adesão à resina em alguns casos e a adesão maior da biomassa de açaí relacionadas as biomassas sem tratamento (ALMEIDA JUNIOR *et al.*, 2012).

A análise de absorção de água indicou que os compósitos reforçados com as fibras de açaí, tiveram um percentual de absorção de água baixo. O resultado atingido no ensaio de densidade aparente dos compósitos não indicaram diferenças importantes na literatura. Assim, nota-se que o uso das fibras de açaí tanto em compósitos puros como nos híbridos reduz a quantidade empregada de fibra de vidro. Além, dos tratamentos alcalinos terem indicado eficiência na melhoria da adesão superficial dos compósitos (CARDOSO et al., 2013).

2.3.2 Fibras de Abacaxi

O abacaxizeiro pertence à família *Bromeliaceae*, planta de clima tropical, encontrada no Brasil. O Brasil possui produção voltada para atender ao mercado interno, mas não é totalmente aproveitada, sendo responsável por grande quantidade de resíduos. Seu uso como fibra substituta das fibras sintéticas e como

reforço em compósitos poliméricos é considerado viável e possuem um custo mais baixo (KENGKHETKIT, AMORNSAKCHAI, 2012).

2.3.3 Fibras de Algodão

O algodão é proveniente do algodoeiro, do gênero *Gossypium*. O algodão é uma das maiores culturas mundiais, sendo primordial para a economia de diversos países. Cerca de 60% das fibras de algodão são usadas como fios e linhas em vestuário, gerando muitos resíduos. Anualmente, são descartados milhões de quilogramas de fibras geradas nos processos têxteis. Essas fibras contêm além da celulose, constituintes comuns em células vegetais, entre eles: extrativos OH-benzeno, cinzas e lignina (BAJWA et al., 2011).

2.3.4 Fibras de Bagaço de Cana-de-Açúcar

A cana de açúcar é cognominada de *Saccharium officinarum*, pertence a classe monocotiledôneas, do tipo gramíneas. O açúcar é um dos produtos pioneiros na exportação brasileira. Atualmente, a produção de açúcar e do etanol são os produtos mais importantes obtidos a partir da cana-de-açúcar, produzindo vasta quantia de resíduos, posteriormente acontece à remoção de seu suco. As fibras do bagaço de cana passam ou não pelo processo de queima antes da colheita, modificando suas propriedades físicas e químicas (GUIMARÃES et al., 2009).

2.3.5 Fibras de Capim Sapê

Capim-sapê é uma designação corriqueira de uma espécie de gramínea, cognominada *Imperata brasiliensis*, seus caules são secos e usados para construção de telhados em casas rústicas (FERREIRA, 1999). Segundo Carvalho et al. (2000), o capim-sapê é estimado uma planta invasora de pastos danificados e em espaços arados, podendo ser indesejável nos campos.

2.3.6 Fibras de Banana

A bananeira é de clima tropical e subtropical, necessitando de calor constante e alta umidade para o seu desenvolvimento e produção (CEPEA, 2011). A banana é uma fruta suculenta, possui baixa quantidade de gordura e muitos nutrientes como potássio, magnésio, fósforo, carboidratos, vitamina A, C, B6, dentre outras. É um alimento servido não só como sobremesa, mas como parte da refeição, além de ter um preço relativamente barato, quanto comparado a outras frutas (BRAZILIANFRUIT, 2011).

2.3.7 Fibras da Casca do Coco

O coco foi inserido no Brasil em 1553, sendo muito cultivado em zonas tropicais. Esse fruto é formado por 30% em massa de coco e 70% em massa de casca. As fibras são separadas das cascas interna e externa do fruto, podendo ser retiradas por reticulação ou descortização (SAPUAN, 2005).

2.3.8 Fibra de Macadâmia

É oriunda da Austrália, sendo usada para enfeites e na alimentação, somente dois tipos possuem importância mercantil por serem comíveis: *Macadamia tetraphyla* e *Macadamia integrifolia* (TRIBECA, 2014).

2.4 Processamento de Compósitos

As biomassas naturais possuem estrutura hidrofílica inconciliável com matrizes termoplásticas hidrofóbicas, sendo capaz de ocasionar aglomerados de fibras, que inutilizarão as propriedades do compósito. Acima de 160°C e na presença de oxigênio, as fibras sofrem oxidação levando ao escurecimento (BENINI, 2011).

A utilização de biomassa natural para obter-se compósitos poliméricos necessita de condições de processamento específicas e no decorrer do processo, esses materiais estão debelados a variações de temperatura, esforços mecânicos e exposição ao oxigênio (CASTRO, 2010).

Os processos de transformação dos compósitos com biomassas são os seguintes:

Quadro 1: Processos de Transformação dos Compósitos com fibras.

Moldes Fechados	Moldagem por compressão; Injeção de resina; Moldagem à vácuo, Moldagem a quente e frio
Moldes abertos:	Deposição (spray up);.Moldagem hand lay up;
Prensagem:	Prensagem BMC;Prensagem SMC.
Processos contínuos:	Extrusão/injeção de termoplástico reforçado; Enrolamento filamentar;.Laminação contínua; Pultrusão;

Fonte: Adaptado de Moreira (2009).

2.4.1 Moldes Abertos

Moldagem manual por contato (*hand lay-up*): Esse tipo de moldagem com médios e pequenos volumes, de áreas ampla resistência. Além de ter adequação de reforços em rolo, sendo posto num molde aberto e saturado com resina. O reforço é de biomassa (50 – 100 mm)em manta. Nesses moldes são feitas peças pouco complexas, possuem baixo custo e baixo investimento e dificuldade na incorporação (MOREIRA, 2009).

Deposição usando pistola (spray-up): É realizada com saturação de fibras de vidro (20-30 mm) e resina pressionada, após é feita a impregnação por laminação manual, para eliminação das bolhas de ar. Os produtos provenientes deste tipo de moldagem é utilizada para barcos a vela, piscinas entre outros (ABIPLAST, 2010).

2.4.2 Moldes Fechados

Moldagem a vácuo: Nesta moldagem as peças possuem acabamento nos dois lados e seus formatos são simples, com volumes pequenos e médios. São aplicados na feitura de bandejas, cadeiras escolares, etc (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

Moldagem a quente/frio: O compósito é pressionado dentre moldes tipo macho-e-fêmea, que é refreado com um ou vários ajustes de resina e fibra. Na compressão quente são usadas temperaturas muito altas. Já na compressão fria, a polimerização é conseguida na temperatura ambiente. O poliéster é a resina mais

usada para confecção de bandejas cadeiras e caixas de distribuidoras de eletricidade, entre outras (SPINACÉ, 2015).

Moldagem por compressão: É o mais popularizado na confecção de compósitos com fibras, por ser ter um ciclo de baixo tempo com uma Incorporação de 20 a 80 % (ABIPLAST, 2010).

Injeção de resina (RTM): Seu reforço é depositado na parte baixa do molde, depois do fechamento, utiliza-se uma injeção de resina pressionada no seu interstício, molhando o reforço curando-se, transformando-se parte do compósito. Geralmente, usa-se para a feitura da cabine de caminhão e aplicações estruturais (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016) (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

2.4.3 Prensagem a Quente

Para este processamento utiliza-se a resina mais as cargas, sobre reforços de mantas ou tecidos multidirecionados com volumes determinados, colocados em prensa aquecida e prensados sobre pratos distanciados por espaçadores de espessura. Admite a feitura de chapas de grande densidade, usada na produção de peças para isolantes elétricos em geradores, entre outros (ABIPLAST, 2010).

Prensagem (SMC): As fibras contínuas são picadas em 25 ou 50 mm e colocadas em resina embaralhada com aditivo sobre uma película plástica. Posteriormente utiliza-se massa resguardada por uma película onde depositada acima da anterior, a combinação de reforços e resina entre as películas é comprimida e envolvida numa folha consecutiva. O filme obtido é moldado por compressão. São utilizadas em mobílias, materiais sanitários e peças automotivas, (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

Prensagem a quente (BMC): BMC (*Bulk Mold Compound*) utilizam-se cargas minerais, fibras de vidro picada e massa com resina, tendo como regramento cura a quente. Alguns números de BMC são utilizados em moldes esquentados, inseridos e prensados até a cura do material. Aplica-se na indústria elétrica, indústria automotiva e ferramentas, possuindo uma peça com o plano polido e intenso (MOREIRA, 2009).

Figura 5: Prensagem a quente (BMC).



Fonte: Spinacé, 2015.

2.4.4 Processos Contínuos

Laminação Contínua: É utilizado para fazer compósitos no feitiço de lâminas, para construção e materiais elétricos isolantes. O reforço é compatibilizado com resina, sendo ensanduichado entre duas películas plásticas. Suas lâminas obtém o desenho por rolos e sua resina é curada para formação do material. Aplica-se no recobrimento de fachadas e telhas (SPINACÉ, 2015).

Pultrusão: Utilizado para a produção vigas, vergalhões, tubos e canaletas. Posteriormente a saturação do reforço com resina, o material é puxado pelo o centro de um molde metálico quente, desenvolvendo a seção transversal. Utilizam-se matrizes epóxi, poliéster, fenólica e estervínlica avigorada com fibras de vidro, assim os produtos têm desempenho superior aos materiais convencionais (ABIPLAST, 2010).

Enrolamento filamental: Usado para produção de materiais ocos e com grande resistência. A fibra é impregnada com resina utilizando um mandril rotatório, para a promoção de seu desenho. Na superfície, tanto interna quanto externa, utiliza-se o véu de vidro para fazê-la abastada em resina, produzindo melhor resistência à corrosão e bom aspecto estético. Aplica-se em tubos, canos, tanques de armazenagem, cápsulas para motor de foguetes, entre outros (PLASTIC RECYCLING, 2018).

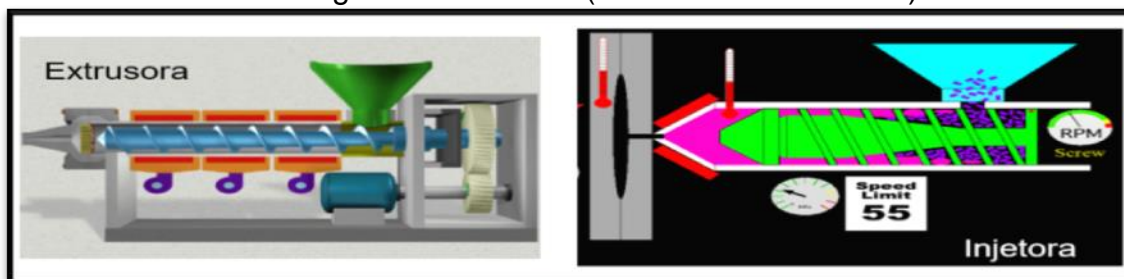
Extrusão reativa: É o processo contínuo, tempo de residência curto, de máquinas de extrusão de plástico convencional produzem reatores, a reação é limitada e econômica, requerendo menos investimento de capital e oferecendo bom desempenho ambiental comparando-se a procedimentos abastecidos com reatores de tanques de agitação. Utiliza-se geralmente, uma extrusora dupla rosca cortante,

como reator contínuo capacitado por uma mistura a nível molecular (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

As reações na fase homogênea são: polimerização a granel; modificações químicas dos polímeros que são o enxerto; reticulação, funcionalização, despolimerização; reações da fase líquida, heterogênea; sistemas de fases aquosas, transformando-se em caseinato, aumento da viscosidade (saponificação) conforme a taxa de conversão; sistemas dominando digestão alcalina de lignocelulósicos, branqueamento de celulose, entre outros (MOREIRA, 2009).

Por ter um procedimento grande tem metodologia sustentável admitindo tempo amortizado com capitalização de energia, com domínio de reações, pela compensação de pressão e temperatura; o processo reativo consistente, proveniente do processo contínuo e fácil reprodutividade; design compacto, requerendo menos tinta para a impressão; baixo volume de processamento produto arrefecido no reator da extrusora, aprimorando a caução para os operadores e arrefecendo os riscos ambientais (PLASTIC RECYCLING, 2018).

Figura 6: Extrusão: (REATOR CONTÍNUO)



Fonte: Spinacé, 2015.

2.5 Propriedades Mecânicas e Viscoelásticas

A composição macromolecular dos polímeros adéqua predicados nas propriedades químicas, físicas e mecânicas. Para obter-se propriedades apropriadas do produto são obrigatórias certas categorias de processamento, afetando a estrutura molecular do produto. Assim, a relação entre o processamento, composição e as características do polímero usado no produto desejado é primordial para entender a técnica de modificação de materiais poliméricos (PESSAN, HAGE JR, 2002).

A variação mecânica (fluência) modificadora das características dos polímeros se deforma além do limite de escoamento chegando a um estado de deformação irreversível danificando a. A fluência é afetada por três causas: tensão, tempo e temperatura (GERRY, RON, 1994).

Variáveis de processamento geram um estado de não equilíbrio na estrutura molecular. As moléculas restabelecem o equilíbrio termodinâmico, dependendo da temperatura, conhecida por envelhecimento físico, resultando no arrefecimento de volume franqueado e da modificação volumétrica afetando o desempenho da peça (PELLETIER, PEREZ, SOUBEYROUX, 2000).

A viscoelasticidade dos polímeros está atrelada à capacidade destes materiais gravarem e dissiparem energia concomitantemente, na promoção mecânica. A classe dos materiais se encontra no seu comportamento complexo e interessante. Dados experimentais como modificações nos tamanhos externos do corpo de prova e pendência de fase e intensidade entre o estímulo utilizado e o retorno do material são regulados em DMTA distinguindo o procedimento viscoelástico dos materiais, para obtenção de informações sobre sua classe, disposições conformacionais, instalação e intercâmbio das macromoléculas e a atuação destas a curto e longo alcance (WARD, HADLEY, 1993).

Para obtenção em DMTA são usados modelos mecânicos armazenando energia com as molas, dissipando amortecedores em cooptações seriadas e paralelas, marcados como modelo de Maxwell e Voight; e seus ajustes, determinados por parâmetros, possuindo viscosidade e mola. Estes modelos não admitem uma relação imediata com o fenômeno molecular, ocorrendo no processo de deformação, pouco e aplicado para resolução de problemas tecnológicos reais (BIRD, ARMSTRONG, HASSAGER, 1977).

2.5.1 Comportamento Mecânico

Os materiais possuem um comportamento mecânico que geram uma resposta caso sejam refreados pela deformação ou tensão. Onde a deformação e a tensão não se pautam por constantes como o módulo de elasticidade. Suas respostas às solicitações mecânicas são inerentes a fatores estruturais e de variáveis externas (PESSAN, HAGE JR, 2002).

Nos materiais que possuem baixa massa molecular, o procedimento automático é descrito em dois tipos de material: líquido viscoso e o sólido elástico, que regressa ao seu desenho original após ser retirado o esforço e a alteração do líquido viscoso, sendo irreversível na falta de forças exteriores (PESSAN, HAGE JR, 2002). Os polímeros se caracterizados por indicar um procedimento intercessor entre o líquido viscoso e o sólido elástico, estando atrelado a temperatura e a escala temporal da experiência, que é denominada viscoelasticidade (PESSAN, HAGE JR, 2002).

2.5.2 Comportamento Dinâmico – Mecânico

O alto volume livre da estrutura molecular quando se encontra no estado de não equilíbrio, havendo mais sensibilidade à entrada de umidade e gases na estrutura, beneficiando a degradação do material.

Assim, as atuações das peças poliméricas e sua vida útil são provenientes de fatores inseparáveis da estrutura química e do processamento. A quantificação da fração das mutações se traduz na característica derradeira dos materiais, sendo realizada por uma análise dinâmico-mecânica perante análise de parâmetros viscoelásticos (GERRY, RON, 1994).

Para a realização dos ensaios compressão, tração e flexão amparados por dois pontos, utiliza-se no modelo uma força estática sustentada ou contatada com a haste e outra força responsável pela deliberação da viscoelasticidade do material. Na aplicação de uma energia alternativa num modelo adequa-se o retorno em modificação concomitantemente. No regime viscoelástico linear, caso haja estabilização, ambas forças modificam senoidalmente, ocorrendo modificação após à força (PESSAN, HAGE JR, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia elaborada para atender os objetivos propostos neste trabalho foi desenvolvida e realizada para aferir a viabilidade técnico-científica da proposta.

3.1 Materiais

3.1.1 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Para a processamento dos compósitos foi usado o polietileno de alta densidade (PEAD) HC7260LS-L da BRASKEM, gentilmente doado pelo UniFOA.

O HC7260LS-L é um PEAD, desenvolvido para a moldagem por injeção que apresenta alta dureza e rigidez, além de baixa tendência a empenamento. Esta resina tem aditivos que combatem a ação da radiação ultravioleta.

Aplicação: Recipientes industriais, capacetes, assentos sanitários, utilidades domésticas, brinquedos, tampas, paletes, caixas para garrafas de bebidas.

Processo: Moldagem por injeção.

Propriedades de Controle podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades de controle da matriz PEAD (Braskem).

	Métodos ASTM	Unid.	Valor
Índice de Fuidez (190/2.16)	D 1238	g/10 min	7,2
Massa específica	D 792	g/cm ³	0,959

Fonte: Braskem, 2015.

As Propriedades Típicas da matriz podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades típicas da matriz PEAD.

Propriedades	Métodos ASTM	Unid.	Valor
Tensão de Escoamento	D 638	MPa	30
Tensão de Escoamento ao Alongamento	D 638	%	7.5
Módulo de Flexão - 1% Secante	D 790	MPa	1350
Dureza Shore D	D 2240	-	64
Resistência ao Impacto Entalhado Izod	D 256	J/m	35
Resistência à Quebra sob Tensão Ambiental (b)	D 1693	h/F50	< 4
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	126
Temperatura de deflexão sob carga a 0,455 MPa	D 648	°C	76

Fonte: Braskem, 2015.

3.1.2 Biomassa da Casca do Açaí

As cascas de açaí que foram utilizadas nesse trabalho são oriundas do Estado do Pará e foram gentilmente doadas pela Prof^a Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira. As cascas foram lavadas, trituradas, moídas e peneiradas (peneira de 50 mesh) nos laboratórios do UniFOA.

3.2 Processamento dos Compósitos

No trabalho foram processados compósitos de matriz de PEAD reforçados com a biomassa da casca do açaí, nas proporções de 10%, 20% e 30% (m/m). Os valores de frações mássicas de reforço foram estipulados a partir de pesquisas em trabalhos da literatura.

A incorporação da biomassa da casca do açaí no PEAD, nas proporções de 10%, 20% e 30% (m/m) foi realizada através de um homogeneizador termocinético marca *Dryzer*, modelo MH-50H, da empresa MH Equipamentos, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12). Foi utilizada a quantidade em massa de 70 g por batelada em virtude de uma melhor homogeneidade observada. Vale mencionar que a velocidade foi aproximadamente 1 minuto em velocidade 1 e em seguida velocidade de fusão completa.

Ao término dos processamentos das três famílias de compósitos, os mesmos foram moídos em um moinho de facas da marca Plastimax disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12). Os compósitos moídos foram usados para a confecção dos corpos de provas para os ensaios mecânicos e também para as demais caracterizações.

3.3 Determinação da Massa Específica via Picnometria de Hélio

Foram realizadas análises de picnometria de hélio para a definição da massa típica real do PEAD puro, da biomassa da casca do açaí e das amostras dos compósitos. Utilizou-se um Analisador de Densidade Real, marca *Quantachrome Instruments*, modelo *UltraFoam 1200e* (Figura 06), locado no Laboratório de Caracterização de Compósitos do DMT/FEG/UNESP. A temperatura do ensaio foi de

20°C e o resultado da análise foi obtido a partir da média de três leituras realizadas pelo equipamento na mesma amostra.

Figura 7 - Analisador de Densidade Real, marca Quantachrome Instruments, modelo UltraFoam 1200e.



Fonte: AUTOR (2019).

3.4 Preparo dos Corpos de Prova para Ensaio Mecânico

Para a confecção dos corpos de prova para a execução dos ensaios mecânicos de tração e flexão foi utilizada uma injetora para termoplásticos de bancada marca RAY RAM, modelo TSMP disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12), utilizando-se moldes de acordo com as dimensões padrão para ensaios tração e flexão.

3.5 Caracterizações Mecânicas dos Compósitos

3.5.1 Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado no Laboratório de Ensaio Mecânico do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, em um equipamento de ensaio de tração e flexão da marca EMIC. No caso do ensaio de tração foi utilizado o

equipamento com célula de carga de 50 kN, velocidade de ensaio equivalente a $1,4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, com célula de carga de 5 kN.

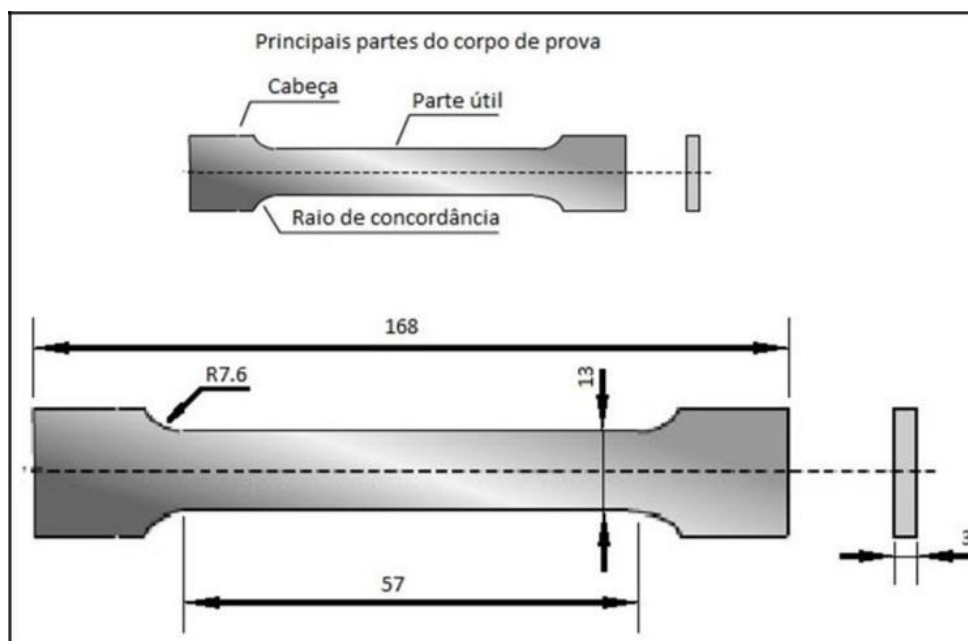
Adiante (Figura 7), o equipamento utilizado e as dimensões de acordo com seu respectivo ensaio e norma. Foram verificados cinco corpos de prova de tração de cada porcentagem, 10%, 20% e 30%. Os CDP's de tração foram preparados nas dimensões requeridas pela norma ASTM D 638 – 14.

Figura 8: Máquina de ensaio mecânico EMIC. Máquina de ensaio de tração.



Fonte: AUTOR (2019).

Figura 9: CDP de tração de acordo com a Norma ASTM D638. Nota: Dimensões em mm.



Fonte: AUTOR (2019).

Para as análises de tração foram verificadas as propriedades de alongamento até tensão máxima, o limite de resistência a tração e o módulo de elasticidade.

3.5.2 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi realizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos UniFOA (prédio 12), em um equipamento de medida de tração e flexão da marca EMIC. No caso do ensaio de flexão foi utilizada a razão L/d (onde L= distância entre apoios) de 16, velocidade de ensaio equivalente a 1,4 mm/min, com célula de carga de 5 kN. Para o cálculo de resistência à flexão (MPa) foi utilizada a Equação a seguir:

$$\text{Resistência à flexão} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

Onde:

P= Carga em Newton.

L= Distância entre os apoios em mm.

b= Largura do corpo de prova em mm.

d= Espessura do corpo de prova e mm.

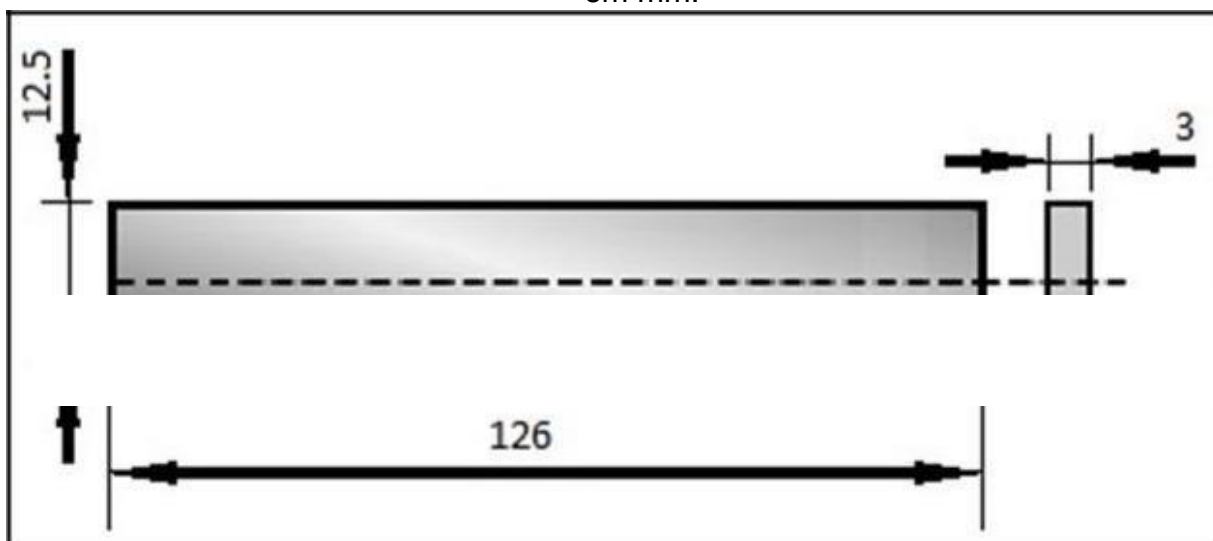
Adiante (Figura 9) os equipamentos utilizados e as dimensões de acordo com seus respectivos ensaios e normas. Foram analisados cinco corpos de prova flexão. Os CDP's de flexão foram preparados nas dimensões requeridas pela norma ASTM D 790 – 15.

Figura 10: Máquina de ensaio mecânico EMIC.b) Máquina configurada para ensaio de flexão



Fonte: AUTOR (2019).

Figura 11: CDP de flexão de acordo com a Norma ASTM D790. Nota: Dimensões em mm.



Fonte: AUTOR (2019).

No caso das análises de flexão foram avaliadas a resistência e o módulo elástico à flexão.

3.6 Caracterizações Térmicas

3.6.1 Análise Termogravimétrica (TGA)

As análises de termogravimetria (TGA) foram realizadas num equipamento da marca PerkinElmer, série 7, modelo TGA 7, localizado no Laboratório de Análises Térmicas da UFRJ – COOPE-RJ. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM E 2537.

Panela de platina com rampa de aquecimento 25 a 1000°C, taxa de aquecimento 10°C/min, atmosfera de N₂ gasoso, com fluxo gasoso 20 mL/min e massa de aproximadamente 6 mg.

O equipamento foi ajustado e calibrado de acordo com as especificações do fornecedor para a utilização do mesmo.

3.6.2 Análises de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram realizados em um equipamento DSC 8000 da PerkinElmer localizado na UNESP- Guaratinguetá sob as seguintes condições:

Faixa de temperatura: -40 a 160°C;

Taxa de aquecimento: 20°C.min⁻¹;

Taxa de resfriamento: 50°C.min⁻¹;

Fluxo de nitrogênio: (20 mL/min);

Panelas: alumínio padrão (panelas para sólidos);

Massa: aproximadamente 10 mg.

As avaliações foram feitas no programa de gerenciamento do equipamento que foi calibrado e ajustado de acordo com as especificações do fabricante e tiveram como objetivo determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) do material estudado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados das Massas Específicas

Baseado nas análises de picnometria de hélio observou-se que a adição da biomassa da casca do açaí ao PEAD não acarretou um aumento significativo na massa específica dos compósitos processados, quando contraposto ao PEAD puro, conforme apresentado na Tabela 3. Esses resultados revelaram-se importantes, pois futuras peças feitas com os compósitos reforçados com as biomassas da casca do açaí apresentarão praticamente o mesmo peso se as mesmas fossem produzidas com PEAD puro. Contudo, a aplicação de, por exemplo, 30% de biomassa da casca do açaí ($\rho = 1,1293 \text{ g/cm}^3$), acarretará uma redução de 30% no consumo de PEAD puro ($\rho = 0,9426 \text{ g/cm}^3$) e, como resultado, uma contenção no valor das peças desenvolvidas.

Tabela 3: Resultados das massas específicas por meio da análise de picnometria de hélio.

AMOSTRAS	Massa Específica do PEAD Puro (g/cm^3)	Massa Específica da Biomassa de Açaí Pura (g/cm^3)	Massa Específica da Mistura PEAD com 10% Biomassa de Açaí (g/cm^3)	Massa Específica da Mistura PEAD com 20% Biomassa de Açaí (g/cm^3)	Massa Específica da Mistura PEAD com 30% Biomassa de Açaí (g/cm^3)
1º	0,9424	1,4697	0,9946	1,0847	1,1339
2º	0,9434	1,4863	0,9989	1,0356	1,1583
3º	0,9418	1,4895	0,9583	1,0873	1,2247
Média	0,9426	1,4318	0,9836	1,1095	1,1293
Desvio Padrão	0,0009	0,0047	0,0268	0,0999	0,0341
CV%	0,1%	0,7%	2,3%	2,6%	4,2%

Fonte: AUTOR (2019).

Nos trabalhos realizados por Pereira, G.B (2016) e Pereira, G.C (2016), os autores também verificaram, a partir das análises de picnometria de hélio, que a adição de biomassas vegetais não acarretou um aumento significativo na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao HIPS puro.

4.2 Resultados das caracterizações mecânicas

4.2.1 Resultados dos ensaios de tração

A partir das análises de resistência a tração, verificou-se que a adição da biomassa de casca de Açaí ao PEAD acarretou uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparados ao PEAD puro (30 MPa).

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de tração realizados compósitos reforçados com a biomassa. A diminuição da resistência a tração pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento do volume de fibra. Lembrando que a ductilidade corresponde à alongação total material devido à deformação plástica.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de tração dos compósitos.

Compósitos	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento (%)
PEAD – 10%	8,07 ± 0,35	13,48 ± 0,49	76,27 ± 7,61
PEAD – 20%	7,51 ± 0,17	12,27 ± 0,13	56,73 ± 9,11
PEAD – 30%	7,01 ± 0,24	10,67 ± 0,18	25,54 ± 2,95

* Valores médios

** Tensão de escoamento do PEAD puro = 30 MPa

Fonte: AUTOR (2019).

No trabalho realizado por Benini (2011), o autor constatou através de ensaios de tração que, a adição de fibras de coco na matriz polimérica de HIPS praticamente não alterou a deformação do material até a tensão de escoamento (parcela referente à deformação elástica), porém provocou uma redução no alongamento total dos compósitos. Ainda segundo Benini (2011), com o aumento do volume de fibras foi

possível observar uma redução na elongação total dos compósitos, conforme apresentado na Tabela 4.

4.2.2 Resultados dos ensaios de flexão

A partir das análises de resistência a flexão, verificou-se que a adição da biomassa de casca de Açaí ao PEAD acarretou uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparados ao PEAD puro (1375 MPa).

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de flexão realizados compósitos reforçados com a biomassa.

De maneira análoga aos resultados encontrados nos ensaios de tração, a diminuição da resistência a flexão pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço da biomassa de Açaí promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento do volume de biomassa.

Pode-se verificar também que a adição da biomassa de Açaí na matriz polimérica de PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima em flexão (parcela referente à deformação elástica – tensão de escoamento em flexão).

Tabela 5: Resultados dos ensaios de flexão dos compósitos.

Compósitos	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PEAD – 10%	22,97 ± 2,98	1231 ± 187,4
PEAD – 20%	18,66 ± 2,37	1120 ± 174,9
PEAD – 30%	15,94 ± 3,64	1365 ± 159,0

* Valores médios

** Módulo de Elasticidade (Módulo de Flexão Secante) do PEAD puro = 1375 MPa

4.3 Resultados das Análises Térmicas

4.3.1 Resultados das análises Termogravimétricas (TGA)

Todos os compósitos apresentaram um primeiro decaimento com T_{onset} de aproximadamente 285°C (Tabela 6). Este decaimento se caracterizou por uma perda seguida de um ombro que ficou mais evidente quanto maior foi o teor de fibra conforme pode ser observado nas curvas apresentadas na Figura 11. Esta perda de massa está relacionada a perda de hemicelulose, β -celulose e celulose.

As perdas são de aproximadamente 6,2%, 13,8% e 19,9% respectivamente para os compósitos com 10%, 20% e 30% de fibras. Estes resultados, abaixo do esperado, podem ser decorrentes do processo de homogeneização da amostra.

Além disto, as amostras apresentaram uma segunda perda de massa de aproximadamente de 91,6%, 80,6% e 73,4% respectivamente para os compósitos com 10%, 20% e 30% de fibras com T_{onset} próximas de 470°C, indicativa da degradação do PEAD.

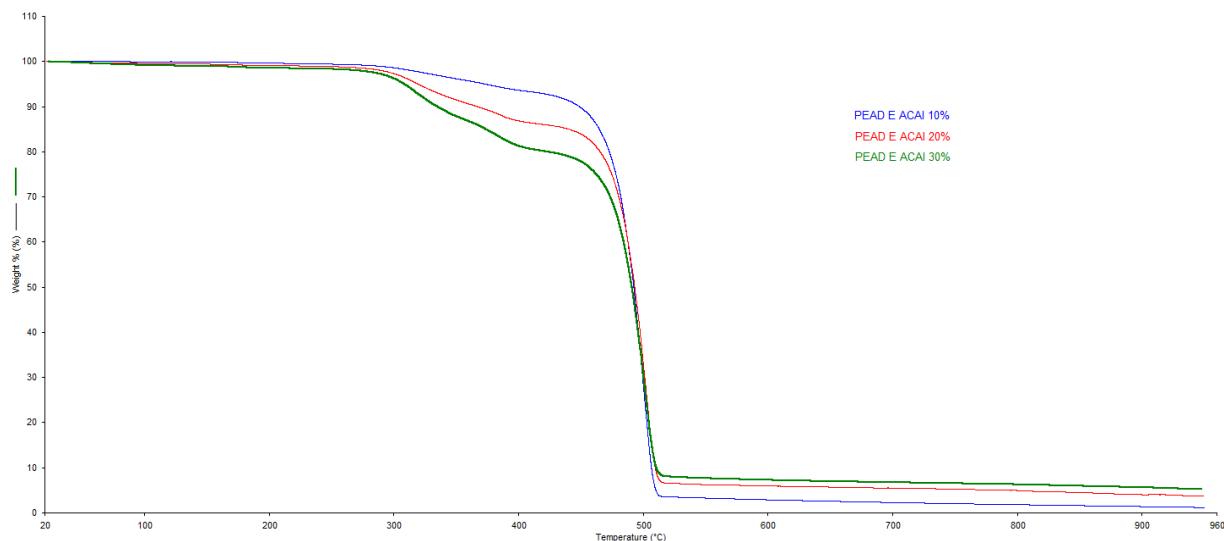
Os resíduos à 900°C são maiores, quanto maior o teor de fibra, indicando elevado teor de carbono fixo na biomassa utilizada.

Tabela 6: Valores obtidos nas curvas dos compósitos de PEAD com açai.

Amostras	Ti (°C) 1ª. perda	Onset (°C) 1ª. perda	Ti (°C) 2ª. perda	Onset (°C) 2ª. perda	1ª. perda (%)	2ª. perda (%)	Resíduo (%)
PEAD10%	258,1	282,8	410,1	470,5	6,2	91,6	1,2
PEAD20%	242,6	291,5	419,8	476,8	13,8	80,6	3,7
PEAD30%	243,3	289,1	422,2	475,6	19,9	73,4	5,2

Fonte: AUTOR (2019).

Figura 12: Curvas de TGA das amostras com 10, 20 e 30% de fibras de açaí.



Fonte: AUTOR (2019).

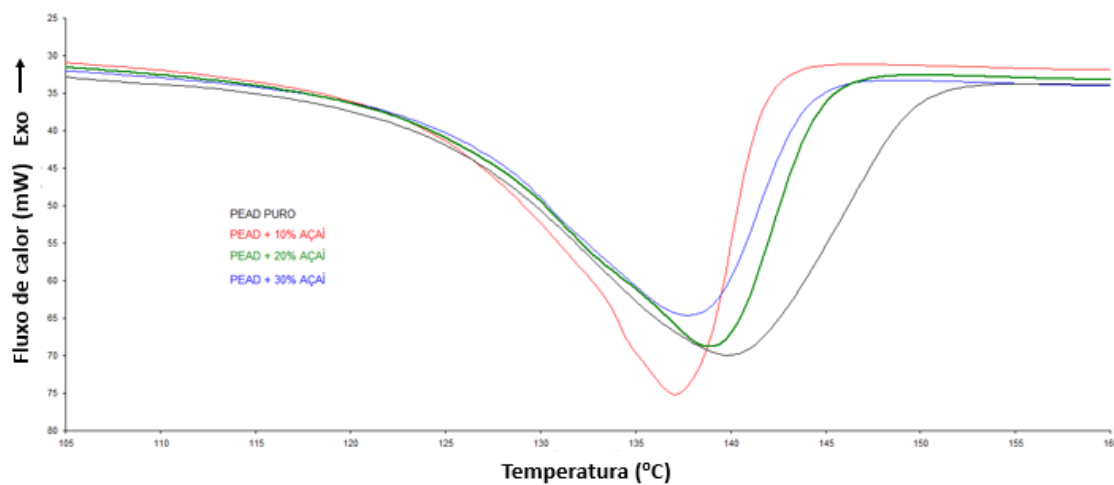
4.3.2 Resultados das análises de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

O PEAD puro, bem como os demais gráficos que continham este polímero, apresentaram um único pico de fusão com temperaturas de pico coerentes com os dados encontrados na literatura que diz que a temperatura de fusão (T_m) deste material está em torno de 137°C , conforme apresentados na Figura 12 e na Tabela 7.

Além disto, os compósitos apresentaram uma diminuição nos valores de entalpia, diminuição essa coerente com as adições de biomassa da casca do Açaí, que não apresentou fusão apreciável.

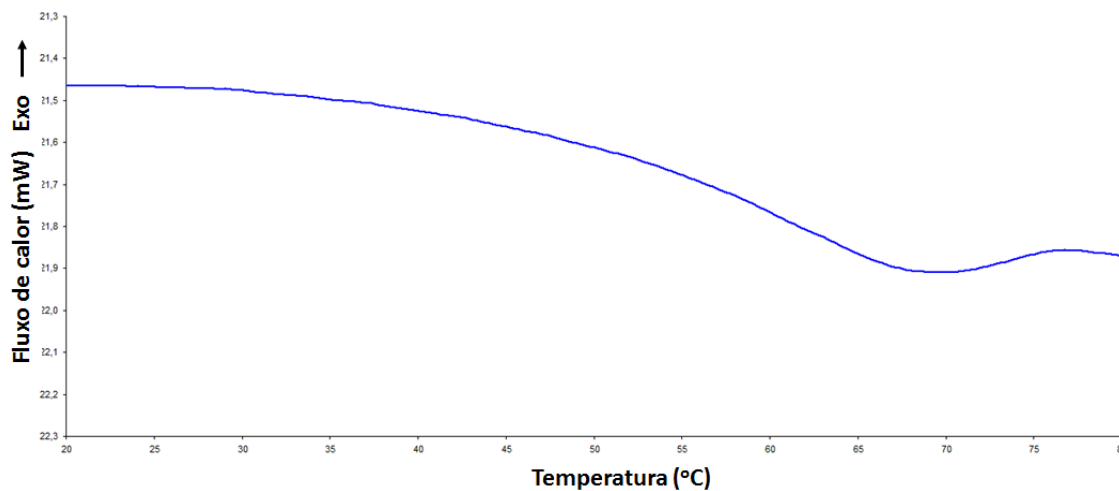
Já a biomassa de Açaí apresentou uma temperatura de transição vítrea (T_g) próxima de 60°C em decorrência da transição vítrea da lignina. Entretanto, não foi possível observar a fusão parcial de partículas cristalinas da lignina, uma vez que, um pico a $99,5^\circ\text{C}$, que é característico de mudança de estado físico da água, encobriu os efeitos térmicos que se desejava observar, conforme pode ser analisado na Figura 13.

Figura 13: Curvas de DSC das amostras de PEAD puro e com 10, 20 e 30% de biomassa da casca de Açai.



Fonte: AUTOR (2019).

Figura 14: Curva de DSC da biomassa de casca do Açai.



Fonte: AUTOR (2019).

Tabela 7: Valores obtidos a partir das curvas de DSC.

Amostras	T _g (°C)	T _{Onset} (°C)	Pico (°C)	ΔH (J/g)	Cristalinidade
PEAD puro	-----	121,23	138,73	178,5	-
Açaí puro	56,09	57,8	99,5	-----	-
PEAD-10%	-----	121,5	137,1	167,8	-
PEAD-20%	-----	122,3	139,1	150,4	-
PEAD-30%	-----	123,8	138,1	137,1	-

Fonte: AUTOR (2019).

7. CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de biomassa de casca do açaí no PEAD sobre algumas propriedades dos compósitos de PEAD reforçados com essas fibras e sua possível aplicação em diversas áreas.

Quanto à caracterização dos compósitos as principais conclusões foram:

Baseado nas análises de picnometria de hélio observou-se que a adição da biomassa da casca do açaí ao PEAD não acarretou um aumento significativo na massa específica dos compósitos processados, quando contraposto ao PEAD puro. Esses resultados revelaram-se importantes, pois futuras peças feitas com os compósitos reforçados com as biomassas da casca do açaí apresentarão praticamente o mesmo peso se as mesmas fossem produzidas com PEAD puro e poderá acarretar uma redução de 30% no consumo de PEAD proporcionando uma contenção no valor das peças desenvolvidas.

A partir das análises de resistência a tração, verificou-se que a adição da biomassa de casca de Açaí ao PEAD acarretou uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparados ao PEAD, devido ao fato de que o reforço pode ter promovido uma redução da ductilidade dos compósitos.

Com a realização das análises de resistência a flexão, verificou-se que a adição da biomassa de casca de Açaí ao PEAD acarretou uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparados ao PEAD, de maneira análoga aos resultados encontrados nos ensaios de tração.

Quanto às análises de TGA, foi constatado que a resistência térmica dos compósitos reduziu com as adições de biomassa.

Já as análises de DSC demonstraram que os compósitos apresentaram uma diminuição nos valores de entalpia, diminuição essa coerente com as adições de biomassa da casca do Açaí, que não apresentou fusão apreciável.

Portanto, com a adição da biomassa da casca do açaí no PEAD obteve-se um material com até 30% menos polímero e com propriedades mecânicas e térmicas viáveis para determinadas aplicações do PEAD, podendo produzir produtos mais ecológicos.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Realização dos ensaios mecânicos de impacto e dureza;
- ✓ Caracterização térmica via DMA;
- ✓ Microscopia Eletrônica de Varredura na fratura dos cdp's de tração: verificação da homogeneidade do reforço na matriz;
- ✓ Verificação da cristalinidade via DRX – influência da adição da biomassa de açaí;
- ✓ Determinação do índice de fluidez dos compósitos – verificação da influência da adição da biomassa de casca do Açaí no parâmetro de injeção de peças plásticas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2010.

ALBINANTE, S. R. et al.: **Revisão dos Tratamentos Químicos da Fibra Natural para Mistura com Poliolefinas**. Quim. Nova, v. 36, n. 1, p. 114 – 122, 2013.

AZERA, I.A.T.: **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2006. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/pdf/1046>. Acesso em: 12/08/2019.

BARBOSA JR, V et al.: **Biobased composites from tannin–phenolic polymers reinforced with coir fibers**. *Industrial Crops and Products*, In press, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010001366>. Acesso em: 12/08/2019.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço cana de açúcar**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RUDIN, A. **The Elements of Polymer Science and Engineering**, London, Academic Press, 1982.

RATNA PRASAD, A.V.; MOHANA RAO, K. **Mechanical properties of natural fibre reinforced polyester composites: Jowar, sisal and bamboo**. *Materials and Design*, vol. 32, p. 4658–4663, 2011.

DUC, A. L.; VERGNES, B.; BUDTOVA, T. **Polypropylene/natural fibres composites: Analysis of the fibre dimensions after compounding and observations of fibre rupture by rheo-optics**. *Composites: Part A*, v. 42, p. 1727-1737, 2011.

LEI, Y.; WU, Q. **Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate)**. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 3665-3671, 2010.

ITO, E. N.; PESSAN, L. A.; COVAS, J. A.; HAGE Jr, E. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n.2, p. 83-92, 2004.

GERRY, T.; RON, N. **Structural analysis of thermoplastic components**. New York: Peggy Malnati 1994.

CHANDRAMOHAN, D.; BHARANICHANDAR, J.: **Natural fiber reinforced polymer composites for automobile accessories**. *American Journal of Environmental Science*, Adelaide, IX, n. 6, Janeiro 2013. 494-504. Disponível em: <<http://thescipub.com/abstract/10.3844/ajessp.2013.494.504>>. Acesso em:12/08/2019.

FERNANDES, F.A.N.; LONA. L.M.F : **Introdução à modelagem de sistemas de polimerização**, 2004. Disponível em: http://www.nadp.ufc.br/Material/Polm_Livro.pdf. Acesso em:12/08/2019.

FERNANDES, R.I.M.: **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais modificadas e híbridos: fibras da coroa do abacaxi/polipropileno e fibras da coroa do abacaxi/fibras de vidro/ polipropileno**. Universidade Estadual Paulista-Guaratinguetá/SP 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119013>. Acesso em:12/08/2019.

FRYHLE, C.B.; SNYDER, S.A; SOLOMONS, T.W.G: **ORGANIC CHEMISTRY.12th Edition** 12, 2016. Disponível em: <https://www.amazon.com/...Fryhle-Snyder-Solomons/.../B014AX...> Acesso em:12/08/2019.

MARQUES, L. S., *et al.*: **Avaliação dos Comportamentos Mecânico e Térmico de Laminados de PPS/Fibra de Carbono Processados em Autoclave sob Diferentes Ciclos de Consolidação**. *Polímeros*, vol. 20, nº 4. 2010.

MAZUR, R.L.: **Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas**. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2010. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/.../mazur_rl_dr_guara.pdf?...1... Acesso em:12/08/2019.

MOREIRA, A.M.: **MATERIAIS COMPÓSITOS**. Departamento de Engenharia. Instituto Politécnico de tomar – Escola Superior de Engenharia de tomar. 2009.

NOGUEIRA, C. L.: **Obtenção e Caracterização de Compósitos Termoplásticos Avançados à Base de Matrizes de Polipropileno Reforçados com Fibra de Carbono**. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2004.

OLIVEIRA, J.B. de: **Processamento do compósito de fibra de capim sapê/epóxi e avaliação da resistência a flexão por “t” de student**. Universidade Estadual Paulista-Guaratinguetá/SP 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120286/000736411.pdf?...1.> Acesso em:12/08/2019.

PEACOCK, A. **Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications**: Taylor & Francis, 2000.

PEREIRA, G. B. **Caracterização de compósitos HIPS/fibra da casca do coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2016.

PEREIRA, G. C. **Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana e confecção de manual operacional para aplicação na indústria de Pet Shop**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2016.

PLASTIC RECYCLING. Apud: **Division of Mechanical & Manufacturing Engineering at the Nottingham Trent University**. Disponível em:

<<http://www.domme.ntu.ac.uk/people/alotfi/personal/recycle/plastic.html>>. Acesso em:12/08/2019.

SANTOS, T.P.S.: **Reciclagem de poliestireno expandido: compósito com fibras de algodão para a confecção de placas de circuito impresso**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Guaratinguetá/SP.2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/121051/000736718.pdf?...1>. Acesso em:12/08/2019.

SILVA, C.G. da: **Bagaço de cana de açúcar como reforço de matrizes termorrígidas baseadas em macromoléculas de ligninas**. Universidade de São Paulo- Instituto de Química de São Carlos/SP. 2011. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/...16092011.../CristinaGomes_daSilva.pdf. Acesso em:12/08/2019.

SPINACÉ, M.A.S.: **Compósitos poliméricos com fibras vegetais: Produção dos compósitos, tipos, propriedades, aplicações, desafios, limitações e perspectivas**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC- Centro de Ciências Naturais e Humanas,São Bernardo do Campo Maio / 2015.Disponível em: <https://docplayer.com.br/25246876-Compositos-polimericos-com-fibras-vegetais-pro>. Acesso em:12/08/2019.

TARGA, G. N.: **Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/94902>. Acesso em:12/08/2019.

TRIBECA, 2014: **Empresa que produz e beneficia noz macadâmia**. Disponível em: <<http://www.tribeca.agr.br>>. Acesso em:12/08/2019.

WASILKOSKI, C.M.: **Comportamento mecânico dos materiais poliméricos.** (Tese)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2008. Disponível em: www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/tese/013.pdf. Acesso em:12/08/2019.

WATASHI, C.Y.: **Preparação e caracterização da casca da banana prata particulada para aplicação como reforço em compósito de matriz de PEAD.** Universidade Estadual Paulista-Guaratinguetá/SP 2011. Disponível em: repositorio.unesp.br/handle/11449/121759. Acesso em:12/08/2019.

SAUMA, J et al.: **Caminhos do açaí: Pará produz 95% da produção do Brasil, fruto movimenta US\$ 1,5 bi e São Paulo é o principal destino no país.** <https://g1.globo.com/> 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2019/03/15/caminhos-do-acai-para-produz-95-da-producao-do-brasil-fruto-movimenta-us-15-bi-e-sao-paulo-e-o-principal-destino-no-pais.ghtml>. Acesso em: 09/10/2019