



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



JAIRO DE OLIVEIRA SILVA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE
BAIXA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA DA CASCA DA
*Bertholletia excelsa***

**VOLTA REDONDA
2024**



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



**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE
BAIXA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA DA CASCA DA
*Bertholletia excelsa***

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, sob a orientação da Prof^a Dra. Cirlene Fourquet Bandeira, na área de concentração de Processamento e caracterização de materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais, linha de pesquisa de Materiais Compósitos.

Orientada:
Jairo de Oliveira Silva

Orientadora:
Prof. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

**VOLTA REDONDA
2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

S586o Silva, Jairo de Oliveira
Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da bertholletia excelsa. / Jairo de Oliveira Silva. - Volta Redonda: UniFOA, 2024.

58 p.: Il

Orientador (a): Profa. Cirlene Fourquet Bandeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2024

1. Materiais - dissertação. 2. PEBD. 3. Compósito verde. 4. Castanha do Brasil. I. Bandeira, Cirlene Fourquet. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



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



JAIRO DE OLIVEIRA SILVA

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE
REFORÇADO COM BIOMASSA DA CASCA DA *Bertholletia Excelsa*

Orientadora: Prof^a. Dr^a. 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

Roberto de Oliveira Magnago

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Cirlene Fourquet Bandeira

Prof^a. Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira
Presidente / UniFOA

Ana Carolina Callegario Pereira

Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Callegario Pereira
Examinador interno / UniFOA

André Marques dos Santos

Prof. Dr. André Marques dos Santos
Examinador externo / UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me permitir realizar o mestrado, por mais uma oportunidade de crescimento educacional e pessoal.

Expresso o meu sincero agradecimento a minha esposa Paula Chagas Silva de Oliveira que me impulsionou a iniciar o mestrado e por inúmeras vezes não me deixar desistir, sempre com o seu jeito carinhoso me encorajando a prosseguir!

Aos meus amados filhos Laura Chagas de Oliveira e Pedro Chagas de Oliveira, minha gratidão!

Não poderia deixar de citar o meu agradecimento à orientadora Prof^a. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira pela grande dedicação, carinho e paciência na orientação e também aos demais professores e amigos que contribuíram direto e indiretamente com este trabalho.

Dedico este trabalho a minha amada esposa Paula Chagas de Oliveira por sempre acreditar em mim e mostrar que com o Senhor Jesus eu posso todas as coisas.

Obrigado por estar ao meu lado na conquista de mais um sonho.

"Não fui eu que lhe ordenei?
Seja forte e corajoso, não se apavore,
nem desanime, pois, o Senhor, o seu
Deus estará com você, por onde você
andar."

A Bíblia (Josué 1:9), 2008

SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNC - Associação Brasileira de Nozes, Castanhas e Frutas Secas
ASTM – *American Society for Testing and Material*
cal.g⁻¹ – Calorias por Dia
CP - Corpo de Prova
DMA - Análise dinâmico-mecânica ou *Dynamic Mechanical Analysis*
DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial ou *Differential Scanning Calorimetry*
FT-IR - *Fourier Transforme Infra Red*
HDPE – *Hight Density Polyethylene*
ICI - *Imperial Chemical Industries*
kN – Quilonewton
LDPE - *Low Density Dolyethylene*
LLDPE - *Linear Low Density Polyethylene*
mg - miligramas
mL.min⁻¹ - Mililitros por minuto
m/m - Massa por Massa
MPa - Mega Pascal
PA - Pará
PE - Polietileno
PEAD - Polietileno de Alta Densidade
PEBD - Polietileno Baixa Densidade
PEBDL - Polietileno Linear de Baixa Densidade
PELBD - Polietileno Linear de Baixa Densidade
PEUAPM - Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
PEUBD - Polietileno de Ultra Baixa Densidade
TGA - Análise Termogravimétrica ou *Thermogravimetric Analysis*
Tm - Melting Temperature
TMA – Análise Termomecânica ou *Thermomechanical Analysis*
UHMWPE - *Ultra High Molecular Weight Polyethylene*
ULDPE – *Ultra Low Density Polyethylene*
UVA - Raios Ultravioleta A
UVB - Raios Ultravioleta B
°C – Graus Celsius

$^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ – Graus Celsius por Minuto

$\mu\text{g}.\text{dia}^{-1}$ – Micrograma por Dia

% - Percentual

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de compósitos à base de matriz epoxídica reforçada com fibras contínuas (vidro, carbono e aramida) na fração volumétrica de 0,60	24
Tabela 2 - Propriedades do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e normas utilizadas para sua determinação.....	26
Tabela 3 - Propriedades do Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	28
Tabela 4 - Propriedades do Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD).....	29
Tabela 5 - Propriedades do Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e normas utilizadas para sua determinação.....	30
Tabela 6 - Influência do teor de cromonômero (octeno) sobre as propriedades mecânicas do PE.	31
Tabela 7 - Propriedades mecânicas dos compósitos.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação de compósitos poliméricos de acordo com a disposição do reforço.	24
Figura 2: Representação da cadeia de polietileno.	25
Figura 3: Ilustração da estrutura do PEBD.....	27
Figura 4: Ilustração da estrutura do PEAD.....	27
Figura 5: Ilustração da estrutura do PELBD.....	29
Figura 6: Arvore e fruto da castanha do Pará.....	32
Figura 7: Ouriço e semente.....	33
Figura 8: Nozes comestíveis extraídas da semente.....	33
Figura 9: Despejo inadequado dos resíduos após a extração da semente da castanha do Pará.....	34
Figura 10: Descarte de resíduos nas ruas de Belém do Pará.....	36
Figura 11: Estrutura esquemática do PEBD.....	37
Figura 12: Limpeza da casca da castanha do Pará.....	37
Figura 13: Corpos de prova de tração de acordo com a norma ASTM D638 com dimensões em mm.....	40
Figura 14: Curvas de TGA e DTG das biomassas da casca da castanha do Pará.....	41
Figura 15: Curvas de TGA e DTG do PEBD puro.....	42
Figura 16: Curvas de DSC das biomassas da casca de castanha do Pará.....	43
Figura 17: Curvas de DSC de PEBD.....	43
Figura 18: (a) Casca da castanha do Pará após limpeza e secagem (b) Casca da castanha do Pará após passar pelo moinho de facas (c) Casca da castanha do Pará após passa pelo moinho elétrico.....	44
Figura 19: Família de compósitos com 0%, 10%, 20% e 30% m/m (respectivamente de cima para baixo) de biomassa moída.....	44
Figura 20: Compósitos após triturados no moinho de facas com 0%, 10%, 20% e 30% m/m (respectivamente da esquerda para a direita).....	45
Figura 21: Corpos de prova de tração com 0%, 10%, 20% e 30% m/m (respectivamente da esquerda para a direita) de biomassa.....	45

SILVA, J. O. **Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da *Bertholletia excelsa***. 2024. 59f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

RESUMO

O mercado consumidor tem direcionado, cada vez mais, os fabricantes no sentido de manufaturar produtos que causem pouco ou nenhum impacto ambiental. Neste sentido os compósitos “verdes” têm ganhado espaço, não apenas por reduzirem, nas peças, a quantidade de polímeros oriundos do petróleo, mas por sua substituição por materiais renováveis muitas vezes fruto do descarte do agronegócio. Dentre os polímeros, os termoplásticos têm vasta aplicabilidade, seja por suas características únicas, seja por seu baixo preço e facilidade de obtenção, especialmente PEBD (Polietileno de baixa densidade) que juntamente com os resíduos do agronegócio (casca da castanha do Brasil ou do Pará) que vem crescendo na região norte do Brasil tem se mostrado atrativo para ambas as partes. Sendo assim, o resíduo da casca da castanha do Pará, que representa para o agronegócio um produto descartado gerador de 1,4 toneladas por tonelada de noz processada, pode ser reinserido nos processos produtivos. Com vista nestes dados, o objetivo deste trabalho foi o de manufaturar três famílias de compósitos nas proporções de 10%, 20% e 30% (m/m) usando um misturador termocinético (Dryzer) para mistura e uma injetora para fabricação dos corpos de provas e/ou peças que se desejam obter. As caracterizações foram feitas através de DSC, TGA, e Ensaio de Tração. A partir das análises de TGA foi possível determinar as temperaturas de degradação da fibra, que é superior à de fusão do polímero, permitindo seu uso para fabricação do compósito. As amostras com reforços apresentaram aumento do módulo elástico e da tensão de escoamento com o aumento do percentual de biomassa em comparação ao polímero puro. Entretanto, houve uma diminuição da tensão máxima, não sendo linear seu comportamento mecânico. Os compósitos obtidos contribuirão para a diminuição do uso de material de origem no petróleo e reduzirão o descarte de resíduos da agroindústria.

Palavras-Chave: PEBD, Castanha do Brasil, DSC e TGA, Compósito verde, Reaproveitamento.

SILVA, J. O. **Obtaining and characterizing of low-density polyethylene composites reinforced with *Bertholletia excelsa* biomass**. 2024. 59f. Dissertation (Professional Master's Degree in Materials) – Fundação Oswaldo Aranha, Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

ABSTRACT

The consumer market has increasingly driven manufacturers to manufacture products that cause little or no environmental impact. In this sense, “green” composites have gained ground, not only because they reduce the amount of petroleum-based polymers in parts, but also because they are replaced by renewable materials that are often the result of agribusiness waste. Among polymers, thermoplastics have a wide range of applications, both due to their unique characteristics and their low price and ease of obtaining, especially LDPE (low-density polyethylene), which, together with agribusiness waste (Brazil nut shells) that have been growing in the northern region of Brazil, has proven attractive to both parties. Therefore, Brazil nut shell waste, which represents a discarded product for agribusiness that generates 1.4 tons per ton of processed nut, can be reinserted into production processes. In view of these data, the objective of this work was to manufacture three families of composites in proportions of 10%, 20% and 30% (m/m) using a thermokinetic mixer (Dryzer) for mixing and an injector to manufacture the desired specimens and/or parts. The characterizations were performed through DSC, TGA and Tensile Tests. From the TGA analyses it was possible to determine the fiber degradation temperatures, which are higher than the polymer melting temperatures, allowing their use for manufacturing the composite. The samples with reinforcements showed an increase in the elastic modulus and yield stress with the increase in the biomass percentage compared to the pure polymer. However, there was a decrease in the maximum stress, and their mechanical behavior was not linear. The composites obtained will contribute to the reduction of the use of petroleum-based material and will reduce the disposal of waste from the agroindustry.

Key words: LDPE, Brazil nuts, DSC and TGA, Green composite, Reuse.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivo	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Polímeros	18
2.1.1. Classificação dos Polímeros	18
2.1.2. Propriedades Mecânicas	20
2.2. Compósitos.....	18
2.3. Polietileno	18
2.3.1. Tipos de Polítilenos	25
2.4. Castanha do Pará.....	32
2.5. Compósitos Poliméricos Reforçados com Biomassa	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. Materiais	36
3.1.1. Castanha do Pará	36
3.1.2. Polietileno de Baixa Densidade	36
3.2. Métodos.....	37
3.2.1. Obtenção da Biomassa da Casca da Castanha do Pará	37
3.2.2. Obtenção dos Compósitos de PEBD/Casca da Castanha do Pará	38
3.2.3. Confeção dos Corpos de Prova	38
3.2.4. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	39
3.2.5. Análise Termogravimétrica (TGA)	39
3.2.6. Ensaio de Tração	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1. Biomassa da Casca da Castanha do Pará e do PEBD	43
4.1.1. Análise Termogravimétrica	41
4.1.2. Calorimetria Exploratória Diferencial	42
4.2. Obtenção da Biomassa Moída	43
4.3. Obtenção dos Compósitos PEBD/Biomassa para Injeção	44
4.4. Injeção para Obtenção dos Corpos de Prova.....	45
4.5. Ensaio de Tração	46
5. CONCLUSÃO	47
6. TRABALHOS FUTUROS	48

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	49
ANEXO 1	58

1. INTRODUÇÃO

A necessidade crescente por novos materiais vem aumentando nas últimas décadas, trazendo um grande desenvolvimento tecnológico e econômico para várias regiões. Entretanto, em seu rastro, é possível notar uma série de problemas ambientais presente em toda a extensão da cadeia produtiva. Em decorrência disto, várias metodologias vêm sendo aplicadas no sentido de mitigar estes impactos negativos (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; MULINARI, 2009).

Visando melhores resultados, os “materiais verdes”, cuja concepção se baseia no planejamento e gerenciamento de todo o processo produtivo, de forma a evitar ou diminuir a degradação ambiental, vem se destacando (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; MULINARI, 2009; OLIVEIRA, 2013).

Neste contexto, a utilização de compósitos poliméricos que usam reforço de biomassa, vem crescendo, visto que estes materiais auxiliam na diminuição do uso de derivados de petróleo, trazem melhorias significativas da resistência à tração e à fratura, vantagens como excelente integridade, baixo peso molecular e conformabilidade. Além disso, este tipo de produto, tem um apelo promocional em marketing que atrela a imagem da empresa as boas práticas ambientais (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; HUDA; YANG, 2008; LORANDI; CIOFFI.; HEITOR, 2016; OLIVEIRA, 2013).

Estas biomassas são encontradas em grande quantidade em países tropicais tais como o Brasil. Especialmente nas áreas de floresta Amazônica que apresenta grande biodiversidade. Nesta região, é comum a extração de produtos nativos, tais como a castanha do Pará ou castanha do Brasil para consumo interno ou exportação, com representatividade significativa na economia. Esta castanha é largamente consumida na forma natural ou torrada e é usada para fabricação de doces, farináceos ou para extração de óleos utilizados na confecção de cosméticos e tintas (NASCIMENTO, 2012; FAUSTINO; WADT, 2014).

As amêndoas são extraídas das sementes, que se apresentam conjugadas entre 12 e 25 unidades formando os frutos denominados de ouriços. Elas são revestidas por uma casca maciça e resistente, que é descartada posteriormente em lixões, de forma incorreta, causando problemas ambientais (NASCIMENTO, 2012; FAUSTINO; WADT, 2014).

A produção anual de ouriços, no Brasil, gira em torno de 40 ton/ano, com uso restrito a confecção de artesanatos, na fabricação de briquetes usados como combustíveis em fornalhas e caldeiras e como biofertilizante, deixando claro que a utilização destes resíduos está aquém do seu potencial de aplicabilidade (ANJOS et al., 2017; FAUSTINO, 2014; FECOMERCIO SP, 2014; NOGUEIRA, 2011; NOGUEIRA; LAHR; GIACON, 2018).

Em decorrência disto, vários pesquisadores têm voltado a sua atenção no desenvolvimento de compósitos que utilizam, além de fibras e/ou biomassa, materiais poliméricos termoplásticos tais como o polietileno (PE) (MAZUR, 2010; PETRECHEN; AMBROSIO, 2016; ROSÁRIO et al., 2011).

O polietileno (PE) apresenta estrutura parcialmente cristalina e flexível, obtido durante a reação de polimerização do etileno. Por ser um material de cadeia simples, quimicamente inerte, com processo de fabricação fácil e a baixo custo, sua produção é elevada, sendo um dos polímeros mais utilizados mundialmente para manufatura de embalagens, cabos, fios entre outros materiais através de processos variados de injeção, remodelagem, sopro e extrusão (CANDIAN, 2007; MESQUITA, 2010, MUNDO DO PLÁSTICO, 2019).

Em vista do que foi exposto, e tendo como foco principal o âmbito tecnológico nacional, este estudo pretende colaborar com o acréscimo de experiência na obtenção e caracterização de compósitos de castanha do Pará e Polietileno, de forma a obter um material com aplicações mais nobres e com valor agregado final melhor de forma a contribuir na sua viabilidade econômica.

1.1. Objetivo

O presente trabalho visa desenvolver e caracterizar materiais compósitos nas proporções 10%, 20% e 30% m/m, utilizando polietileno (PE) com reforço de biomassa vegetal oriunda da casca da castanha do Pará.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos teóricos e fundamentos importantes que dão sustentação a esta pesquisa para elaboração desta dissertação de mestrado.

2.1. Polímeros

Polímero é um termo genérico utilizado para designar materiais formados pela repetição de milhares de unidades denominadas meros que são ligadas, normalmente, por ligações covalentes. Cada unidade de repetição recebe a denominação de monômero que, dependendo das características físico-químicas, do número de meros por molécula e do tipo de ligação (covalente ou não), podem ser classificadas de várias formas (CANEVAROLO JR., 2010).

2.1.1. Classificação dos Polímeros

A classificação dos polímeros pode ser feita de formas variadas. As mais comuns são: (CANDIAN, 2007; CANEVAROLO JR., 2010; MORASSI, 2013).

- Quanto à origem – Neste caso, os polímeros são separados em:
 - ✓ Naturais – são obtidos diretamente da natureza (ex. celulose);
 - ✓ Sintéticos – são obtidos através de processos de polimerização (ex. resina epóxi);

Alguns autores tais como Candian (2007), aceitam uma classificação intermediária.

- ✓ Artificiais – que são oriundos da modificação de polímeros naturais através de processos químicos (ex. celuloide).
- Quanto ao grau de cristalinidade – Quando no estado sólido, os polímeros podem ser:
 - ✓ Amorfos – que se caracteriza pela aleatoriedade do arranjo das moléculas.

- ✓ Semicristalino – Neste caso, aproximadamente 20% do total das moléculas, apresentam-se na forma cristalina.

Entretanto, os polímeros não são totalmente cristalinos devido a sua estrutura (peso molecular, ramificações, etc.). Além disso, estas interações moleculares os tornariam duros e resistentes, sendo inapropriados para moldagem (CANDIAN, 2007; TAVARES et al., 2000).

O grau de cristalinidade, teor de cristalinidade ou percentual de cristalinidade pode afetar diversas propriedades destes materiais (ex. quanto maior o peso molecular e/ou o número de ramificações menor o grau de cristalinidade). Sendo assim, é de extrema importância sua determinação uma vez que pode ser afetado pelo tipo de processamento sofrido (CANDIAN, 2007; TAVARES et al., 2000).

- Quanto à estrutura química – Levando em conta a composição química dos meros, eles podem ser classificados em:
 - ✓ Homogêneos (ou de cadeia carbônica) – Que possuem, na cadeia principal, apenas átomos de carbono;
 - ✓ Heterogêneos – Que possuem, em sua cadeia principal, pelo menos, um heteroátomo que pode ser nitrogênio, oxigênio, silício e enxofre entre outros.
- Quanto ao comportamento mecânico – Os polímeros podem ser classificados como:
 - ✓ Plásticos – Estes materiais são sólidos à temperatura de utilização que é, normalmente, próxima à ambiente;
 - ✓ Elastômeros – Os materiais apresentam capacidade de deformação elevada (mínimo 2x seu tamanho original) com retorno ao comprimento original após cessar o esforço.

Estas moléculas flexíveis apresentam-se presas umas às outras através de ligações cruzadas (CANEVAROLO JR., 2010).

- ✓ Fibras – Para serem consideradas como tal, o material orientado, no sentido longitudinal (ou eixo principal da fibra) deve apresentar

a condição geométrica que determina L/D (Comprimento/Diâmetro) ≥ 100 .

- Quanto ao comportamento térmico – Quando expostos ao calor estes materiais podem ser divididos em:
 - ✓ Termoplásticos – Quando expostos ao calor, esta classe polimérica se torna moldável (sofre amolecimento) que é revertido com o resfriamento.

Sendo assim, este material pode ser remoldado várias vezes através da repetição do ciclo de aquecimento e resfriamento, o que possibilita sua reciclagem (CANDIAN, 2007; CANEVAROLO JR., 2010).

- ✓ Termorrígidos (ou termofixos) – São materiais que durante o primeiro aquecimento sofrem um processo de cura, não podendo ser amolecido novamente por outro aquecimento, o que não permite reciclagem direta.
- Quanto ao tipo de aplicação – Podem ser classificados como:
 - ✓ De uso geral – Apresentam baixo custo, fácil processabilidade, nível de exigência mecânica baixo e elevada produção que contabiliza, aproximadamente, 90% da produção total de polímeros em termos mundiais;
 - ✓ Engenharia – É utilizada na confecção de peças com bom desempenho em dispositivos mecânicos. Logo, devem possuir boa tenacidade, alta resistência mecânica (rigidez) e excelente estabilidade dimensional;
 - ✓ Especial – São polímeros com características especiais, com conseqüente, custo / benefício elevado se comparado aos demais polímeros.

2.1.2. Propriedades Mecânicas

O comportamento mecânico de um determinado material pode ser definido como a resposta a uma solicitação (tensões ou deformações) que o mesmo sofra durante sua vida útil (CANDIAN, 2007; SANTOS, 2018).

Entretanto, vale ressaltar que estas solicitações em polímeros não apresentam comportamento linear, ou seja, não estão, na maioria das vezes, relacionadas por constantes de proporcionalidade (CANDIAN, 2007; CASSU; FELISBERT, 2005).

As respostas a estas solicitações mecânicas dependem de (CANDIAN, 2007):

- Fatores estruturais tais como peso molecular, composição química, orientação molecular ou reforços, cristalinidade, etc;
- Outras variáveis tais como temperatura, velocidade de deformação, intemperismo, tipo ou tipos de solicitação, condições de manufatura das amostras, etc.

Segundo Candian (2007) e Marczak (2004), as propriedades mecânicas de maior importância para os materiais plásticos são:

- Modulo Elasticidade (E) – Esta propriedade influencia diretamente a rigidez do elemento poliméricos que são mais suscetíveis as variações de temperatura do que nos metais, bem como mais dependes do tempo de carregamento.
- Resistencia – esta propriedade é depende da temperatura, mas fatores tais como velocidade de carregamento e fatores ambientais (umidade) também são preponderantes.
- Coeficiente de Poisson (U) – com variação em plásticos entre 0,2 e 0,4, esta propriedade é extremamente dependente da temperatura, bem como do tempo de aplicação da carga.
- Fluência – corresponde a deformação plástica de um material que aumenta ao longo do tempo, quando o mesmo é submetido a cargas ou tensões constantes, sendo maior em materiais termorrígidos do que em termoplásticos.
- Relaxação – esta propriedade corresponde a diminuição da tensão, sob deformação constante, ao longo do tempo.
- Resistencia à Fadiga – esta propriedade depende de fatores tais como: temperatura, composição química do material, frequência da solicitação (tensões e das deformações) e da amplitude das mesmas. Além disso, a histerese, que se caracteriza pela capacidade do polímero preservar

uma deformação efetuada por um estímulo, pode provocar mudanças de temperatura incontroláveis durante o processo.

- Resistência ao Impacto – esta propriedade avalia o comportamento de uma amostra sob uma solicitação de alta carga (impacto) em um tempo curto à alta velocidade visando comparar a resistência dos materiais para uma determinada aplicação.

Além dessas propriedades mencionadas outras se apresentam igualmente importantes para os termoplásticos (CANDIAN, 2007). Dentre estas estão as propriedades físicas (temperatura máxima e mínima de uso à exposição contínua, peso específico, absorção de umidade), as propriedades térmicas (condutividade térmica, calor específico, temperatura máxima de uso à curta exposição, coeficiente de expansão térmica, temperatura de transição vítrea, ponto de fusão, entalpia, temperatura de fusão cristalina, temperatura de distorção térmica, inflamabilidade e ponto de amolecimento “Vicat”), as propriedades elétricas (fator de perda dielétrica, constante dielétrica, rigidez dielétrica, resistividade volumétrica, e resistência superficial), as propriedades químicas (resistência a ácidos fracos e fortes, resistência a bases fracas e fortes e resistência a raios UVA e UVB), além de outras propriedades mecânicas (tensão de fluência, dureza e coeficiente de atrito) (CANDIAN, 2007; BOEIRA; BECK, 2007; RASIA, 2009; DA SILVA, 2021).

Sendo assim, para evitar falhas em uma peça de origem polimérica, é de extrema importância que a mesma apresente um bom desempenho mecânico durante sua vida útil dentro de uma determinada aplicação para o qual foi projetada (CANDIAN, 2007; CASSU; FELISBERT, 2005; SANTOS, 2018).

Caso isso não ocorra, faz-se necessário a substituição parcial (formação de compósitos) ou total dos polímeros por outros materiais (metais, cerâmicos, etc.) que atendam às necessidades do produto e essa mudança que é determinada com base nas propriedades e características apresentadas pelos componentes (CANDIAN, 2007; DA SILVA, 2021).

2.2. Compósitos

Novos materiais vêm sendo desenvolvidos visando atender requisitos de projeto e a demanda do mercado que se apresenta cada vez mais exigente em relação à desempenho e custo (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Estes materiais denominados de compósitos resultam da mistura de dois ou mais partes distintas que dão origem a um terceiro produto que apresenta características diferentes das dos anteriores separadamente (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

As partes constituintes dos compósitos recebem o nome de matriz, que apresenta como função principal distribuir as cargas resultantes das solicitações sofridas pela peça, e o reforço que auxilia a manutenção da estrutura e é responsável por resistir aos esforços sofridos (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019; VIDAL, 2014).

A parte denominada matriz pode ser composta por um material polimérico termorrígido ou termoplástico, um metal ou um material cerâmico. Já o reforço, pode ser formado de fibras contínuas ou descontínuas, materiais particulados ou qualquer material de interesse. Desta forma, os compósitos apresentam um largo espectro de aplicabilidade nas mais diversas áreas do conhecimento (BANDEIRA, 2015; COSTA, 2018; OLIVEIRA, 2015).

Além disso, as propriedades do produto final vão depender da sua morfologia, das interações intermoleculares e da distribuição das fases (Tabela 1). Sendo assim, dois compósitos com a mesma composição química, podem apresentar propriedades distintas em função da sua estrutura (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

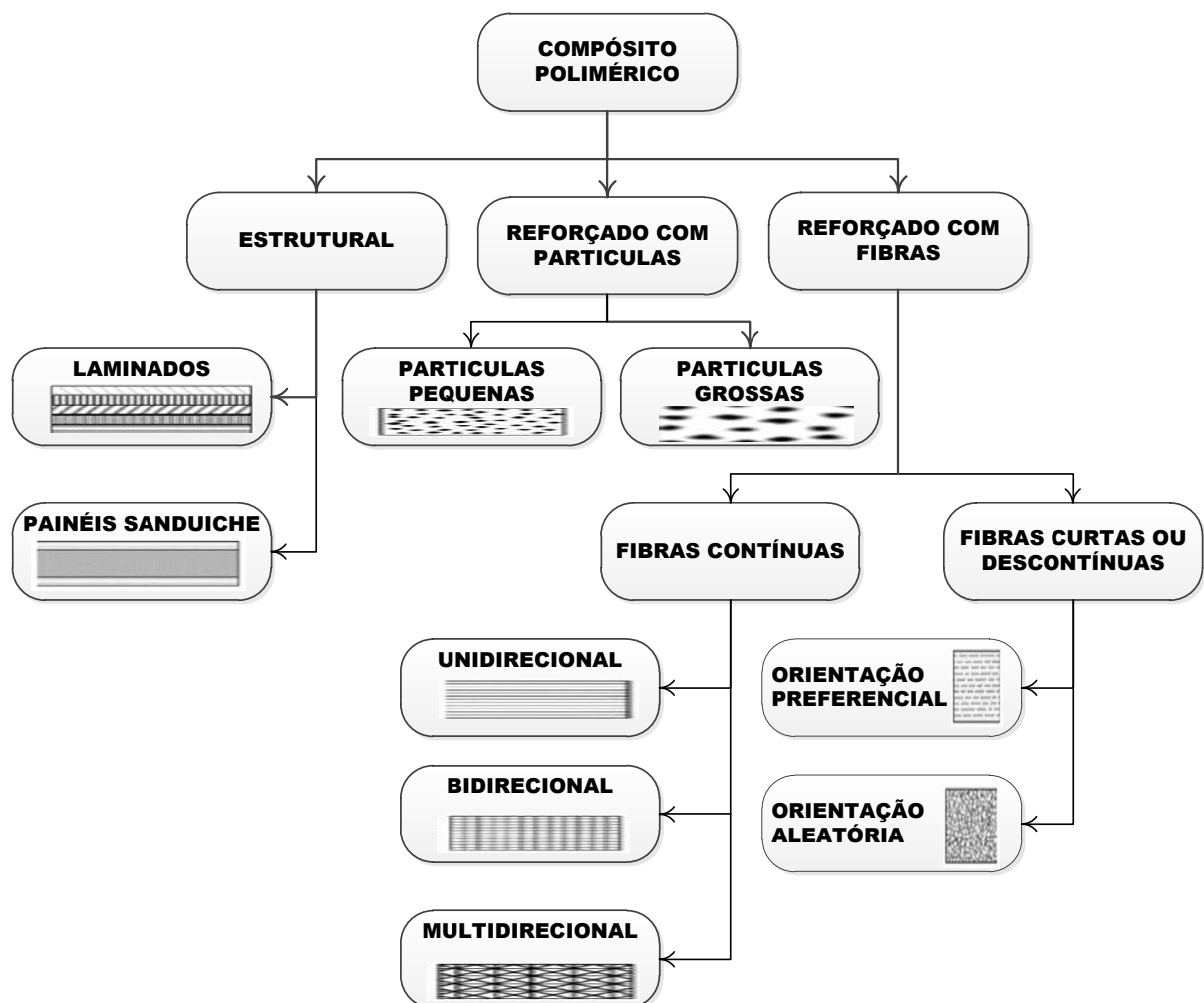
Em decorrência disso, é comum classificar os compósitos poliméricos, de acordo com sua morfologia em estruturais, reforçados com partícula e reforçado com fibras (Figura 1) (CARVALHO, 2019; KARAK, 2012; OLIVEIRA, 2018).

Tabela 1- Propriedades mecânicas de compósitos à base de matriz epoxídica reforçada com fibras contínuas (vidro, carbono e aramida) na fração volumétrica de 0,60.

Propriedades		Vidro	Carbono	Aramida
Massa específica (g.cm ⁻³)		2,1	1,6	1,4
Módulo de tração:				
	Longitudinal (GPa)	45	145	76
	Transversal (GPa)	12	10	5,5
Limite de resistência à tração				
	Longitudinal (MPa)	1020	1240	1380
	Transversal (MPa)	40	41	30
Deformação no limite de resistência à tração:				
	Longitudinal (%)	2,3	0,9	1,8
	Transversal (%)	0,4	0,4	0,5

Fonte: BANDEIRA (2015).

Figura 1- Classificação de compósitos poliméricos de acordo com a disposição do reforço.



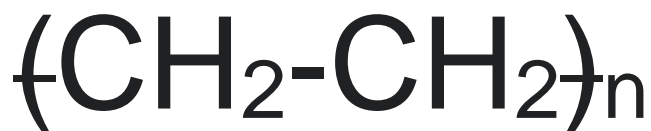
Fonte: CARVALHO (2019) Adaptado de KARAK, (2012).

2.3. Polietileno

O polietileno (PE) foi descoberto em 1933 por Reginald Gibson e Eric Fawcett em pesquisas realizadas na indústria britânica *Imperial Chemical Industries* (ICI) (SILVEIRA, 2012), sendo um dos polímeros mais produzido e consumido no mundo, com um mercado estimado em 135 milhões de t.ano⁻¹ segundo dados da Associação Brasileira dos Distribuidores de Resinas Plásticas e Afins (Adirplast) e obtidos pela revista *Plástico Moderno* (PACHIONE, 2023).

Este polímero termoplástico, simples quimicamente (Figura 2), é semicristalino, flexível, inerte à maioria dos produtos químicos comuns e apresentam uma natureza parafínica cujas propriedades são afetadas pela quantidade relativa das fases cristalina e amorfa do sistema. Ele pode ser usado na fabricação de embalagens, filmes plásticos, sacos, garrafas, cabos, geomembranas, etc. (CABRAL, et al., 2016).

Figura 2- Representação da cadeia de polietileno.



Fonte: PIATTI; RODRIGUES (2005).

Este polímero é obtido por diferentes reações de polimerização (aniônica, por coordenação, radical ou catiônica) do etileno, dando origem a diferentes tipos de polietilenos.

2.3.1. Tipos de Polietilenos

As diferentes reações de polimerização empregadas no etileno podem dar origem a cinco diferentes tipos de polietileno, que são (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003):

- Polietileno de baixa densidade (PEBD ou em inglês *LDPE*)

O PEBD pode ser sintetizado através de processos de polimerização por adição, onde o monômero (eteno) na forma gasosa, é comprimido a temperaturas elevadas em reatores tubulares ou em autoclaves (BARBOSA, et al., 2016). Sendo, o controle deste processo, especialmente no tocante à densidade, ao índice de fluidez, e a aparência do filme tubular, de extrema importância na obtenção das propriedades do produto final tais como cristalinidade em torno de 50% a 60% (fazendo com que ele seja, portanto, semicristalino), tenacidade, alta resistência ao impacto e flexibilidade, boa estabilidade e processabilidade, propriedades elétricas excelentes e temperatura de fusão (T_m) entre 102 °C e 120 °C (Tabela 2) (Figura 3) (BARBOSA, et al., 2016; BRASKEM, 2019, COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; DA CRUZ, 2010; DA SILVA; DA SILVA, 2017).

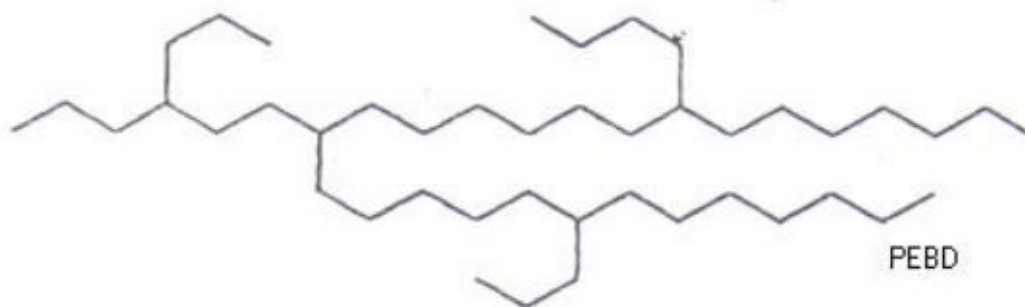
Este polímero que apresenta ramificações longas, responsáveis por sua elevada resistência ao impacto, baixa densidade e facilidade de processamento, após sua obtenção, em geral na forma de *pelets*, podem ser processados de diversas formas (moldagem por sopro, extrusão e moldagem por injeção), o que permite a fabricação e seu uso em filmes, embalagens, revestimentos de fios e cabos, mangueiras e tubos (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; DA CRUZ, 2010; DA SILVA; DA SILVA, 2017).

Tabela 2- Propriedades do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e normas utilizadas para sua determinação.

Propriedades	Método ASTM	Valores
Densidade (g.cm^{-3})	D 792	0,912-0,925
Temperatura de fusão cristalina (°C)	_____	102-120
Índice de refração (n_D)	D 542	1,51-1,52
Tração no escoamento (Mpa)	D 638	6,2-11,5
Alongamento no escoamento (%)	D 638	100-800
Resistência à tração (Mpa)	D 638	6,9-16
Alongamento máximo (%)	D 638	100-800
Módulo elástico (Mpa)	D 638	102-240
Dureza Shore D	D 676	40-50

Fonte: COUTINHO; MELLO; MARIA (2003); BRASKEM (2019).

Figura 3- Ilustração da estrutura do PEBD.



Fonte: Adaptado de WOLF (2004).

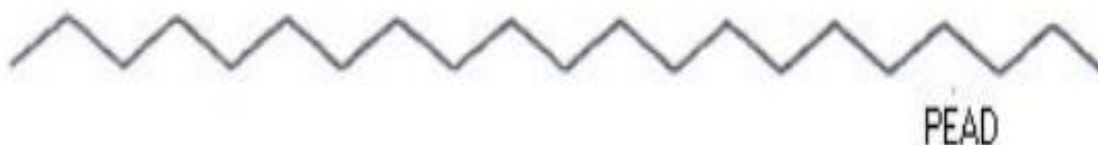
- Polietileno de alta densidade (PEAD ou *HDPE*)

O polietileno de alta densidade e outras olefinas industrialmente disponíveis, são formados, principalmente, por dois processos de polimerização que utilizam catalisadores (Ziegler-Natta ou Phillips) (COSTA, et al., 1997; FREITAS, 2018; WOLF, 2004).

Esta síntese do PEAD ocorre sob pressões moderadas (entre 10 a 15 atm) e a temperaturas na ordem de 20 °C a 80 °C (COSTA, et al., 1997; FREITAS, 2018; WOLF, 2004).

Sua estrutura linear (Figura 4), confere, a este polímero, maior densidade e resistência à exposição a ácidos e outros solventes, com temperaturas de fusão (T_m) entre 130 e 135 °C (Tabela 3), o que permite ao mesmo ser aplicado em diferentes seguimentos industriais, através de processos de extrusão, sopro e moldagem por injeção para obtenção de bandejas, bacias e baldes, brinquedos, caixas d'água, assentos sanitários, sacos de lixo, sacola de supermercados, etc. (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; DA CRUZ, 2010; FREITAS, 2018).

Figura 4- Ilustração da estrutura do PEAD.



Fonte: Adaptado de WOLF (2004).

Tabela 3- Propriedades do Polietileno de Alta Densidade (PEAD).

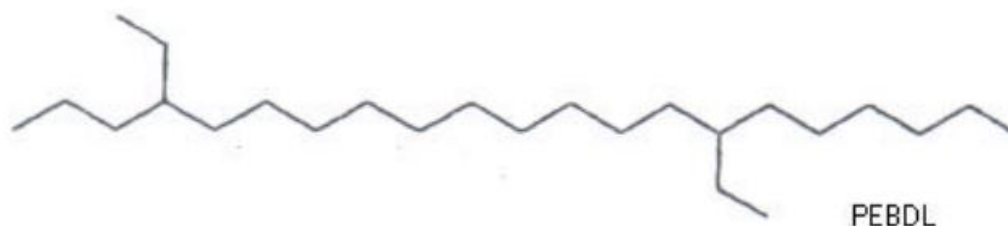
Propriedades	Valores
Densidade (g.cm ⁻³)	0,94-0,97
Grau de cristalinidade (% relativo à densidade)	62-82
Grau de cristalinidade (% relativo à calorimetria)	55-77
Módulo de flexão (MPa @ 23 °C)	1000-1550
Módulo de tração (MPa)	1060-1380
Tensão de escoamento (MPa)	18-31
Tensão de ruptura (MPa)	22-31
Alongamento à ruptura (%)	10-1500
Dureza Shore D	66-73
Resistência ao impacto Izod ((ft-lb).in ⁻¹ de entalhe)	0,4-4,0
Temperatura de fusão (°C)	125-132
Calor de fusão (cal.g ⁻¹)	38-53

Fonte: Adaptado de FREITAS (2018).

- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE ou PEBDL)

O Polietileno linear de baixa densidade (PELBD) é um copolímero de etileno com uma α -olefina, tais como 1-buteno, 1-octeno, 1-hexeno ou propeno, preparado a partir de catalizadores tipo Ziegler-Natta ou metallocênicos, sendo que este último gera ramificações mais homogêneas que o primeiro, a pressão aproximada de 145 MPa e temperatura de no máximo 200 °C, usando técnicas variadas, tendo como uma das principais os hidrocarbonetos como solventes em diferentes tipos de reatores (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; FREITAS, 2018; WOLF, 2004).

A polimerização se dá por mecanismo de coordenação aniônica, com propagação por coordenação e inserção do monômero na ligação metal de transição-carbono produzindo um polímero de cadeia linear, com ramificações curtas (Figura 5), cujo peso molecular se encontra disperso em uma faixa de menor espectro que o do PEBD (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; FREITAS, 2018; WOLF, 2004).

Figura 5- Ilustração da estrutura do PELBD.

Fonte: Adaptado de WOLF (2004).

Dependendo do processo de polimerização, da α -olefina utilizada e do teor de ramificações, bem como de seu peso molecular e teor de cristalinidade, este copolímero termoplástico apresenta propriedades físicas distintas tais como: densidade, resistência à tração, dureza e rigidez que permitem sua utilização em embalagens, filmes, absorventes, fios e cabos, etc. (Tabela 4) (WOLF, 2004).

Tabela 4- Propriedades do Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD).

Propriedades	Valores
Densidade (g.cm ⁻³)	0,90-0,94
Grau de cristalinidade (% relativo à densidade)	34-62
Grau de cristalinidade (% relativo à calorimetria)	22-55
Módulo de flexão (MPa @ 23 °C)	275-1100
Módulo de tração (MPa)	262-896
Tensão de escoamento (MPa)	7,6-19,3
Tensão de ruptura (MPa)	13-44,8
Alongamento à ruptura (%)	100-950
Dureza Shore D	55-70
Resistência ao impacto Izod ((ft-lb).in ⁻¹ de entalhe)	0,35-Sem rompimento
Temperatura de fusão (°C)	100-125
Calor de fusão (cal.g ⁻¹)	70-150

Fonte: Adaptado de FREITAS (2018).

- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE)

O Polietileno de Ultra Alta Massa Molar ou PEUAMM é obtido por polimerização contínua ou em batelada, através de processos em lama (mais utilizado), em solução ou em massa, que usam o catalizador Ziegler-Natta dando origem a um pó fino que pode ser moldado por compressão ou extrusado (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003).

Este processo de polimerização ocorre entre 1 e 30 kgf.cm⁻¹, a temperatura máxima de 200 °C em várias etapas que utilizam, geralmente, hidrocarboneto (pentano, isobutano ou hexano) como solvente inerte (HORTÊNCIO, 2019).

Este homopolímero semicristalino linear, não ramificado, branco e opaco, apresenta alta densidade (0,93 – 0,94 g.cm⁻³), baixa temperatura de transição vítrea (T_g) que se apresenta na faixa de –100 °C à –125 °C, temperatura de fusão (T_m) em torno de 135 °C e cristalinidade em torno de 45%, sendo resistente a abrasão, à corrosão, à fadiga cíclica, à fratura por impacto, à produtos químicos, possuindo baixo coeficiente de atrito e elevada dureza (Tabela 5) (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; HORTÊNCIO, 2019).

Por suas características pode ser aplicado na fabricação de tubos, gaxetas, roletes, bicos, tampas de caixas de sucção, mancais, redutores de ruídos, etc. (HORTÊNCIO, 2019).

Tabela 5- Propriedades do Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e normas utilizadas para sua determinação.

Propriedades	Método ASTM	Valores
Viscosidade intrínseca (dL.g ⁻¹)	D 4020	24
Peso molecular médio (g.mol ⁻¹)	-----	6 x 10 ⁻⁶
Densidade (g.cm ⁻³)	D 792	0,925
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	D 1895	0,450
Resistência a tração no escoamento (MPa)	D 638	>17
Resistência à tração na ruptura (MPa)	D 638	>30
Alongamento final (%)	D 638	>300
Resistência ao impacto IZOD (J.m ⁻¹)	D 256	Não fratura
Dureza Shore D	D 2240	64
Temperatura de fusão (°C)	D 3418	133

Fonte: Adaptado de HORTÊNCIO (2019).

- Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE)

O PEUBD, sintetizado por copolimerização, através do uso de catalisadores metalocênicos, que propiciam a formação de homopolímeros de etileno com ramificações longas, que são geradas pela incorporação de cadeias polietilênicas específicas e que determinam as propriedades do polímero de acordo com o comprimento e o teor das ramificações (Tabela 6), é o mais novo membro desta família polietilênica (BATISTA; KIECKOW, 2016; COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003).

Ele se caracteriza por possuir, em geral, densidade muito baixa ($0,865 \text{ g.cm}^{-3}$), baixo módulo, melhor resistência ao impacto, maior flexibilidade, transparência e facilitam de processamento (BATISTA; KIECKOW, 2016; COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003).

Tabela 6- Influência do teor de cromonômero (octeno) sobre as propriedades mecânicas do PE.

Teor de octeno (%)	0	20
Propriedades		
Ponto de fusão (°C)	133	70
Módulo (MPa)	965	21
Transparência (%)	13	100
Impacto (g)	40	1200
Elasticidade (%)	20	95
Densidade (g.cm^{-3})	0,955	0,880

Fonte: Adaptado de COUTINHO; MELLO; MARIA (2003).

Este polímero é usado, principalmente, como resina modificadora para PEAD, PEBD e PP, visando alterar a densidade e, em alguns casos, melhorar a resistência ao impacto, a resistência ao rasgo e a flexibilidade dos polímeros (BATISTA; KIECKOW, 2016; COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; SUZUKI, 2009).

Sendo um termoplástico com elevada capacidade de selagem, é muito utilizado em embalagens visando evitar vazamentos ou infiltrações. Além disso, é aplicado na manufatura de filmes de uso industrial, absorventes, fraldas descartáveis, revestimento de fios e cabos, lonas em geral, brinquedos, artigos farmacêuticos, entre outros (BATISTA; KIECKOW, 2016; COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; SUZUKI, 2009).

2.4. Castanha do Pará

A castanha do Pará, castanha do Brasil ou castanheira foi cientificamente denominada de *Bertholletia excelsa* em 1807 por Humboldt e Bonpland, sendo a única espécie no gênero *Bertholletia* (Figura 6) (DOS SANTOS et al., 2006).

Esta castanha apresenta grande importância econômica na região amazônica. Sua estrutura arbórea fornece uma madeira de qualidade (cuja extração é proibida devido à legislação ambiental) e frutos denominados popularmente de ouriço que apresenta rigidez natural e que se caracteriza como resíduo de atividades extrativistas (DA CRUZ; ANDRADE, 2022; NOGUEIRA, 2011; NOGUEIRA; LAHR; GIACON, 2018).

Em termos botânicos, esta castanha, que faz parte da família *Lecythidaceae*, apresenta as sementes como parte comestível (DA SILVA, 2019).

Figura 6- Arvore e fruto da castanha do Pará.



Fonte: Adaptado de MUDAS HERCULÂNDIA (2023).

As sementes contidas no ouriço (Figura 7) levam, aproximadamente, 14 meses para estarem amaduradas. Cada ouriço pode conter entre 8 a 24 sementes que possuem a forma triangular com tamanho médio de 5 cm de comprimento e 2 cm de largura. Após processado para extração das nozes comestíveis (Figura 8), o fruto, que chega a pesar até 2 kg, gera cerca de 90% de resíduo (CARDOSO et al, 2017; DA SILVA, 2019; PETRECHEN; AMBRÓSIO, 2016).

Figura 7- Ouriço e semente.



Fonte: AUTOR (2024).

Figura 8- Nozes comestíveis extraídas da semente.



Fonte: Adaptado de ABNC (2023).

Sendo assim, de cada tonelada de castanha processada, são geradas 1,4 toneladas de resíduos, o que causa grande impacto ambiental uma vez que seu destino, é na grande maioria, descarte em aterros ou lixões (Figura 9) (DA SILVA, 2019).

Figura 9- Despejo inadequado dos resíduos após a extração da semente da castanha do Pará.



Fonte: Adaptado de PINHEIRO (2023).

O consumo desta castanha, que apresenta elevado teor de selênio, é considerado como indispensável à saúde humana, visto que cada quilo, extraído no estado do Amazonas, possui até 98 μg desta substância (adultos tem consumo recomendado em cerca de 60 a 70 $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$) (ABNC, 2023; VEIGA JR.; NASCIMENTO; SANTOS, 2020; SIVA, 2016).

De acordo com a ABNC (Associação Brasileira de Nozes, Castanhas e Frutas Secas) (2023), aproximadamente, 1 bilhão de pessoas em todo o planeta sofrem de alguma deficiência de selênio que pode causar doenças endêmicas, entre outras, tais como doença de Keshan que se caracteriza por uma forma de doença cardiodegenerativa ou a doença de Kaschin-Beck que é uma doença osteoartropática que causa deformidades nas articulações (ABNC, 2023; SURAI; DE MARCO, 2021).

Apesar de estudos apontarem o mineral selênio é vital, com poderes antioxidantes em combate à radicais livres, ação anti-inflamatória, auxilia o aumento dos níveis de testosterona (aumentando os níveis de espermatozoides), auxilia o metabolismo da serotonina, influenciando o humor, seu consumo excessivo pode causar uma doença denominada selenose que provoca perda de cabelo, fadiga, unhas quebradiças, problemas gastrointestinais e lesões na pele (SIVA, 2016).

2.5. Compósitos Poliméricos Reforçados com Biomassa

O descarte inapropriado de rejeitos vem trazendo consigo fatores tais como contaminação do solo e dos lençóis freáticos, bem como a proliferação de vetores (AMARAL; SILVA, 2016; CARVALHO, 2019; COSTA; 2018; FERNANDES, 2013; OLIVEIRA, 2015).

Tentando solucionar este problema ambiental, os governos vêm estimulando a pesquisa para geração de novas tecnologias que permitam a substituição de materiais não renováveis por outros renováveis ou biodegradáveis visando a reinserção destes materiais no ciclo produtivo (AMARAL; SILVA, 2016; COSTA; 2018; FERNANDES, 2013; OLIVEIRA, 2015).

Dentre estes trabalhos, se destacam o de Costa (2018) que procura reinserir em uma matriz termorrígida de Benzoxazina, biomassa de macadâmia que é um subproduto do agronegócio que vem crescendo na região sudeste do Brasil nas proporções de 5%, 10% e 20%. Seus resultados mostram que não houve alteração apreciável das propriedades térmicas do material com a inserção deste reforço, mas que é possível diminuir os custos e o consumo de polímeros com seu uso.

Carvalho (2019) trabalha na mesma linha de Costa (2018). Entretanto, ele utiliza como reforço a fibra da casca do açaí, que é um produto muito consumido no norte do país e como o anterior, vem gerando passivo ambiental. Os resultados obtidos mostram que a temperatura de degradação dos materiais com 5%, 10% e 20% de reforço, não sofreram alteração quando em relação à resina pura, mas a transição vítrea (T_g) aumentam com o acréscimo de fibras, aumentando a faixa de aplicabilidade de trabalho do material em relação à temperatura.

Weam, Montagna e Passador (2020), que trata da fabricação de compósitos de fibra de coco/LDPE visando avaliar o efeito do tratamento alcalino na superficial das fibras teve resultado eficaz, com a variação das propriedades mecânicas que diminuem com o aumento do teor de fibra (m/m) e que causam elevação do módulo elástico do compósito em até 100 vezes.

Já no trabalho de Palmerim et al. (2023), utiliza, como agente de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de açaí, óleo residual de fritura mostrando uma diminuição do caráter hidrofóbico da fibra e diminuição do módulo de flexão e da resistência quando comparados ao do compósito sem este plastificante.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Castanha do Pará

Os resíduos, obtidos após o processamento para retirada da noz, foram coletados nas ruas de Belém/PA (Figura 10).

Figura 10- Descarte de resíduos nas ruas de Belém do Pará.



Fonte: CARVALHO (2019).

3.1.2. Polietileno de Baixa Densidade

O polímero utilizado foi o Polietileno de baixa densidade ou Polietileno homopolímero da Braskem (Figura 11), que se apresenta em estado sólido, na forma de pellets, na cor branca, ponto de fusão em torno de 120 °C, densidade relativa entre 0,918 e 0,935 g.cm⁻³, solúvel em xileno, mas insolúvel em água (BRASKEM, 2019).

Figura 11: Estrutura esquemática do PEBD.



Fonte: COUTINHO; MELLO; MARIA (2003)

Este polímero foi gentilmente cedido pelo UniFOA.

3.2. Métodos

3.2.1. Obtenção da Biomassa da Casca da Castanha do Pará

As cascas resultantes da extração das nozes foram limpas manualmente através de raspagem com faca e escovação para retirada de resíduos (Figura 12).

Figura 12: Limpeza da casca da castanha do Pará.



Fonte: AUTOR (2024)

Na sequência, elas foram secas numa estufa-incubadora modelo BOD 411D da Nova Ética Ltda. à temperatura de 60 °C por 72 horas (laboratório 04 do prédio 12

de caracterização de materiais do UniFOA) e trituradas em um moinho de facas (V top Voges) localizado no laboratório 09 do prédio 12 do UniFOA (Campus Olezio Galotti).

A casca com um tamanho menor foi, então, processada em um moinho elétrico da Labravia e o resíduo peneirado para se obter um pó com tamanho menor que 50 mesh para fabricação dos compósitos.

3.2.2. Obtenção dos Compósitos de PEBD/Casca da Castanha do Pará

Para obter os compósitos de matriz de PEBD reforçados com a biomassa da casca de castanha do Pará, cujas composições em frações mássicas foram estipuladas após estudos bibliográficos nas proporções de 10%, 20% e 30% (m/m), foi realizada uma mistura usando-se um homogeneizador termocinético da marca Dryzer (modelo MH-50H da MH Equipamentos), disponível no Laboratório 9 do prédio 12 do UniFOA (Campus Olezio Galotti).

Devido ao tamanho do compartimento, foram feitas pequenas bateladas que deveriam ter no máximo 70 g para permitir melhor homogeneidade.

A mistura na velocidade 1 (ou menor velocidade) é mantida até que haja a fusão e conseqüente aumento da amperagem do sistema. Posteriormente, a velocidade 2 ou maior velocidade é acionada para a fusão e mistura completa.

Após a mistura, as famílias de compósitos foram esticadas sobre a superfície fria com o auxílio de um rolo até resfriamento completo. Ao final dos processamentos, as composições foram trituradas em um moinho de facas (V top Voges) que se localiza no mesmo laboratório 9 descrito anteriormente.

Os granulados obtidos foram, então, usados para a confecção dos corpos de provas (tração) e demais caracterizações.

3.2.3. Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova dos ensaios mecânicos de tração foram feitos numa injetora de bancada para termoplásticos da marca RAY RAM, modelo TSMP que se encontra no Laboratório 9 (Processamento de Materiais) do prédio 12 no UniFOA, utilizando-se os moldes padrões para estes ensaios.

3.2.4. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Esta análise foi realizada em condições dinâmicas de 30 a 200 °C, com taxa de 10 °C.min⁻¹, em atmosfera de nitrogênio (20 mL.min⁻¹) utilizando-se aproximadamente 6 mg de amostra disposta em recipientes de amostra denominados de panelinhas de alumínio para material sólido no DSC 7 com resfriamento denominado Intracooler I (resfria até -40 °C) da PerkinElmer Ltda localizado e gentilmente cedido pelo empresa i-TECH (SCS-SP).

As calibrações e ajustes foram realizados de acordo com as recomendações do fabricante e para as análises, foi utilizado o programa de gerenciamento do próprio equipamento visando determinar as temperaturas de trabalho do material estudado.

3.2.5. Análise Termogravimétrica (TGA)

As análises termogravimétricas foram feitas no equipamento TGA 7 da PerkinElmer Ltda localizado e gentilmente cedido pelo empresa i-TECH (SCS-SP).

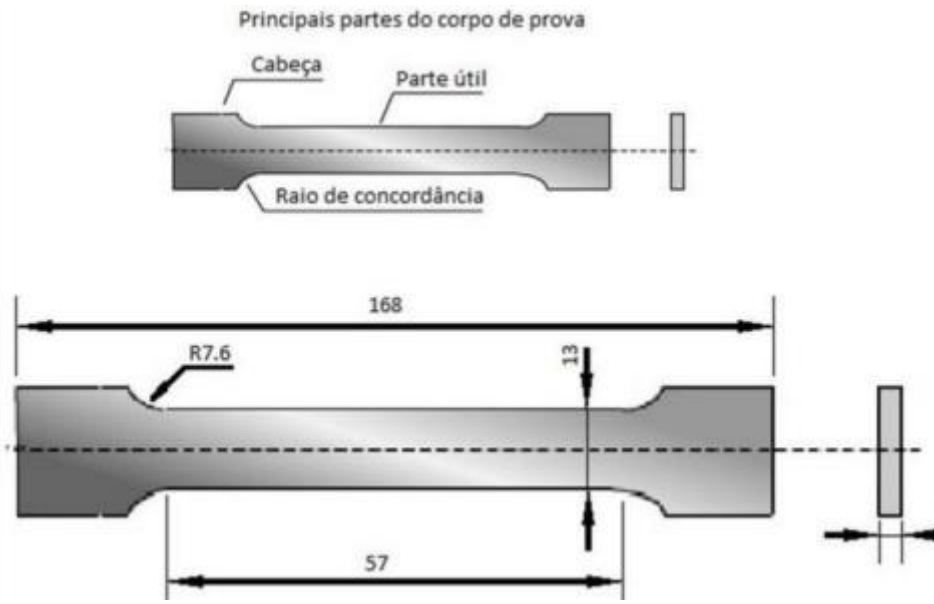
Para realização dos ensaios, aproximadamente 10 mg, foram depositadas em um recipiente de platina imerso em uma atmosfera de nitrogênio com fluxo de 20 mL.min⁻¹. Este sistema, então, foi aquecido de 30 °C à 700 °C ou 950 °C (dependendo do material avaliado), na taxa de 10 °C.min⁻¹ visando verificar a variação da massa em função da temperatura e determinar a temperatura de degradação do material.

3.2.6. Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado num equipamento de ensaio de tração e flexão da marca EMIC, que usa célula de carga de 5 kN, à velocidade de 1,4 mm.min⁻¹ localizado no Laboratório 6 do UniFOA.

Foram ensaiados 6 corpos de prova de cada proporção fabricada, de forma a avaliar as propriedades e alongamento, a tensão máxima, o módulo de elasticidade e o limite de resistência a tração do módulo de elasticidade. Esses corpos de prova (CP) foram produzidos com dimensões determinadas pela norma ASTM D 638 – 14 (Figura 13).

Figura 13: Corpos de prova de tração de acordo com a norma ASTM D 638 com dimensões em mm.



Fonte: ROSA (2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

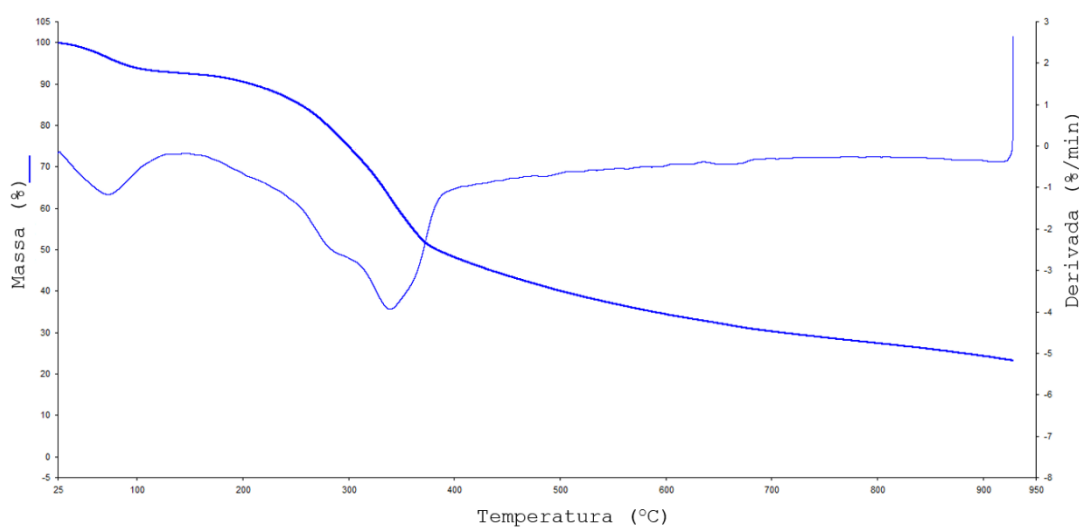
4.1. Biomassa da Casca de Castanha do Pará e do PEBD.

4.1.1. Análise Termogravimétrica

A derivada da curva de TGA da casca da castanha do Pará (Figura 14) apresentou quatro picos que correspondem as perdas ocorridas no material.

De acordo com Costa (2018) e Carvalho (2019) a primeira perda de 7,4% é de umidade e está de acordo com as biomassas não tratadas que apresentam teores mais elevados de umidade devido a presenças de componentes higroscópicos tais como hemicelulose e da β -celulose.

Figura 14: Curvas de TGA e DTG das biomassas da casca da castanha do Pará.



Fonte: AUTOR (2024)

O segundo patamar corresponde a um “ombro” pouco pronunciado entre as temperaturas de 145 °C e 255 °C devido, provavelmente, a degradação da hemicelulose e da β -celulose que ocorreram em temperaturas próximas e foi de 7,4%. Além disso, neste decaimento, é possível observar a temperatura inicial de degradação de 162,5 °C (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

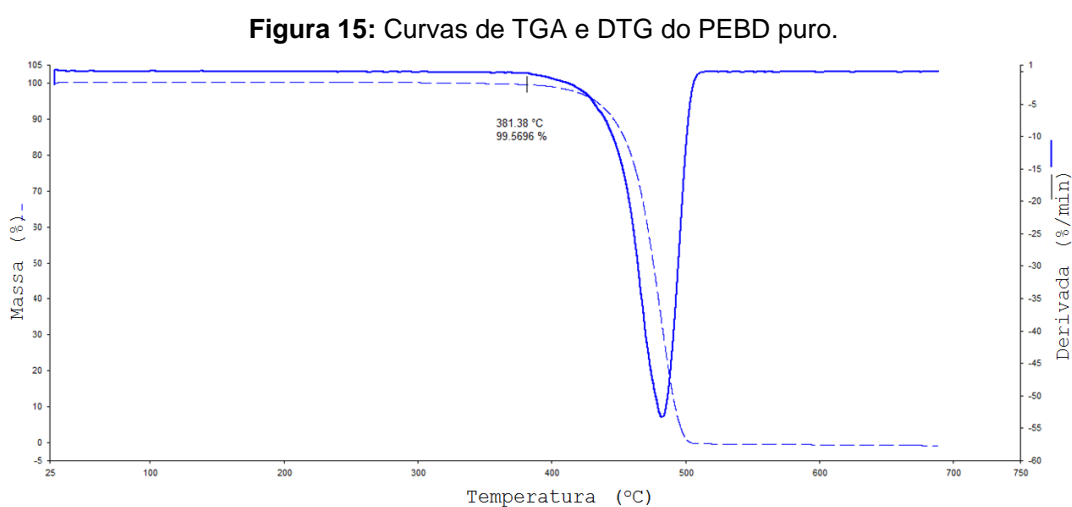
O terceiro decaimento, que também se apresenta como um “ombro”, entre as temperaturas de 255 °C e 306 °C, corresponde a queima da mistura de hemicelulose, β -celulose, lignina e celulose (sendo que esta última apresenta degradação à

temperatura acima da temperatura final de queima das duas primeiras substâncias), causando, em 310 °C um novo efeito que caracteriza o quarto patamar de perda. Esta terceira perda, de 11,9%, está próxima à observada por Costa (2018) que foi de $\pm 15\%$.

O quarto patamar, de 26%, é, em sua grande maioria, derivado da queima de celulose e lignina que vem queimando concomitantemente. Após a temperatura de 415 °C, é possível observar um decaimento contínuo da linha de base, correspondente ao final da degradação da lignina no material (COSTA, 2018; OLIVEIRA et al., 2014).

Outro ponto à ser considerado é o teor de resíduo resultante da queima (26,0%) que está próximo ao observado por Costa (2018) e Carvalho (2019) que foi de $\pm 22\%$ a 850°C, indicam a grande quantidade de lignina presente na biomassa.

No caso do Polietileno de Baixa Densidade, apenas um decaimento está presente na curva de TGA e na derivada, um único pico, indicando que o material é puro (Figura 15), com T_i de 381,4°C mostrando que, em termos de degradação, não há impedimentos para utilização destes dois materiais.



4.1.2. Calorimetria Exploratória Diferencial

Os gráficos de DSC (Figura 16) da biomassa, na faixa estudada, não apresenta nenhum evento apreciável.

Entretanto, a curva de DSC do polímero (Figura 17) apresenta uma fusão endotérmica com temperatura inicial extrapolada de degradação de 124,4 °C. Está

acima da temperatura encontrada na literatura em geral que determina a fusão entre 102 e 120 °C mas isto pode ocorrer devido a metodologia usada (RAMOS, 2017; OLIVEIRA, 2017).

Figura 16: Curvas de DSC das biomassas da casca de castanha do Pará.

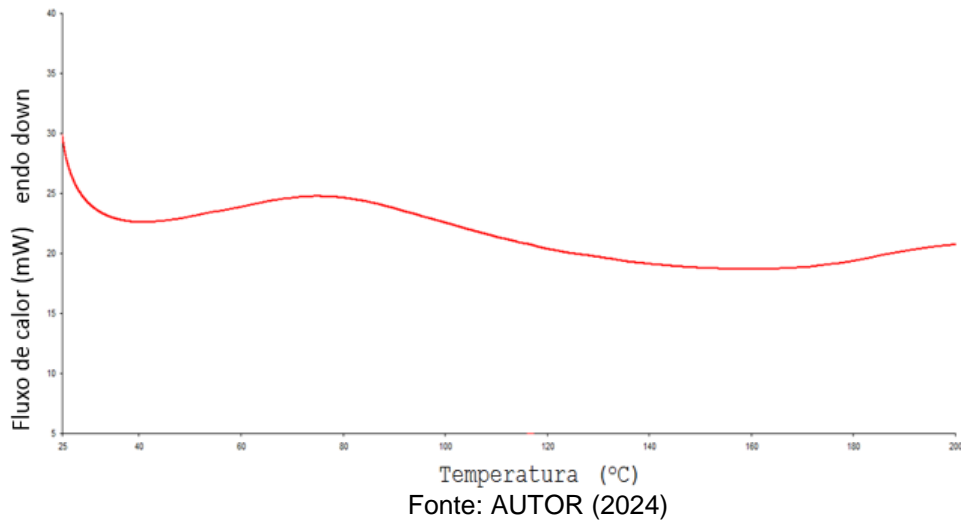
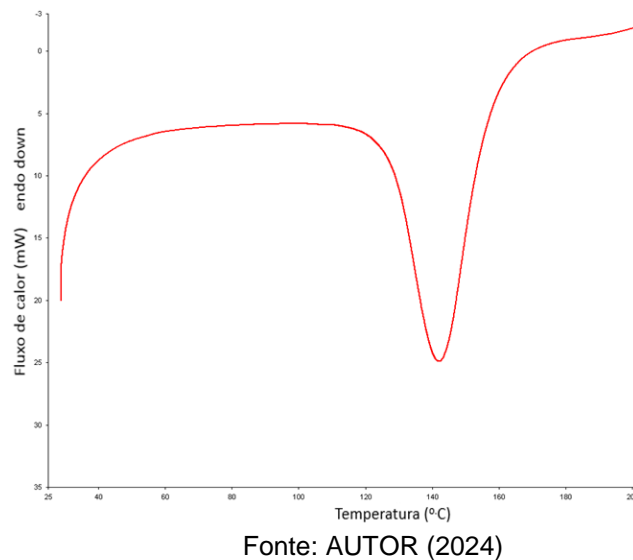


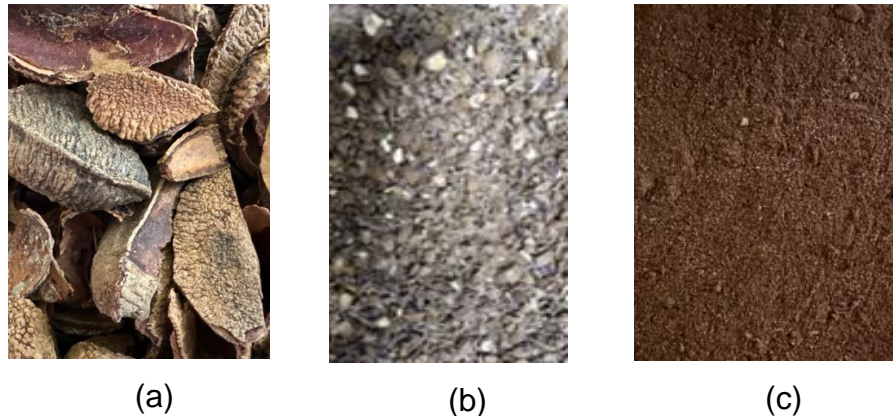
Figura 17: Curvas de DSC de PEBD.



4.2. Obtenção da Biomassa Moída

As cascas limpas e secas (Figura 18 (a)), após trituradas em um moinho de facas (Figura 18 (b)), foram trituradas em um moinho elétrico e peneirada (peneira de 50 mesh), obtendo-se, então, um pó fino de cor escura próxima a borra de café (Figura 18 (c)).

Figura 18: (a) Casca da castanha do Pará após limpeza e secagem (b) Casca da castanha do Pará após passar pelo moinho de facas (c) Casca da castanha do Pará após passa pelo moinho elétrico.



Fonte: AUTOR (2024)

4.3. Obtenção do Compósito PEBD/Biomassa para Injeção

Após a mistura do polímero com a biomassa triturada em um homogeneizador termocinético, foram obtidas quatro famílias de compósitos (*in natura*, com 10% de biomassa m/m, com 20% de biomassa m/m e com 30% de biomassa m/m) que foram esticadas usando-se um rolo de pastel para se obter uma espessura mais fina que permite resfriamento mais rápido e trituração em moinho de facas (Figura 19).

Figura 19: Família de compósitos com 0%, 10%, 20% e 30% m/m (respectivamente de cima para baixo) de biomassa moída.



Fonte: AUTOR (2024)

Na sequência, a amostra foi triturada para posterior utilização (Figura 20).

Figura 20: Compósitos após triturados no moinho de facas com 0%, 10%, 20% e 30% m/m (respectivamente da esquerda para a direita).



Fonte: AUTOR (2024)

Tanto nas amostras esticadas, quanto na amostra triturada, é possível observar uma coloração mais escura à medida que se acrescenta a biomassa.

4.4. Injeção para Obtenção dos Corpos de Prova

O material triturado foi inserido na injetora a 290 °C e obteve-se corpos de prova de tração de acordo com a norma ASTM D 638 – 14 (Figura 21) que foram posteriormente solicitados.

Figura 21: Corpos de prova de tração com 0%, 10%, 20% e 30% m/m (respectivamente da esquerda para a direita) de biomassa.



Fonte: AUTOR (2024)

4.5. Ensaio de Tração

Com o aumento da adição de biomassa, observou-se, inicialmente, um pequeno aumento da tensão máxima nos ensaios de tração na amostra com 10% de resíduo de casca de castanha do Pará (10,51 Mpa) quando comparado ao PEBD puro (10,18 MPa). Entretanto, com a continuidade do acréscimo de reforço, a resistência a tração foi diminuindo (Tabela 7). Isto pode ter ocorrido devido a uma redução da ductilidade (alongação total do material devido à deformação plástica) nos compósitos, fazendo com que o caráter mais frágil deste material fosse aumentando proporcionalmente ao aumento do volume de fibra. No entanto, segundo Lopes (2011) a resistência à tração e a rigidez dos compósitos tende a aumentar com a inserção de biomassa, contudo, este comportamento não respeitaram a linearidade. Nestes casos, onde ocorre a diminuição da resistência à tração, é comum ocorrer aumento do módulo elástico.

Analisando o módulo elástico, é possível notar que há um aumento deste com o acréscimo das fibras em comparação polímero puro de forma análoga a encontrada por Lopes (2011) e Maciel (2017).

Tabela 7- Propriedades mecânicas dos compósitos.

Material	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
PEBD	2,90 ±0,32	10,18 ±0,27	35,19 ±1,14
CP 10% de fibra	3,58 ±0,24	10,51 ±0,45	48,27 ±0,91
CP 20% de fibra	3,99 ±0,16	9,86 ±0,17	57,30 ±2,34
CP 30% de fibra	4,23 ±0,15	9,22 ±0,22	64,55 ±3,65

Fonte: AUTOR (2024).

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, destacam-se as seguintes conclusões:

- A temperatura de início de degradação da biomassa da casca da castanha do Pará (162,5 °C) permite a utilização desta para fabricação do compósito com polipropileno de baixa densidade que funde em torno de 124,4 °C;
- O PEBD se apresenta como um material puro;
- Utilizando a Dryzer, foi possível fabricar compósitos reforçados com biomassa de castanha do Pará;
- A partir das análises de resistência a tração observou-se um aumento da resistência mecânica, seguido de diminuição da mesma dos materiais reforçados em comparação ao PEAD que pode ser decorrente da quantidade de reforço que promoveu uma redução da ductilidade nos compósitos.
- Houve aumento do módulo elástico de acordo com o esperado na literatura;
- O compósito formado contribuirá para a diminuição do uso deste material de origem no petróleo.

6. TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros, propõe-se:

- Realizar ensaios de DMA e TMA;
- Fazer ensaios de impacto;
- Fazer tratamento nas fibras para melhorar a adesão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNC - **Associação Brasileira de Nozes, Castanhas e Frutas Secas Macadâmia**. Disponível em: <<https://www.abncnuts.org.br/castanha-do-para/>>, acesso 09/07/2024

ANJOS, D. B.; RIBEIRO, C. F.; NUNES, T. A.; SILVA, J. Potencial da casca da castanha do Brasil como biofertilizante no cultivo de *Lactuca sativa* L. **South American Journal of Basic Education**, Technical and Technological. Rio Branco - AC, ISSN: 2446-4821, v.4, n.1, p. 193 - 199, 2017.

AMARAL, C. M.; SILVA, I. S. **Implementação de Logística Reversa em Equipamentos Eletrônicos no Brasil – Uma Avaliação de Custos**. 2016. 56p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário Oswaldo Aranha - UniFOA- Campus Olésio Galotti, Volta Redonda, 2016

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 638**: standard test method for tensile properties of plastics. U.S., 2014.

BANDEIRA, C. F. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono**. 2015. 201 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BARBOSA, L. A.; DREGER, A. A.; SCHNEIDER, E. L.; MORISSO, F. D. P.; SANTANA, R. M. C. Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações. **Revista Espacios**, Shenyang, v.38, n.17, p. 10 -22, 2017.

BATISTA, P. B.; KIECKOW, F. Estudo das propriedades mecânicas do polietileno UHMW aditivado com sílica. **Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI**, ISSN 1809-1636.Uruguai, v.12, n.22, p. 144 – 153, 2016.

BOEIRA, A. P.; BECK, D. **Tecnologia dos materiais**. Curso Técnico em Mecânica Industrial. Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas – RS. Passo Fundo. 1º. Semestre. 97 p. 2007. Disponível em: https://docente.ifsc.edu.br/claudio.schaeffer/material/2_Mecatr%C3%B4nica/Materiais_1_Meca_2/Tecnologia%20dos%20Materiais_Complementar.pdf, acesso em: 01/10/2024

BRASKEM. **Ficha com dados de segurança**. 2019. Disponível em: file:///C:/Users/cirlene.bandeira/Downloads/FDS_PEBD%20Homo_BRA_Portugues.pdf, acesso em: 01/10/2024

CANDIAN, L. M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos Polímeros**. Um Texto Básico Para Tecnólogos e Engenheiros. 3ª. ed. São Paulo: ArtLiber, 2010. 280p.

CARDOSO, B. R. et al. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, n. 3, p. 9-18. 2017.

CARVALHO, J. A. L. **Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí**: Obtenção e caracterização 2019. 103f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2019.

CABRAL, R. F.; DA SILVA, E. F.; DA SILVA, F. R.; BARBOSA, G. S.; PAULINO, G. C. R.; PORTILHO, L. P. Avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais de blendas de PEBD/EVAD. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda – RJ. e-ISSN: 1982-1816, n. 30, p. 7-11, 2016.

CASSU, S. N.; FELISBERTI, M. I. Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas. **Revista Química Nova**, São Paulo, v.28, n.2, p.225-263, 2005.

COSTA, A. C. A. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Universidade de Volta Redonda -UniFOA, Volta Redonda, 2018.

COSTA, T. H. S.; COSTA, A. S.; MARIA, L. C. S.; COUTINHO, F. B. Síntese de Catalisadores Ziegler-Natta: Algumas rotas e suas dificuldades. **Revista Química Nova**, São Paulo, v.20, n.1, p.93-98, 1997.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

DA CRUZ, E. S.; ANDRADE, J. S. Benefícios nutricionais da Castanha-do-Brasil no tratamento de aterosclerose em idosos. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.11, p.73060-73078, 2022.

DA CRUZ, C. Z. C. **Nanocompósitos de polietileno de alta densidade/grafite obtidos via polimerização in situ**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DA SILVA, J. R. S. **Obtenção e caracterização de um material compósito produzido com resíduos da castanha-do-Brasil e poliestireno de alto impacto**. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Amazona, Manaus, 2019.

DA SILVA, M. F. **Estudo de métodos de aumento das propriedades mecânicas de polímeros usados em manufatura aditiva**. 2021. 82 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2021.

DA SILVA, S. C. B.; DA SILVA, W. T. P. Verificação de resistência a pressão hidrostática de tubos comerciais reciclados. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22. Florianópolis, **Anais...** Florianópolis-SC: XXII SBRH, 2017.

DOS SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. N. C.; GURGEL, E. S. C.; CARVALHO, A. C. M. *Bertholletia excelsa* Bertholletia excelsa Humboldt & Humboldt & Bonpland (Lecythidaceae): aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 103-112, 2006.

FAUSTINO, C. L.; WADT, L. O. Resistência Mecânica do Pericarpo de Frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae). **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 05, n. 01, p. 25-33, Maio de 2014 ISSN: 2177-6830. 2014. DOI: 10.12953/2177-6830. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269755983_Resistencia_Mecanica_do_Pericarpo_de_Frutos_de_Bertholletia_excelsa_Bonpl_Lecythidaceae#fullTextFileContent. Acesso em: 27/08/2024.

FECOMERCIO SP – **Reaproveitar resíduos da castanha-do-pará pode beneficiar produtores.** São Paulo. 2014. Disponível em: <<https://www.fecomercio.com.br/noticia/reaproveitar-residuos-da-castanha-do-para-pode-beneficiar-produtores>>, acesso 17/09/2024.

FERNANDES, E. M. et al. Novel cork–polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition. **Composites Science and Technology**, Philadelphia, v. 78, n. 1, p. 56-62, abril 2013.

FREITAS, R. **Caracterização Física e Mecânica de Tubulações de Polietileno de Alta Densidade - PEAD.** 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2018.

HORTÊNCIO, J. **Modificação do PEUAMM com PEG para Obtenção de Nanocompósitos com Nanofibras de Carbono.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

HUDA, S.; YANG, Y. Chemically Extracted Cornhusk Fibers as Reinforcement in Light-Weight Poly(propylene) Composites. **Macromolecular Mat. & Eng.**, Wiley Online Library, 2008.

KARAK, N. **Vegetable Oil-Based Polymers Properties, Processing and Applications**. Philadelphia: Elsevier, v. 1, 2012.

LOPES, F. P. D. **Estudos adicionais dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de curauá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 92 p. 2011

LORANDI, N. P.; CIOFFI, M. O. H.; HEITOR, O. J. **Análise Dinâmico-Mecânica de Materiais Compósitos Poliméricos**. SCIENTIA CUM INDUSTRIA (SCI. CUM IND.), v. 4, n. 13, p. p. 48 - 60, 2016.

MACIEL, N. O. R. **Análise mecânica comparativa de tração, flexão e impacto entre compósito reforçados com fibra de curauá e compósitos reforçados com fibras de vidro**. 2017. 119 f. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017.

MAZUR, R. L. **Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas**. 2010. 140 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá; Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

MARCZAK, R. J. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2004.

MESQUITA, F. A. **Modificação das propriedades do polietileno de alta densidade por diferentes condições de extrusão**. 2010. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010. doi:10.11606/D.3.2010.tde-10012011-103025.

MORASSI, O. J. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. Minicurso 2013 CRQ IV – SP. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf>, acesso 17/09/2024.

MUDAS HERCULÂNDIA. **Catanha do Pará**. Disponível em: <https://mudasherculandia.com.br/produto/muda-de-castanha-do-para-mudas-herculandia/>, acesso em: 01/10/2024

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. 2009, 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP. 2009.

MUNDO DO PLÁSTICO. **Automatização para troca de moldes é destaque na Plástico Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/plastico-brasil/automatizacao-para-troca-de-moldes-e-destaque-na-plastico-brasil>>, acesso 17/09/2024.

NASCIMENTO, V. F. **Caracterização De Biomassas Amazônicas – ouriço de castanha do Brasil, ouriço de Sapucaia e caroço do fruto do Tucumã – Visando Sua Utilização em processos de termoconversão**. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2012.

OLIVEIRA, L. F. **Desenvolvimento de compósitos de fibra de carbono/resina benzoxazina para aplicações aeroespaciais**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

OLIVEIRA, J. C.; CASTRO, E.; MIRANDA, C.; GONÇALVES, A.; JOSÉ, N. Avaliação térmica e espectroscópica da celulose, hemicelulose e lignina extraídas da fibra de licuri (*syagrus coronata*). Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, **Anais...** Cuiabá, MT, nov. 2014.

OLIVEIRA, J. L. **Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda-RJ.

OLIVEIRA, H. N. **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS PARA APLICAÇÃO EM DECK**. 2013. 60f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Olezio Galotti, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2013.

OLIVEIRA, S. T. **Obtenção e caracterização de um compósito polimérico com PEAD reciclado e bagaço de cana**. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, 2017.

PALMERIM, C. N.; DA SILVA, J. A. P.; PAIVA, C. S.; TAVARES, F. F. C. Óleo residual de fritura e fibras de açai (*Euterpe oleracea mart*) em compósitos de polipropileno. **Rev. Iberoam. Polim.**, v.24, n.2, p. 61–71, 2023

PETRECHEN, G. P.; AMBRÓSIO, J. D. Preparation and mechanics characterization of lignocellulosic residues of Brazil nut (*bertholletia excelsa*) seed husks reinforced polypropylene composites. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS - Metallum Congressos Técnicos e Científicos, Natal-RN. **Anais...** p. 2739-2749. 22º CBCiMAT, 2016.

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

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**, 51 p. 1ª. ed. Edufal. Alagoas - PE, 2005.

PINHEIRO, C. **Castanha é modelo de exploração sustentável da Amazônia, mas mercado sofre com instabilidade**. Mongabay. 2023. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2023/06/castanha-e-modelo-de-exploracao-sustentavel-da-amazonia-mas-mercado-sofre-com-instabilidade/>, acesso em: 01/10/2024

RAMOS, L. D. **Estudo da viabilidade de utilização das blendas de copolímero PP e PEBD reciclados na confecção de placas termo moldáveis para produção de órteses estáticas estabilizadoras de punho**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2017.

RASIA, L. A. **Estudo e aplicação das propriedades elétricas, térmicas e mecânicas de materiais amorfos piezoresistivos em transdutores de pressão**. 2009. 190 f. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROSA, V. V. S. **Compósito de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçados com biomassa da casca do açaí**. 2019. 56 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Universidade de Volta Redonda -UniFOA, Volta Redonda, 2019.

ROSÁRIO, F.; PACHEKOSKI, W. M.; SILVEIRA, A. P. J.; SANTOS, S. S.; JÚNIOR, H. S.; CASARIN, S. A. (2011). Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado. **Polímeros**, vol. 21, nº 2, PP. 90-97, 2011.

SANTOS, F. **Caracterização do comportamento mecânico de uma blenda polimérica de poliestireno**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2018.

SIVA, R. **Quantidade de selênio nas castanhas-do-brasil varia de acordo com região**. Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/110109_83/quantidade-de-selenio-nas-castanhas-do-brasil-varia-de-acordo-com-regiao, acesso em: 01/10/2024

SURAI, P. F.; DE MARCO, M. Selênio e imunidade: Renovando idéias. **Adsseo – A Bluestar Company**. 1-5 p. 2021. Disponível em: <https://www.adisseo.com/wp-content/uploads/2021/06/selenio-e-imunidade-news.pdf>, acesso 10/04/2024

SUZUKI, K. C. **Investigação do uso de polietileno de ultra alto peso molecular como matriz em compósitos reforçados com fibra de vidro**. 2009. 35 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

TAVARES, A. C.; LEPIENSKI, C. M.; UNGARI, M. B.; MATTOSO, N.; CANTÃO, M. P. Análise da influência do grau de cristalinidade nas propriedades nanomecânicas e viscoelásticas do PET. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, São Pedro - SP. **Anais...** p. 53701 – 53713. 14º CBECIMAT, 2000.

VEIGA JR., V. F.; NASCIMENTO, L. S.; FELISBERTO, F. K. Selênio, entre o bem e o mal à saúde. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, CH 363, 2020.

VIDAL, A. C., **BIOCOMPOSITE FOR USE IN INSOLES: PROCESSING AND CHARACTERIZATION**. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Olezio Galotti, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

WEAM, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. **Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes**. *Matéria*. v. 25, n.1. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/G8dbfwCzWCb97jRVdWw8GTq/#>, acesso em: 01/10/2024

WOLF, C. R. **Preparação, caracterização a aplicação de catalizadores Ziegler-Natta na produção de polietileno de alta densidade**. 2004. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ANEXO 1 – Carta de Parceria da iTech.

São Caetano do Sul, 15 de maio de 2024.

A

UNIFOA – Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais - MEMAT
Campus Olézio Galotti – Avenida Dauro Peixoto Aragão, 1325
Três Poços, Volta Redonda – CEP 27240-560

Ref.: Projeto Final – Dissertação – Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da Bertholletia excelsa, visando aplicação em embalagens e utilidades domésticas.

Prezados,

Vimos através desta, formalizar a realização de uma parceria entre o UniFOA – Centro Universitário de Volta Redonda e a iTech Analytics para fomentar o desenvolvimento do projeto supracitado a ser apresentado como dissertação pelo aluno Jairo de Oliveira Silva para obtenção do título de Mestre em Materiais.

A iTech Analytics, por meio da presente parceria firmada, autoriza a utilização de seus equipamentos e laboratórios para desenvolvimento de ensaios de caracterização da matéria-prima e compósito final.

Adicionalmente, a iTech Analytics autoriza a utilização de seu nome e de dados relacionados às suas atividades na dissertação e eventuais artigos científicos produzidos com base no presente projeto, cabendo uma avaliação preliminar do conteúdo do texto por parte da empresa.

Atenciosamente,

iTech Analytics
Gerente Geral

