



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



**RHAYANNA DIZ GONÇALVES**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS  
POLIMÉRICOS DE PEAD REFORÇADOS COM FIBRAS DE COCO:  
COMPARAÇÃO ENTRE FIBRAS *IN NATURA* E APÓS TRATAMENTO  
ALCALINO NA PRESENÇA DE BOROHIDRETO DE SÓDIO -  $\text{NABH}_4$**

**VOLTA REDONDA**

**2024**

**RHAYANNA DIZ GONÇALVES**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS  
POLIMÉRICOS DE PEAD REFORÇADOS COM FIBRAS DE COCO:  
COMPARAÇÃO ENTRE FIBRAS *IN NATURA* E APÓS TRATAMENTO  
ALCALINO NA PRESENÇA DE BORO-HIDRETO DE SÓDIO -  $\text{NABH}_4$**

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 Processamentos e Caracterização de Materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais, linha de pesquisa Materiais Compósitos.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Callegario Pereira

**VOLTA REDONDA**

**2024**

### FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

G635d Gonçalves, Rhayanna Diz  
Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos de  
PEAD reforçados com fibras de coco: comparação entre fibras in natura  
e após tratamento alcalino na presença de borohidreto de sódio-  
NABH<sub>4</sub>. / Rhayanna Diz Gonçalves. - Volta Redonda: UniFOA, 2024.  
65 p. II

Orientador (a): Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro  
Coorientador (a): Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina Callegario Pereira

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

1. Materiais - dissertação. 2. Sustentabilidade. 3. Reciclagem. 4. Compósitos ecológicos I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Pereiral, Ana Carolina Callegario. III. Centro Universitário de Volta Redonda. IV. Título.

CDD – 620.1



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



RHAYANNA DIZ GONÇALVES

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE PEAD  
REFORÇADOS COM FIBRAS DE COCO: COMPARAÇÃO ENTRE FIBRAS IN NATURA E APÓS  
TRATAMENTO ALCALINO NA PRESENÇA DE BORO-HIDRETO DE SÓDIO (NaBH<sub>4</sub>)

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

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:

*Sérgio Roberto Montoro*

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro  
Presidente / UniFOA

*Cirlene Fourquet Bandeira*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirlene Fourquet Bandeira  
Examinador interno / UniFOA

*Rosinei Batista Ribeiro*

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro  
Examinador externo / CEFAS-UMCC

Dezembro de 2024.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, que mesmo não estando mais neste plano, sempre me deram forças para conseguir atravessar todos os obstáculos até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente à Deus que me deu forças para seguir nessa caminhada.

À minha família que sempre me incentivou e ficou ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro que não me deixou desistir e não mediu esforços para me ajudar sempre que precisei.

A todos, que de certa forma participaram dessa minha caminhada.

## EPÍGRAFE

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim."

Chico Xavier.

GONÇALVES, R. D. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos de PEAD reforçados com fibras de coco: comparação entre fibras *in natura* e após tratamento alcalino na presença de borohidreto de sódio - NaBH<sub>4</sub>.** Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2024.

## RESUMO

A crescente demanda por materiais sustentáveis e de alto desempenho tem impulsionado a pesquisa por alternativas que integrem fibras naturais a matrizes poliméricas, visando reduzir o impacto ambiental e otimizar propriedades mecânicas e reológicas. Nesse contexto, a biomassa de coco destaca-se como uma fonte renovável e amplamente disponível, podendo ser utilizada como agente de reforço em compósitos poliméricos. Esta dissertação investiga o potencial das fibras de coco, *in natura* e tratadas quimicamente, como reforço em compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD), com o objetivo de avaliar os impactos dessa incorporação nas propriedades mecânicas e reológicas dos materiais resultantes. O estudo busca não apenas entender os benefícios técnicos dessa abordagem, mas também explorar sua viabilidade econômica e ambiental, contribuindo para o avanço de soluções mais sustentáveis na indústria de polímeros. Este estudo explora a utilização da biomassa de coco, *in natura* e tratada, como agente de reforço em compósitos poliméricos de polietileno de alta densidade (PEAD), analisando seus impactos nas propriedades mecânicas e reológicas. A pesquisa buscou avaliar a eficácia do tratamento químico alcalino aplicado às fibras de coco para melhorar a compatibilidade com a matriz polimérica e, assim, otimizar o desempenho dos compósitos. Os resultados indicam que o tratamento químico promoveu a remoção parcial de lignina, hemicelulose e outros componentes da biomassa, conferindo às fibras uma superfície mais rugosa e cristalina, o que favoreceu a interação com a matriz de PEAD. Isso resultou em aumentos significativos nas propriedades mecânicas, como tensão de escoamento e módulo de elasticidade, além de reduzir a elongação total dos compósitos reforçados com fibras tratadas. Por outro lado, as fibras *in natura* não proporcionaram ganhos expressivos nas propriedades mecânicas, embora tenham mantido as características reológicas e a dureza Shore D do PEAD, mesmo com a adição de até 30% de biomassa. A análise do índice de fluidez revelou que tanto as fibras *in natura* quanto as tratadas não promoveram alterações significativas na processabilidade dos compósitos. Além disso, o uso de biomassa de coco demonstrou potencial sustentável e econômico, reduzindo a dependência de PEAD puro e mantendo a viabilidade técnica dos materiais. Conclui-se que a biomassa de coco tratada é uma alternativa promissora para o desenvolvimento de compósitos com propriedades otimizadas, enquanto a biomassa *in natura* oferece uma solução viável e sustentável para aplicações de menor exigência técnica. O estudo aponta para futuras investigações em durabilidade, novos métodos de tratamento e aplicações industriais, visando ampliar as possibilidades de uso desses compósitos em diferentes setores.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Reciclagem; Compósitos Ecológicos.

GONÇALVES, R. D. **Development and characterization of polymeric composites of HDPE reinforced with coconut fibers: comparison between natural fibers and after alkaline treatment in the presence of sodium borohydride - NaBH<sub>4</sub>**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2024.

## ABSTRACT

The growing demand for sustainable and high-performance materials has driven research into alternatives that integrate natural fibers into polymer matrices, aiming to reduce environmental impact and optimize mechanical and rheological properties. In this context, coconut biomass stands out as a renewable and widely available resource, with potential use as a reinforcing agent in polymer composites. This dissertation investigates the potential of coconut fibers, both *in natura* and chemically treated, as reinforcement in high-density polyethylene (HDPE) composites, with the objective of evaluating the impacts of this incorporation on the mechanical and rheological properties of the resulting materials. The study seeks not only to understand the technical benefits of this approach but also to explore its economic and environmental feasibility, contributing to the advancement of more sustainable solutions in the polymer industry. This dissertation explores the use of coconut biomass, both *in natura* and treated, as a reinforcing agent in high-density polyethylene (HDPE) composites, analyzing its impacts on the mechanical and rheological properties. The research aimed to assess the effectiveness of the alkaline chemical treatment applied to coconut fibers to improve compatibility with the polymer matrix, thereby optimizing the performance of the composites. The results indicate that the chemical treatment partially removed lignin, hemicellulose, and other components from the biomass, giving the fibers a rougher and more crystalline surface, which enhanced interaction with the HDPE matrix. This resulted in significant improvements in mechanical properties, such as yield strength and elastic modulus, as well as a reduction in the total elongation of the composites reinforced with treated fibers. On the other hand, *in natura* fibers did not provide significant gains in mechanical properties, although they maintained the rheological characteristics and Shore D hardness of HDPE, even with the addition of up to 30% biomass. The analysis of the melt flow index revealed that neither *in natura* nor treated fibers caused significant changes in the processability of the composites. Furthermore, the use of coconut biomass demonstrated sustainable and economic potential, reducing the dependence on pure HDPE while maintaining the technical feasibility of the materials. It is concluded that treated coconut biomass is a promising alternative for developing composites with optimized properties, while *in natura* biomass offers a viable and sustainable solution for applications with lower technical requirements. The study points to future investigations into durability, new treatment methods, and industrial applications, aiming to expand the potential uses of these composites in various sectors.

**Keywords:** Sustainability; Recycling; Eco-friendly Composites.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de compósitos em relação à matriz .....	20
Figura 2 - Estrutura do polietileno .....	22
Figura 3 - Célula unitária ortorrômbica de um cristal de polietileno .....	23
Figura 4 - Composição química de algumas fibras vegetais .....	25
Figura 5 - Seção transversal do fruto do coqueiro .....	27
Figura 6 - Hidrólise básica da lignina .....	31
Figura 7 - Designação dos parâmetros no ensaio de tração.....	33
Figura 8 - Gradação da dureza .....	35
Figura 9 - Fibra de coco em peneira 50 mesh .....	39
Figura 10 - Pesagem das proporções por família .....	40
Figura 11 - Homogeneizador termocinético .....	40
Figura 12 - Moinho de facas (Plastimax).....	40
Figura 13 - Compósito após a incorporação .....	41
Figura 14 - Compósito após a trituração .....	41
Figura 15- Injetora RAY RAM - modelo TSMP.....	41
Figura 16 - Corpo de prova de tração (Norma ASTM D638).....	43
Figura 17 - MEV da biomassa de fibra de coco: (A1) <i>in natura</i> 500x, (A2) <i>in natura</i> 1000x, (A3) <i>in natura</i> 2000x; (B1) após tratamento 500x, (B2) após tratamento 1000x, (B3) após tratamento 2000x. ....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.....	21
Tabela 2 - Comparação entre fibras naturais e as fibras de vidro.....	25
Tabela 3 - Relação de dureza.....	36
Tabela 4 - Propriedades de controle da matriz PEAD (Braskem).....	38
Tabela 5 - Propriedades típicas da matriz PEAD.....	38
Tabela 6 - Resultados dos ensaios de tração do PEAD puro e dos compósitos reforçados com a biomassa de coco <i>in natura</i> . ....	47
Tabela 7- Resultados dos ensaios de tração do PEAD puro e dos compósitos reforçados com a biomassa de coco tratadas. ....	48
Tabela 8 - Resultados dos valores de índice de fluidez do PEAD puro e dos compósitos PEAD + FCin.....	49
Tabela 9 - Resultados dos valores de índice de fluidez do PEAD puro e dos compósitos AD + FCTrat.....	50
Tabela 10 - Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósito PEAD + biomassa de fibra de coco <i>in natura</i> .....	51
Tabela 11 - Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósito PEAD + biomassa de fibra de coco tratada .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS

PEAD	<i>Polietileno de alta densidade</i>
PE	<i>Polietileno</i>
NaBH <sub>4</sub>	<i>Borohidreto de sódio</i>
NaOH	<i>Hidróxido de sódio</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
PEAUD	<i>Polietileno de ultra peso molecular</i>
UHMDPF	<i>Polietileno 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. Contexto .....	15
1.2. Descrição do problema.....	16
1.3. Relevância.....	16
2. OBJETIVO.....	18
2.1. Objetivo geral .....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. JUSTIFICATIVA .....	19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
4.1. MATRIZES TERMOPLÁSTICAS .....	20
4.1.1. Polímeros (Termoplástico X Termorrígido) .....	20
4.1.2. Polietileno (PE).....	21
4.1.3. Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	23
4.2. REFORÇO DE MATRIZES POLIMÉRICAS .....	24
4.2.1. Fibras naturais e suas composições químicas .....	24
4.2.2. Fibra de coco.....	26
4.3. COMPÓSITOS .....	28
4.3.1. Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Naturais .....	28
4.4. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS PARA USO EM COMPÓSITOS .....	29
4.4.1. Tratamentos das Fibras.....	29
4.4.2. Tratamento de Mercerização .....	30
4.5. CARACTERIZAÇÕES REALIZADAS EM COMPÓSITOS .....	32
4.5.1. Tração .....	33
4.5.2. Dureza.....	34

4.5.3 Índice de Fluidez.....	36
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
5.1. Materiais.....	38
5.1.1. Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	38
5.1.2. Fibra de coco.....	39
5.1.3. Borohidreto de Sódio (NaBH <sub>4</sub> ).....	39
5.1.4. Hidróxido de Sódio (NaOH).....	39
5.2. Metodologia.....	40
5.2.1. Processamento dos Compósitos.....	40
5.2.2. Confeção dos Corpos de Provas.....	41
5.2.3. Caracterização Mecânica dos Compósitos.....	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
7. CONCLUSÕES.....	53
8. TRABALHOS FUTUROS.....	57
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contexto

A última década foi relevante para a percepção da sociedade sobre os danos que o consumo indiscriminado dos recursos podem provocar ao meio ambiente, promovendo atitudes mais conscientes por parte do consumidor em relação às opções de consumo. Características dos produtos, antes não essenciais, na opção de escolha, começaram a se destacar, privilegiando aqueles com cunho de preservação ambiental, ou seja, não tóxicos, biodegradáveis e fabricados com matéria prima reciclada (PACHECO, 2001; BONA, 2007).

O plástico corresponde 15% no peso do lixo coletado seletivamente, junto com papel, metal, vidro, alumínio e tetrapack. A tipologia de plásticos mais encontradas são polietileno, poli(cloreto de vinila), polipropileno e poli(tereftalato de etileno). A verificação dos tipos de plásticos oriundos da coleta seletiva revela um dado de grande importância: os polietilenos, tanto de baixa quanto de alta densidade, amplamente utilizados em embalagens, assim como o poli(tereftalato de etileno), conhecido como PET, apresentam maior aplicabilidade. (BONA, 2007).

O plástico em suas diversas formas fazem parte do cotidiano da sociedade, presente em materiais utilizados na construção civil, nas indústrias automobilística, elétrica e eletrônica, em móveis e decorações, no vestuário e na indústria de embalagens, substituindo o metal, vidro, cerâmica, madeira e papel por ser vantajoso em relação aos demais.

Tem como vantagem a facilidade de transporte e processamento, demanda menos energia e tem maior durabilidade e resistência por serem rígidos ou flexíveis, leves e de fácil manipulação, além de possuírem melhores condições de higiene e conservação (ANDRADE *et al.*, 2019).

Portanto, há muitos exemplos dos benefícios que o uso do material polimérico proporciona ao homem, porém se constitui tema de questões ambientais que envolve o uso e descarte do material para a redução dos efeitos mais negativos ao ambiente (BONA, 2007).

O polietileno de alta densidade (PEAD) é um dos polímeros termoplásticos mais utilizados no mundo que, produzido a partir do etileno, derivado do petróleo, pode ser aplicado nos mais vastos setores da sociedade e da indústria. Diversos trabalhos

têm sido publicados sobre o desenvolvimento de compósitos poliméricos de PEAD reforçados com carga mineral, com fibras vegetais ou sintéticas (DE SOUZA, 2018). Já as fibras vegetais podem ser utilizadas como reforços em polímeros termoplásticos, termorrígidos e borrachas apresentando vantagens econômicas e ambientais (BESSADOK *et al.*, 2009; TROEDEC *et al.*, 2008; SPINACÉ *et al.*, 2009).

## **1.2. Descrição do problema**

A agressão ao meio ambiente causada pelos resíduos plásticos originados nos processos, serviços e produtos utilizados, tem se tornado uma preocupação crescente em todos os setores. Dentre as possibilidades para auxiliar na resolução deste problema, destaca-se a utilização de resíduos para formação de compósitos, uma alternativa para o estabelecimento do sistema de reciclagem (MIRANDA, 2011).

Desta forma, diversos países, visam apresentar restrições ambientais fundamentadas em políticas de resíduos, que não se degradam na natureza, direcionada ao princípio 3Rs: reduzir o consumo de produtos que apresente danos ao meio ambiente; reutilizar o material adquirido e reciclar para a criação de novos produtos (SEBIO, 2003; BONA, 2007).

## **1.3. Relevância**

Com a modernização tecnológica e responsabilidades socioambientais, indústrias e grupos de pesquisas vêm buscando cada vez mais inovações no desenvolvimento de novos produtos através de tecnologias limpas, buscando redução de custo e impactos ambientais. Com isso, a utilização de materiais de fontes renováveis vem se destacando no mercado, aumentando o interesse no desenvolvimento de insumos reforçados com fibras naturais (SILVA, 2011).

Desse modo, materiais plásticos biodegradáveis e compostáveis, provenientes de fontes renováveis originados da agricultura ou da indústria, como é o caso da fibra de coco *in natura*, constituem a inovação fundamental para o futuro da

sociedade, visto que impulsionam novas pesquisas e tecnologias, impactando a economia e o meio ambiente positivamente (LÖRCKS, 1998; BONA,2007).

Neste sentido, a utilização de um compósito polimérico como matriz impede o contato do reforço com o ambiente externo e seu deslocamento, distribuindo a carga gerada pelo compósito. A fibra natural, ao ser o reforço, tem a função de suportar o esforço transmitido a ele pela matriz. Esse processo depende da interação entre reforço e matriz, com influência da capacidade de proteção do reforço durante o manuseio e sua capacidade de distribuição de carga (SILVA, 2018).

## 2. OBJETIVO

### 2.1. Objetivo geral

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver um material compósito através de uma matriz de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçada com fibra de coco *in natura* e tratada, possibilitando assim a avaliação e caracterização, viabilizando sua aplicação em novos materiais.

### 2.2. Objetivos específicos

- Desenvolver compósitos poliméricos de PEAD e fibras tratadas, com as proporções de 10%, 20% e 30% de fibras;
- Verificar a influência da adição de fibras tratadas e não tratadas nas propriedades mecânicas dos compósitos, através dos corpos-de-prova confeccionados para os ensaios mecânicos de tração e também via determinação dos valores de dureza Shore D;
- Caracterização morfológica via microscopia eletrônica de varredura (MEV) para verificar o efeito do tratamento alcalino na superfície da fibra de coco;
- Determinar os valores de índice de fluidez, para verificar a influência das adições de fibras tratadas e não tratadas na fluidez dos compósitos, visando futuras aplicações na confecção de peças injetadas (levantamento de parâmetros para a produção de peças injetadas).

### 3. JUSTIFICATIVA

A utilização de fibras de coco verde, vem sendo reconhecida como uma alternativa viável para utilização em reforço em matrizes poliméricas, substituindo assim as fibras sintéticas. Por se tratarem de materias biodegradáveis, conferem melhora nas propriedades mecânicas, a custo baixo e de fácil captação, além de favorecer para uma boa gestão de resíduos por se tratarem de um recurso renovável, se comparados aos polímeros puros. Contribuindo, portanto, para a resolução de problemas ambientais provocados pela disposição de grandes quantidades de resíduos de materiais não biodegradáveis (SILVA, 2018).

Sua estrutura macromolecular proporciona características peculiares em condições de propriedades físicas, químicas e mecânicas. Outra condição importante para a obtenção de propriedades apropriadas do produto final é a qualidade de processamento, afetando a estrutura molecular do produto, constituindo-se como primordial a relação das características do insumo e o processamento para a transformação de materiais poliméricos (PESSAN, HAGE, 2002).

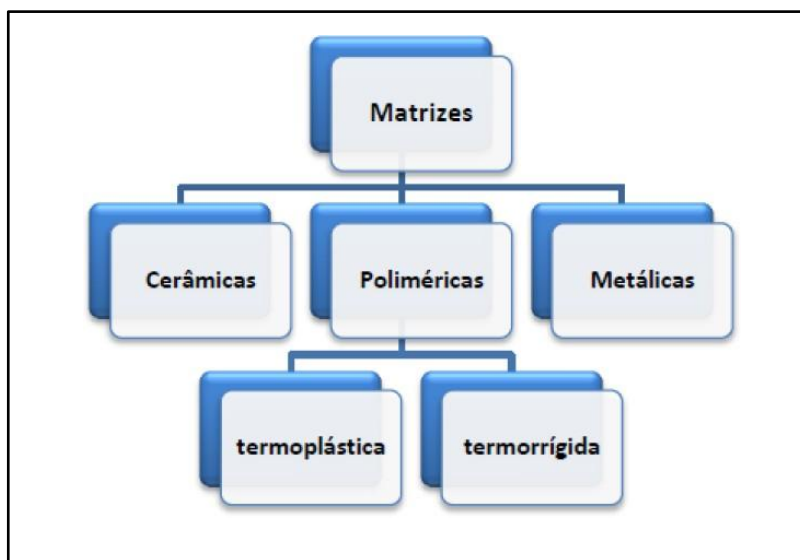
Neste sentido, considerando a falta de compatibilização entre a fibra e a matriz, a utilização da fibra tratada se torna um método imprescindível no sentido de diversificar o uso desta, com isso será desenvolvido compósito com fibra tratada, podendo avaliar as condições de interação entre o compósito e a fibra, possibilitando a análise da estrutura de ambos compósitos, além de demonstrar sua compatibilidade conforme as propriedades apresentadas no produto desenvolvido.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. MATRIZES TERMOPLÁSTICAS

Com objetivo de desenvolver materiais compósitos, com características favoráveis e fatores específicos. Esses materiais são constituídos por uma mistura heterogênea, não solúvel, de dois ou mais constituintes, compondo suas fases distintas, onde são denominadas de reforço e matriz. A matriz, se caracteriza por possuir maiores quantidades, podendo ser um material polimérico, cerâmico ou metálico (Figura 1). (MOREIRA, 2009; NOGUEIRA, 2018).

Figura 1 - Classificação de compósitos em relação à matriz



FONTE: SANTOS (2012)

#### 4.1.1. Polímeros (Termoplástico X Termorrígido)

Segundo Gonçalves (2010), existem duas categorias de matrizes empregadas em compósitos poliméricos, que são denominados de termoplásticos e termorrígidos. A primordial diferença entre eles está no comportamento desses materiais quando aquecidos.

Quando submetidos ao aquecimentos, os polímeros termoplásticos, possuem características que podem ser moldados várias vezes, pois a uma certa temperatura tornan-se fluidos e depois ocorrendo o decréscimo na temperatura, se solidificam. Já

os termorrígidos, são incapazes de converte-se em fluidos, pois, no decorrer do processo de cura que é geralmente exotérmico, sofrem por reações químicas irreversíveis com a formação de grande quantidade de reações cruzadas entre as cadeias macromoleculares, tornando-se rígido, insolúvel e infusível (GONÇALVES, 2010).

Uma importante vantagem dos polímeros termorrígidos, encontra-se em sua elevada propriedade mecânica, que consegue se manter até em temperaturas onde um termoplástico se degradam. Apesar do custo elevado, os polímeros termoplásticos se destaca em termos de desempenho comparados com resinas termofixas (ABMACO, 2010). A Tabela 1, demonstra as principais características dos polímeros termorrígidos e termoplásticos.

Tabela 1 - Comparativo das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos

TERMOPLÁSTICOS	TERMORRÍGIDOS
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso limitada à Tg e Tm	
Baixa estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

FONTE: PAULA (2011)

As resinas termoplásticas, se encontra em estado sólido à baixa temperatura ambiente e são moldadas ou processadas através de aquecimento, fusão e resfriamento, em moldes adequados. Possuem excelente resistência química e mecânica diante de temperaturas baixas, no entanto deixam à desejar quando submetidos a altas temperaturas, no que se refere a qualidade mecânica (ABMACO, 2010).

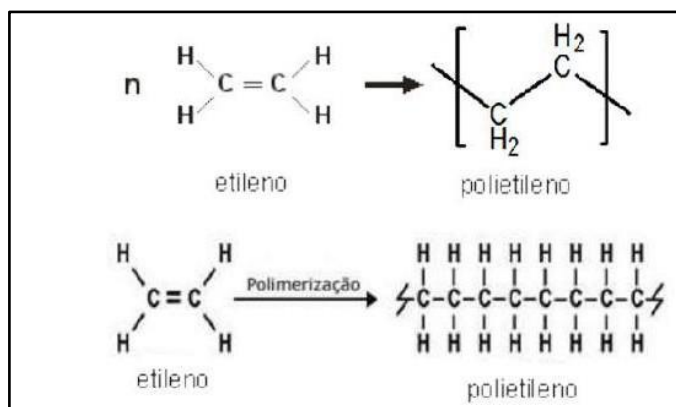
#### 4.1.2. Polietileno (PE)

Descoberto na Grã-Bretanha em 1933 e comercializado em 1939, o polietileno é uma molécula constituída por um grande número de átomos de carbono

ligado covalentemente com um par de átomos de hidrogênio (MELO *et al.*, 2013, p.19). Considerados como polímeros termoplásticos parcialmente cristalinos e flexíveis, cujas propriedades são motivadas pelo agrupamento relativo das fases amorfa e cristalina. De forma industrial, o polietileno é sintetizado quimicamente a partir do etileno produzido pelo craqueamento do petróleo, ou seja, pelo processo químico de transformação de cadeias carbonicas, compondo a classe de polímeros chamada de poliolefinas. As poliolefinas retrataram, cerca de 60% da demanda mundial de termoplásticos, no Brasil representam cerca de 65%, dos quais 40% correspondem ao polietileno (ABIPLAST, 2010; CURY, 2016)

Estruturalmente, o polietileno é formado por unidades de etileno, que se repetem inúmeras vezes, conforme demonstrado (Figura 2). Percebe-se que todos os carbonos se apresentam na forma de hibridização  $sp^3$  e, portanto, o ângulo entre as ligações C-C é de  $109,5^\circ$  (SOLOMONS; FRYHLE; SNYDER, 2016).

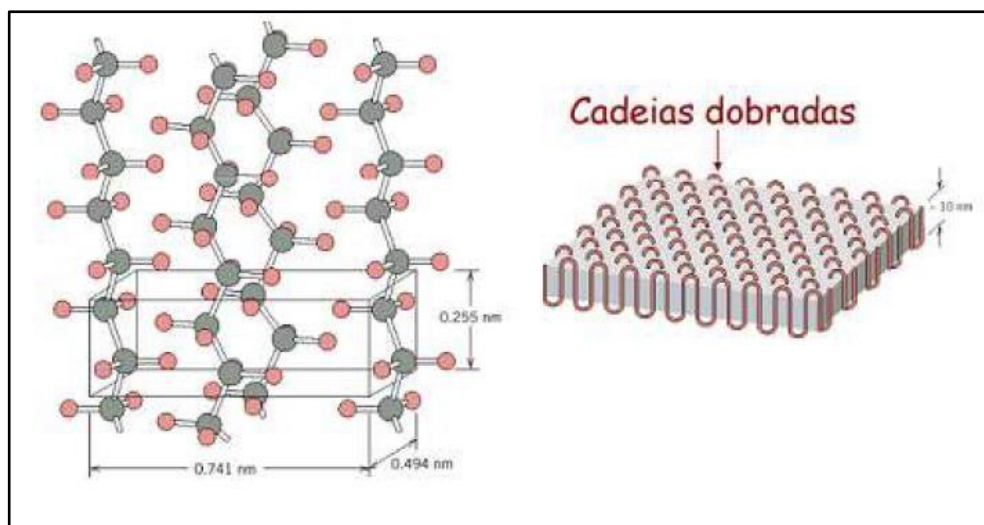
Figura 2 - Estrutura do polietileno



FONTE: MANRICH (2007)

A Figura 3 demonstra a célula unitária de um cristal de polietileno (CURY, 2016).

Figura 3 - Célula unitária ortorrômbica de um cristal de polietileno



FONTE: CALLISTER (2008)

#### 4.1.3. Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

O PEAD é produzido a partir do etileno em um sistema catalítico denominado Ziegler-Natta. A maneira mais comum de processar o PEAD é por extrusão, moldagem por injeção e sopro. O polietileno é uma resina termoplástica que possui uma resistência química excepcional com baixíssimo custo de produção e conseqüentemente vem sendo utilizada mundialmente em comparação aos demais polímeros (COUTINHO; MELLO; DE SANTA MARIA, 2003; DE SOUZA, 2018).

Dentre dos polietilenos existentes, o PEAD foi escolhido como matriz desse estudo por suas diversas características atrativas, como possuir uma estrutura bem compacta e altamente linear conforme mostrado (Figura 2), onde é formado por unidades de etileno que se repetem por diversas vezes, com isso lhe confere uma alta abrangência na faixa de sua densidade de 0,917 a 0,965 g/cm<sup>3</sup> (ARAUJO, 2009; DE SOUZA 2018).

No PEAD a orientação, alinhamento e maior empacotamento das cadeias são mais eficientes e por conseqüência, sua cristalinidade é maior que a do PEBD, fazendo com que as forças intermoleculares possam agir mais intensamente, e sua temperatura de fusão cristalina é aproximadamente 132°C. Com relação às propriedades elétricas, estas são pouco afetadas pela densidade e pelo peso molecular do polímero, ao contrário das propriedades mecânicas que sofrem uma grande influência tanto do peso molecular, como, também, do teor de ramificações

da estrutura morfológica e da orientação molecular. A rigidez e a resistência à tração aumenta com o aumento da densidade e o peso molecular, assim como a viscosidade e a contração (PEACOCK, 2000; MELO, 2013).

## **4.2. REFORÇO DE MATRIZES POLIMÉRICAS**

### **4.2.1. Fibras naturais e suas composições químicas**

As fibras naturais podem ser classificadas de acordo com a fonte de extração, que podem ser mineral, vegetal ou animal. Na atualidade, com o grande apelo ambiental para aproveitamento de materiais derivados de fontes renováveis, a aplicação de fibras naturais em diversos materiais tem aumentado incessantemente (WALLENBERGER; WESTON, 2004; HARISH *et al.*, 2009; BENINI, 2010).

O Brasil possui grande diversidade de fibras vegetais com díspares propriedades químicas, físicas e mecânicas. Diversas fibras e cargas naturais vegetais, provenientes ou não de resíduos, são caracterizadas por materiais lignocelulósicos, que são macromoléculas orgânicas constituídas por pectinas, ligninas, hemicelulose e celuloses, podendo estar ligadas ou não entre si (ALBINANTE *et al.*, 2013; NOGUEIRA, 2018). Na obtenção de compósitos, esses materiais naturais costumam ser facilmente misturados a polímeros termoplásticos (SUDDELL, 2002; CURY, 2016). Além disso, estas fibras 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 aplicáveis como isolantes térmicos e acústicos (SPINACÉ, 2015; NOGUEIRA, 2018).

De acordo com Cury (2016), por serem materiais apontados como “ecologicamente corretos”, as biomassas vegetais vem sendo uma alternativa viável para utilização como reforço em matrizes poliméricas, substituindo as fibras de vidro e outras cargas e oferecendo vantagens, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre fibras naturais e as fibras de vidro

PROPRIEDADES	FIBRAS NATURAIS	FIBRAS DE VIDRO
<i>Densidade</i>	Baixa	Alta
<i>Reciclabilidade</i>	Sim	Não
<i>Fonte renovável</i>	Sim	Não
<i>Consumo de energia para produção</i>	Baixo	Alto
<i>Abrasividade aos equipamentos</i>	Não	Sim
<i>Risco à saúde quando inalada</i>	Não	Sim
<i>Descarte ambiental</i>	Biodegradável	Não-biodegradável

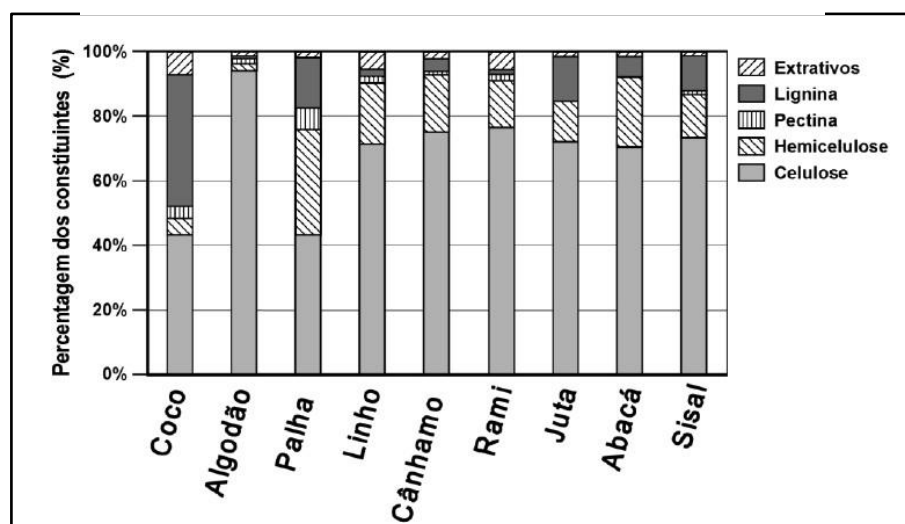
FONTES: WAMBUA, IVENS E VERPOEST (2003)

A extruturação química das fibras vegetais, são também denominadas de fibras lignocelulósicas, desse modo a morfologia e as propriedades decorrem de fatores como: circunstâncias do solo onde foram cultivadas, idade da planta e local de extração (MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2005; WALLEBERGER; WESTON, 2004).

A constituição das fibras lignocelulósicas (celulose, hemicelulose e lignina), estão ordenadas nas fibras em uma complexa estrutura física. Para o desenvolvimento na aplicação de fibras como reforço em compósitos, se faz necessário conhecer esse componentes e a forma como eles estão arranjados na estrutura da fibra (BENINI, 2011).

As propriedades químicas e físicas das fibras estão relacionadas às diferentes proporções de acordo com cinco componentes, que variam de acordo com o tipo da fibra, que são extrativos, lignina, pectina, hemicelulose e celulose (Figura 4).

Figura 4 - Composição química de algumas fibras vegetais



FONTES: ALBINANTE ET AL. (2013)

Assim, pelas cinco constituintes básicas das fibras naturais (hemicelulose, celulose, lignina e extrativos - sais inorgânicos, proteínas e gorduras), a celulose, que contém de 40 a 90% em massa da fibra, tem a função de resistência das fibras, em consequência ao seu elevado grau de polimerização e orientação molecular. Um polímero linear cristalino é constituído por unidades  $\beta$ -D-glicopiranosas ligada por ligações glicosídicas. Já a hemicelulose (1 a 30% em massa), é uma diversidade de moléculas complexas, amorfas e de unidades  $\beta$ -D-xilose,  $\beta$ -D-manose,  $\beta$ -D-glicose,  $\alpha$ -L-arabinose e ácido  $\beta$ -D-glicurônico, constituídas por carbonos com um grupo hidroxila, menos os que podem estar na forma de carbonila ou em ligação hemiacetal. E a lignina, segundo maior componente em massa (1 a 35% em massa), é uma macromolécula constituída por um sistema aromático, reticulado, com elevada massa molar, amorfo e com unidades de fenilpropano (ALBINANTE *et al.*, 2013).

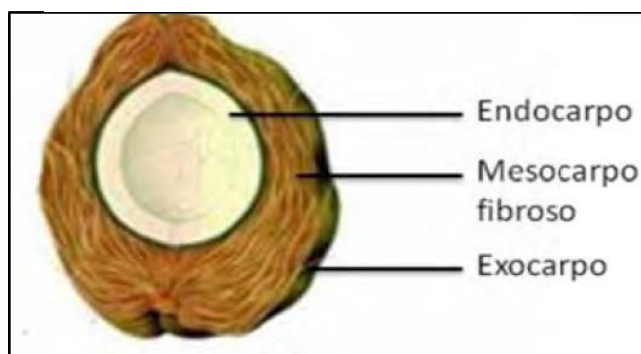
#### 4.2.2. Fibra de coco

O crescimento do consumo de coco verde no Brasil para fabricação de sua água, produz uma quantidade de rejeitos que representa cerca de 85% do peso do fruto. Desta forma, os resíduos gerados pelas cascas interferem na diminuição de vida útil dos aterros, além de refletir à saúde da população e oferecem riscos ao meio ambiente, apresentando de 10 a 12 anos para se decompor (BARBOSA *et al.*, 2010)

O aproveitamento da fibra de coco verde tem sido analisada como reforço em polímeros, como por exemplo, o poliéster (MONTEIRO; TERRONES; D'ALMEIDA, 2008), o polipropileno (ISLAM *et al.*, 2010) e polímeros biodegradáveis, transformando as propriedades mecânicas, como a tração, alongação na ruptura desses compósitos. A aplicação da fibra de coco para a aquisição de compósitos se torna importante, pois além de interferir no volume de resíduos, é um processo acessível, renovável e natural (BARBOSA *et al.*, 2010; ROSA *et al.*, 2009).

Conforme esquematizado abaixo (Figura 5), as fibras de coco são materiais lignocelulósicos e são adquiridas tanto do mesocarpo (parte espessa fibrosa) como do exocarpo (casca) dos cocos.

Figura 5 - Seção transversal do fruto do coqueiro



FONTE: ESMERALDO (2006)

Ainda, Esmeraldo (2006) ressalta que as fibras de coco possui menor percentual de celulose (36 a 43% ), comparada às demais fibras vegetais, apesar disso a quantidade de lignina (41 a 45%) retrata dois a quatro vezes os valores presente para a juta e o sisal, oferecendo-lhe maior rigidez e maior resistência diante a outras fibras.

A densidade (baixa), porosidade, maleabilidade e retenção de água, são umas das principais propriedades da fibra de coco verde, o que caracterizam excelentes qualidades no aproveitamento no setor de agricultura (MARTINS *et al.*, 2013).

Alguns escritores caracterizam materiais que servem como reforço de polímeros, como o polipropileno, o poliéster e os polímeros biodegradáveis, considerando sua capacidade de alterar as propriedades mecânicas desses compósitos, transformando-se mais resistentes à tração e rupturas (BARBOSA *et al.*, 2010).

Com já citado anteriormente, a lignina, existente nas fibras de coco com maior concentração que os demais componentes, é responsável pela força, sustentação e resistência mecânica das fibras vegetais. Além disto, é vista como material de baixa abrasividade e densidade, com características atraente para uso de substituição de cargas. Desta forma, a lignina como outros polímeros, em processos adequados, podem resultar em compósitos parcialmente ou completamente biodegradáveis. Assim, diante de sua natureza fenólica, a lignina pode elevar a resistência de materiais poliméricos em relação à irradiação, oxidação e exposição a elevadas temperaturas (SILVA *et al.*, 2009).

### **4.3. COMPÓSITOS**

Compósitos são estabelecidos por uma categoria de materiais que possuem associação macroscópica de duas fases distintas denominadas de matriz e reforço. A matriz possui a relevante função de subdividir a carga pelo compósito, enquanto o reforço é encarregado de suportar aos esforços solicitados (LEVY-NETO & PARDINI, 2006; CURY, 2016).

O fato da matriz, ocupar os espaços vazios presentes entre os materiais e os reforços e mantê-los em suas devidas posições, é o que proporciona estrutura ao material compósito (NOGUEIRA, 2018).

#### **4.3.1. Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Naturais**

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

Com às vantagens dos polímeros sobre os demais materiais, como os metais e as cerâmicas, na facilidade de processamento, elavada aplicabilidade, baixo custo e versátilidade, os compósitos com matrizes poliméricas desenvolveram-se aceleradamente e posteriormente foram aceitos pelo mercado consumidos e pelas indústrias (RAMIRES, 2010; PEREIRA, 2016).

Cabe à matriz, não só a função de dar forma estável aos compósitos, como também conferir transmissão de esforços às fibras e preservar a superfície das mesmas. Além destes quesitos, imposto às matrizes, as fibras também devem mostrar características que possibilita reforçar os polímeros de maneira eficaz (CASTRO, 2013; PEREIRA, 2016).

As fibras devem possuir as seguintes propriedades: módulo de elasticidade superior ao do polímero a reforçar; tensão de ruptura superior à do polímero a ser reforçado, geometria adequada a uma boa adesão à matriz e resistência à deterioração em contato com a matriz (BANK, 2006).

A orientação das fibras, a quantidade e o comprimento são características que intervêm de forma preponderante as características dos polímeros reforçados com fibras (CASTRO, 2013; PEREIRA, 2016).

A aquisição de materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais requerem requisitos específicos no que se refere ao processamento, uma vez que fibras naturais exibem estrutura basicamente hidrofílica, conflitando com matrizes termoplásticas hidrofóbicas, sendo capaz de existir a criação de aglomerados de fibras (LUZ, 2008; MULLINARI, 2014).

Para a obtenção desses materiais compósitos, é fundamental a produção de mais que uma fase de processamento, até alcançar o formato final do produto. A mistura (fibra - matriz) e moldagem, são as duas principais fases executadas na confecção desses materiais compósitos (CASTRO, 2010; BENINI, 2011).

O objetivo da etapa de mistura no processamento dos compósitos, é oferecer uma mistura homogênea assegurando de maneira absoluta a distribuição da fibra incorporado na matriz. Desta maneira, existem diversos equipamentos que podem ser empregados nesta etapa de mistura, tendo como exemplos as extrusoras de rosca simples ou dupla e os misturadores internos (CASTRO, 2010; BENINI, 2011).

Através da etapa de moldagem do material, Benini (2011), afirma ter o papel de assegurar a dimensão e forma final esperada, por meio de métodos como extrusão, injeção e moldagem por compressão. A elaboração desses compósitos requer condições específicas no que se refere ao processamento, uma vez que as fibras naturais exibe estrutura hidrofílica, discordante com matizes termoplásticas hidrofóbicas. Desta forma, o contato interfacial do reforço e da matriz para determinada aplicabilidade, tem de ser harmonioso (MULLINARI *et al.*, 2010; HIDALGO-SALAZAR & HERRERA-FRANCO, 2013; CURY, 2016).

#### **4.4. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS PARA USO EM COMPÓSITOS**

##### **4.4.1. Tratamentos das Fibras**

Para determinada aplicação, o reforço e a matriz devem atuar conjuntamente, assim o contato interfacial deve ser adequado. Muitos autores indicam a alteração superficial das fibras *in natura* para que ocorra o aumento de energia superficial,

com o objetivo de melhorar a compatibilidade entre fibra e matriz, antes de ser incorporada como reforço em matrizes poliméricas. (MULLINARI, 2014). Métodos químicos e físicos podem ser utilizados para alterar as fibras de reforço, aperfeiçoando a interface fibra-matriz (BRÍGIDA *et al.*, 2010; PEREIRA, 2016).

O problema referente às fibras naturais se dá aos agrupamentos hidrofílicos presentes em sua estrutura química. Esses grupos verificam às fibras naturais uma característica polar, já os polímeros olefinicos são apolares. Mistura entre materiais distintos apresentam uma interação interfacial muito fraca, o que deriva em produtos finais com propriedades mecânicas inferiores às dos polímeros puros. Para atingir uma mistura polimérica uniforme e com melhores propriedades e com ótimas propriedades, é imprescindível elevar a interação entre os componentes, o que pode ser alcançado submetendo a fibra, ou o polímero, a um tratamento químico (ALBINANTE, 2013).

A ausência de harmonização com a matriz polimérica hidrofóbica e a aptidão de forma aglomerados no decorrer do processamento são desvantagens conhecidas. Os tratamentos superficiais são direcionados com o propósito de aperfeiçoar as condições de adesão das fibras e matriz ou modificar as propriedades como a hidrofiliabilidade e rugosidade de sua superfície. Entende-se que as fibras naturais apresentam grupos hidroxila ao longo de suas cadeias, o que oferece uma grande hidrofiliabilidade à fibra (BRÍGIDA *et al.*, 2010; PEREIRA, 2016).

#### **4.4.2. Tratamento de Mercerização**

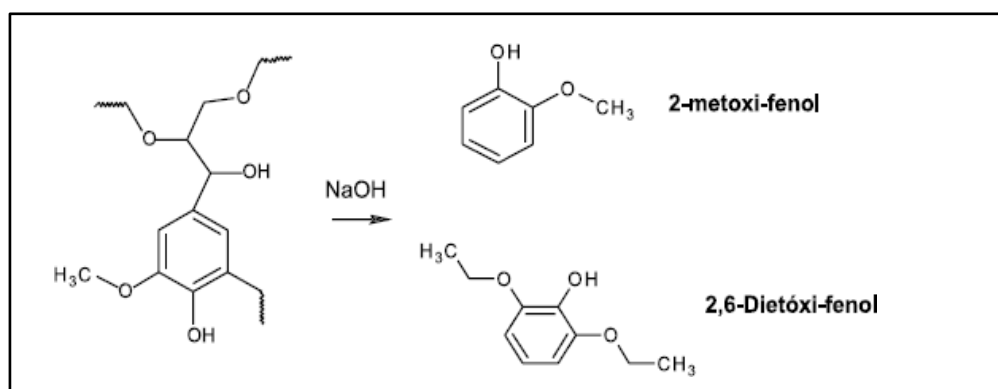
Os tratamentos químicos em fibras naturais, vem se tornando cada vez mais pesquisados e aplicados. Entre as variedades de tratamentos, pode-se mencionar a mercerização, o tratamento com ácidos, com grupos silano, acetil, isocianato, permanganato e peróxido. São tratamentos que atuam aperfeiçoando a interface entre a matriz e a fibra (ALBINANTE *et al.*, 2013).

O tratamento de mercerização propõe limpar a superfície da fibra retirando parcialmente os constituintes amorfos solúveis em meio alcalino. Desta maneira, reduz o grau de agregação das fibras e proporciona uma superfície mais rugosa

(TROEDEC *et al.*, 2008; ESMERALDO, 2006; GOMES *et al.*, 2007; RAZERA, 2006; PEREIRA, 2016)

O tratamento alcalino ou mercerização, provavelmente, é o mais comum processo de modificação de fibras naturais. Seu uso prevê a solubilização de lignina e de hemicelulose, além de mudar a cristalinidade da celulose. A hemicelulose é solúvel em baixíssimas concentrações de álcali e, nessas condições, a lignina sofre hidrólise básica. O tratamento aumenta a rugosidade da superfície da fibra e melhora a aderência mecânica (Figura 6) (ALBINANTE *et al.*, 2013).

Figura 6 - Hidrólise básica da lignina



FONTE: ALBINANTE ET AL. (2013)

A celulose expõe sua estrutura sob a aparência de rede cristalina com regiões amorfas, depois da mercerização, isto é, após o tratamento de NaOH, acontece o arrefecimento das ligações de hidrogênio da fase amorfa, elevando o intumescimento da celulose e o arrefecimento do grau de cristalinidade. Desta forma, a porcentagem de celulose identificados após o tratamento são superiores. A celulose concede mais resistência às fibras vegetais, aumentando a taxa de celulose com o tratamento químico e tornando as fibras com maior potencial de reforço para os compósitos (ALBINANTE *et al.*, 2013).

A ASTM D1695 define mercerização, como um processo onde as fibras vegetais são levadas ao contato com uma solução aquosa de base forte, para criar um elevado intumescimento, resultando na modificação da estrutura, da morfologia, das dimensões e propriedades mecânicas das fibras (BLEDZKI; GASSAN, 1999).

O intumescimento causa o afastamento das cadeias celulósicas, rompendo as ligações de hidrogênio. A existência de hidroxilas, oriunda do tratamento com base forte, auxilia para a quebras destas ligações, criando ligações de hidrogênio com as

cadeias celulósicas. O processo de quebra-intereção de ligações, proporciona grupos que antes eram de difícil acesso a agentes químicos, para produzirem ligações de hidrogênio inter e intramoleculares. Posteriormente ao tratamento alcalino as fibras expõe maior área de contato, contribuindo para maior intereção com demais materiais (CARVALHO, 2004; BLEDZKI; GASSAN, 1999).

#### **4.5. CARACTERIZAÇÕES REALIZADAS EM COMPÓSITOS**

Na criação de novos materiais, os ensaios são necessários para determinar se os mesmos são compostos de matérias-primas duráveis e com alto índice de aproveitamento. Desse modo, conhecer as propriedades mecânicas dos compósitos atribuindo a diversas condições de uso, tais como a temperaturas variadas, ao tipo de carga e a frequência que está sujeito a receber, ao desgaste e a vários outros fatores que influenciam no rendimento e na conservação do material, refletem diretamente no comportamento do material nas condições pretendidas, em conformidade com normas técnicas vigentes (FELIX *et al.*, 2018).

De acordo com Santos (2006) e Cury (2017) estudos relacionados ao comportamento mecânico de compósitos reforçados com fibras naturais mostram que esses materiais podem apresentar tanto aplicações estruturais ou não estruturais.

As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas pela execução de ensaios cuidadosamente programados e reproduzindo o mais fielmente possível o encargo do serviço, portanto conhecer os fundamentos básicos de cada ensaio é crucial, e meramente importante (FELIX *et al.*, 2018).

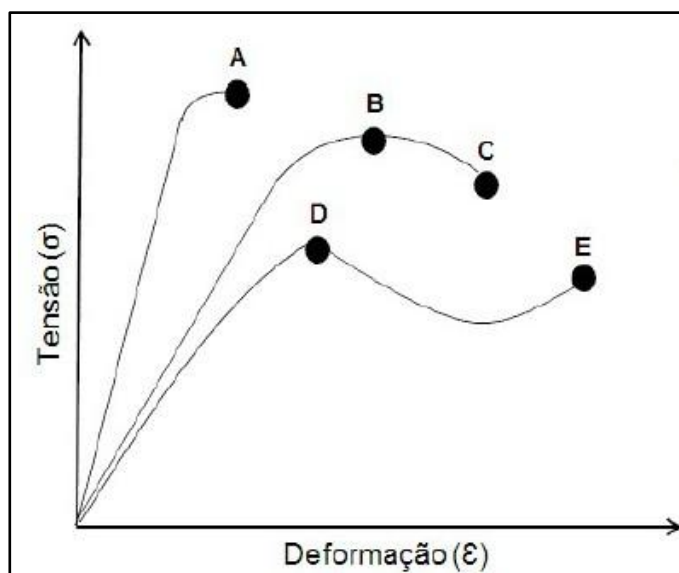
Assim, as propriedades mecânicas quando são analisadas devem-se levar em consideração as características sinérgicas dos materiais que dependem do reforço e da matriz, dessas, as que se destacam são a de resistência à tração e flexão que são determinadas por testes padronizados, utilizando corpos de prova com geometrias, dimensões e tolerâncias dimensionais especificadas em cada norma técnica (CANEVAROLO, 2017).

### 4.5.1. Tração

Nos ensaios de tração, os corpos de prova são afixados em garras, que são acopladas à travessa fixa e à travessa móvel da Máquina Universal de Ensaio. A taxa de deformação de tração é controlada pelo mecanismo de direcionamento, enquanto a tensão de tração sustentada pela amostra é registrada pela célula de carga, ambas acopladas à travessa fixa. Os ensaios de tração são feitos de acordo com o método ASTM D 638-05 (CANEVAROLO, 2017).

A aplicação de uma força em um corpo sólido promove uma deformação do material na direção do esforço que tende a esticá-lo ou alongá-lo. O ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material. A uniformidade da deformação permite ainda obter medições precisas da variação dessa deformação em função da tensão aplicada. Essa uniformidade de deformações termina no momento em que é atingido o valor máximo para carga suportada pelo material, quando começa a aparecer o fenômeno da estricção ou diminuição da secção do corpo de prova, denominado “pescoço” (SANTOS, 2006).

Figura 7 - Designação dos parâmetros no ensaio de tração



FONTE: CURY (2017)

Os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados através dos ensaios de tração são resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade. Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as

deformações ocorridas durante o ensaio, que é conhecido como tensão-deformação, demonstrado (Figura 7).

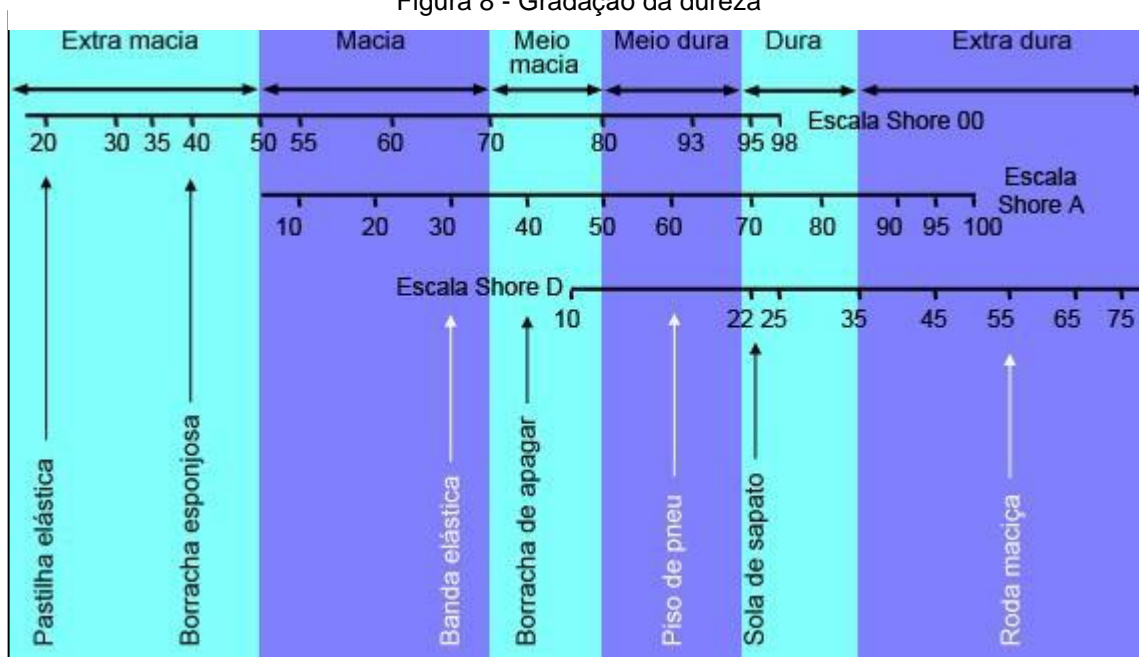
Onde, A e E é a resistência à tração na ruptura (alongação na ruptura); B é a resistência à tração no escoamento (alongação no escoamento), C é a tensão à tração na ruptura (alongação na ruptura) e D é a tensão à tração no escoamento (alongação no escoamento).

#### **4.5.2. Dureza**

A dureza é uma propriedade bastante utilizada na indústria da borracha. Trata-se de uma propriedade importante na generalidade das aplicações. De acordo com Soares *et al.* (2000), as aplicações dos ensaios de dureza incluem a determinação aproximada das características de ductilidade e resistência de materiais, controle de qualidade em tratamento térmicos e mecânicos, controle de qualidade em processos de conformação e em etapas de fabricação, etc (PEREIRA, 2016).

Existem várias escalas de dureza de borracha, sendo a mais conhecida, as Escalas Shore, previstas pela norma ASTM D2240-00. Escalas Shore A e D são recomendadas para borrachas termoplásticas, compósitos elastoméricos termoplásticos tenazes. Shore A para materiais “moles” e Shore D para materiais mais “duros” (Figura 8) (CAETANO, 2020).

Figura 8 - Gradação da dureza



FONTE: CAETANO (2020)

Para a execução do teste de dureza Shore, utiliza-se um aparelho chamado durômetro, que indica a dureza de um material em função da penetração que um indutor consegue provocar. Com este método é possível determinar a dureza de materiais, que vão desde a borracha vulcanizada mole até alguns plásticos duros, permitindo a medição de valores de indentação imediatos, em períodos de tempos específicos ou em ambos os casos (SOARES *et al.*, 2000). Contudo, por ser um teste para se obter medidas referentes à resistência à indentação, de vários tipos de polímeros, não serve para prever outras propriedades como resistência, abrasão ou desgaste, e se usado sozinho, não é o suficiente para especificar o projeto de um produto (PEREIRA, 2017).

Uma relação de carácter sensitivo e a verdadeira dureza da borracha, medida em unidades Shore A, é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação de dureza

<b>Dureza (sensitiva)</b>	<b>Dureza Shore A</b>
Muito Macia	Inferior a 40
Macia	40-60
Média	60-75
Dura	75-90
Muito dura	90-100

FONTE: FINOCCHIO (2008)

A medida da dureza é baseada na penetração de uma esfera rígida num provete normalizado, em condições previamente fixadas. É conhecida a relação entre a profundidade de penetração de uma esfera rígida e o módulo de *Young*, para um material perfeitamente elástico e isotrópico, equação 4 (CAETANO, 2020):

$$\frac{F}{E_0} = 0,0038 \times R^{0,65} \times P^{1,65} \quad (4)$$

Onde,

F – a força de penetração, em Newton;

$E_0$  – o módulo de Young, em MPa;

R – o raio do penetrador esférico, em mm;

P – a profundidade de penetração, em mm.

### 4.5.3 Índice de Fluidiez

A viscosidade dos materiais poliméricos também é um fator importantíssimo que afeta as suas propriedades. Esta viscosidade está diretamente relacionada com a massa molecular do material e suas configurações moleculares e pode ser mensurada por várias técnicas como o de índice de fluidiez. O teste de índice de

fluidez é uma técnica mais simples, mas é amplamente utilizado nas indústrias, principalmente na área automotiva (OTA, 2004).

A medida de índice de fluidez é um indicativo para a condição de processamento dos materiais nos processos de moldagem por injeção dos compósitos.

Via de regra quanto maior o índice de fluidez do material, mais fácil o seu processamento em peças maiores e de geometria complexa, exigindo menor pressão nas injetoras e menor número de entradas nos moldes.

## 5. 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.

### 5.1. Materiais

#### 5.1.1. Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Para o procedimento dos compósitos foi utilizado o polietileno de alta densidade (PEAD) HC7260LS-L RSGG5G004E 8902 TG da BRASKEM, doado pelo UniFOA.

Trata-se de um material com diversas aplicações no segmento de injeção, como caixaria, caixas para uso industrial, capacetes, assentos sanitários, utilidades domésticas, brinquedos, tampas e paletes (JOHN; THOMAS, 2008). As propriedades de controle podem ser verificadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades de controle da matriz PEAD (Braskem)

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

FONTE: BRASKEM (2015)

As propriedades típicas da matriz podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades típicas da matriz PEAD

<b>Propriedades</b>	<b>Métodos ASTM</b>	<b>Unid.</b>	<b>Valor</b>
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)

### 5.1.2. Fibra de coco

A biomassa do *cocos nucifera*, utilizada neste trabalho, foi adquirida comercialmente. A mesma, foi triturada e peneirada, no laboratório da UniFOA, como processo de preparação da fibra. A fração passante na peneira de 50 *mesh* foi utilizada na confecção do cómposito (Figura 9).

Figura 9 - Fibra de coco em peneira 50 *mesh*



FONTE: A AUTORA, 2023.

### 5.1.3. Borohidreto de Sódio ( $\text{NaBH}_4$ )

O borohidreto de sódio usado nesse trabalho foi cedido pelo UniFOA. Foi usado o  $\text{NaBH}_4$  PA, na forma de pó (98% de pureza) da marca Neon.

### 5.1.4. Hidróxido de Sódio ( $\text{NaOH}$ )

O hidróxido de sódio que foi usado nesse trabalho foi cedido pelo UniFOA. Foi usado  $\text{NaOH}$  em lentilhas PA (98% de pureza) da marca Neon.

## 5.2. Metodologia

### 5.2.1. Processamento dos Compósitos

Para a confecção do compósito, foi realizada a incorporação da biomassa de fibra de coco no PEAD, nas proporções de 10%, 20% e 30% de fibra (Figura 10) através de um homogeneizador termocinético (Figura 11), marca *Dryzer*, modelo MH-50H, da empresa MH Equipamentos, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais da UniFOA.

Após a mistura do reforço e matriz das três famílias no homogeneizador, o material foi moído em moinho de facas da marca Plastimax (Figura 12). Os mesmos, foram utilizados para confecção dos corpos de provas para os ensaios mecânicos e caracterizações.

Figura 10 - Pesagem das proporções por família



FONTE: A AUTORA, 2023.

Figura 101 - Homogeneizador termocinético



FONTE: A AUTORA, 2023

Figura 11 - Moinho de facas (Plastimax)



FONTE: A AUTORA, 2023.

Figura 133 - Compósito após a incorporação



FONTE: A AUTORA, 2023

Figura 124 - Compósito após a trituração



FONTE: A AUTORA, 2023

### 5.2.2. Confeção dos Corpos de Provas

Após a moagem dos compósitos, os mesmos foram injetados, utilizando uma injetora termoplástica de bancada (Figura 15), marca RAY RAM - modelo TSMP a 300°C, para confecção dos corpos de provas e realização dos ensaios de tração (Norma ASTM D 63803, com 13 mm de largura, 165 mm de comprimento e 3 mm de espessura).

Figura 14- Injetora RAY RAM - modelo TSMP



FONTE: A AUTORA, 2023.

### **5.2.3. Caracterização Mecânica dos Compósitos**

#### **5.2.3.1 Tratamento químico da biomassa proveniente da fibra de coco**

Para a realização do tratamento alcalino da biomassa proveniente da fibra de coco foram utilizadas as metodologias descritas no trabalho de Moraes (2010), onde o autor efetuou o tratamento superficial de fibras de sisal e na dissertação de mestrado de Gehlen (2014), onde a autora realizou o tratamento superficial em fibras de açai e curauá.

Com o objetivo de obter-se uma adesão satisfatória entre a biomassa e uma futura matriz termoplástica, a biomassa de coco foi submetida a tratamento alcalino com 5% de NaOH (m/m), com adição de 1% NaBH<sub>4</sub> (m/m), na função de agente protetor. A presença do NaBH<sub>4</sub>, como um agente de proteção teve como função minimizar a degradação da fibra de coco em meio aquoso e alcalino, com relação às iguais condições apenas com NaOH.

O procedimento utilizado no tratamento com 5% NaOH + 1% de NaBH<sub>4</sub> constituiu no preparo de uma solução contendo 396 g de NaOH e 79,2 g de NaBH<sub>4</sub> em 8,0 L de água destilada, onde 60 g de biomassa, após serem agitadas na solução alcalina ora preparada, ficaram imersas por 24 h a 25°C. Após o tratamento, a biomassa de coco foi filtrada e lavada em água corrente e, por fim, colocada em estufa com circulação de ar a 60°C por 24 h.

##### **5.2.3.1.1 Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

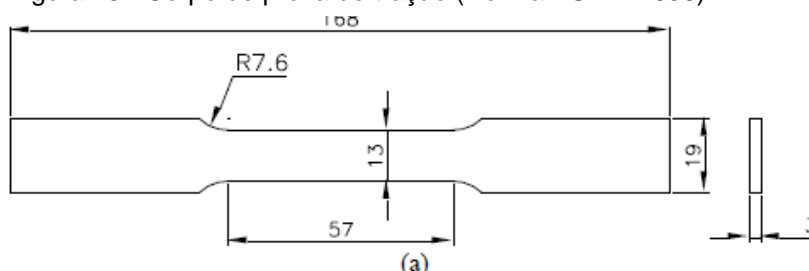
As análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram realizadas em um microscópio marca LEO, modelo LEO 1450VP, localizado no Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP).

As superfícies das amostras de biomassa de coco *in natura* e tratadas foram revestidas por uma fina camada de ouro utilizando-se uma metalizadora, marca BAL-TEC, modelo MED 020 *Coating System*, provida com o sistema MCS 010 *Multi Control System*, também localizada no Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP).

### 5.2.3.2 Ensaio de tração

O teste de tração foi realizado em equipamento de ensaios mecânicos, da marca EMIC disponível no laboratório da UniFOA. Com célula de carga de 100 kN, velocidade de ensaio equivalente a 5 mm/min. Os corpos de provas foram confeccionados de acordo com as dimensões estabelecidas pela norma ASTM D638 (Figura 16).

Figura 15 - Corpo de prova de tração (Norma ASTM D638).



FONTE: BENINI (2011)

Foram analisados 3 corpos de provas de cada família (PEAD *in natura*, 10%, 20%, 30%), obtendo o resultado que corresponde a média para cada composição.

Para este trabalho, foram investigados o módulo de elasticidade, tensão máxima de ruptura e o alongamento, que determina a propriedade de tração do compósito desenvolvido.

### 5.2.3.3 Determinação do índice de fluidez

Para a determinação dos índices de fluidez os ensaios foram realizados na Escola de Engenharia da USP de Lorena (EEL/USP) em um aparelho para ensaios de índice de fluidez (Plastômetro), marca CEAST. De acordo com diretrizes gerais da Norma ASTM D 1238:2013 o ensaio de índice de fluidez foi realizado com o método A, “*Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*”. Foi utilizado peso de 3,8 kg a temperatura de 230°C e, 5 s como tempo de corte.

O teste de fluidez avaliou o efeito na fluidez dos compósitos de matriz de PEAD nas diferentes proporções de fibras de coco incorporadas.

A análise foi conduzida por meio de um Plastômetro, um aparato constituído por um cilindro vertical dotado de controle de temperatura, com um orifício padronizado localizado em sua base. Nesse contexto, é introduzida uma quantidade determinada da amostra a ser examinada no cilindro. Em seguida, a amostra do compósito que será analisado é submetida a um processo de aquecimento em conformidade com as diretrizes normativas vigentes, até que alcance o estado fundido. No âmbito deste trabalho, a temperatura de aquecimento foi estabelecida em 230°C.

Prosseguindo com o aquecimento, uma carga é aplicada, impulsionando a extrusão do polímero por meio de uma matriz, empregando uma massa de 3,8 kg. Incisões foram efetuadas em intervalos de tempo uniformes, com períodos de 5 segundos entre as incisões. Subsequentemente, os corpos de prova foram submetidos a pesagens por meio de uma balança de alta precisão.

#### **5.2.3.4 Ensaio de Dureza Shore D**

O ensaio de dureza foi realizado utilizando um durômetro portátil digital DIGIMESS com capacidade de 0 a 100 Shore D; resolução de 0,1 Shore D; e exatidão de  $\pm 1$  Shore D no laboratório de ensaios do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Resultados do tratamento alcalino da fibra de coco

Após a secagem da massa de biomassa proveniente da fibra de coco tratada com solução alcalina, foi obtida uma massa de 48 g. Dessa forma, comparando-se com o valor inicial (60 g), ocorreu uma perda de massa de 12 g. Essa redução de massa era esperada, uma vez que o tratamento alcalino promove a remoção parcial de lignina, hemicelulose e outros componentes presentes na biomassa natural (por exemplo, ceras, extrativos, etc).

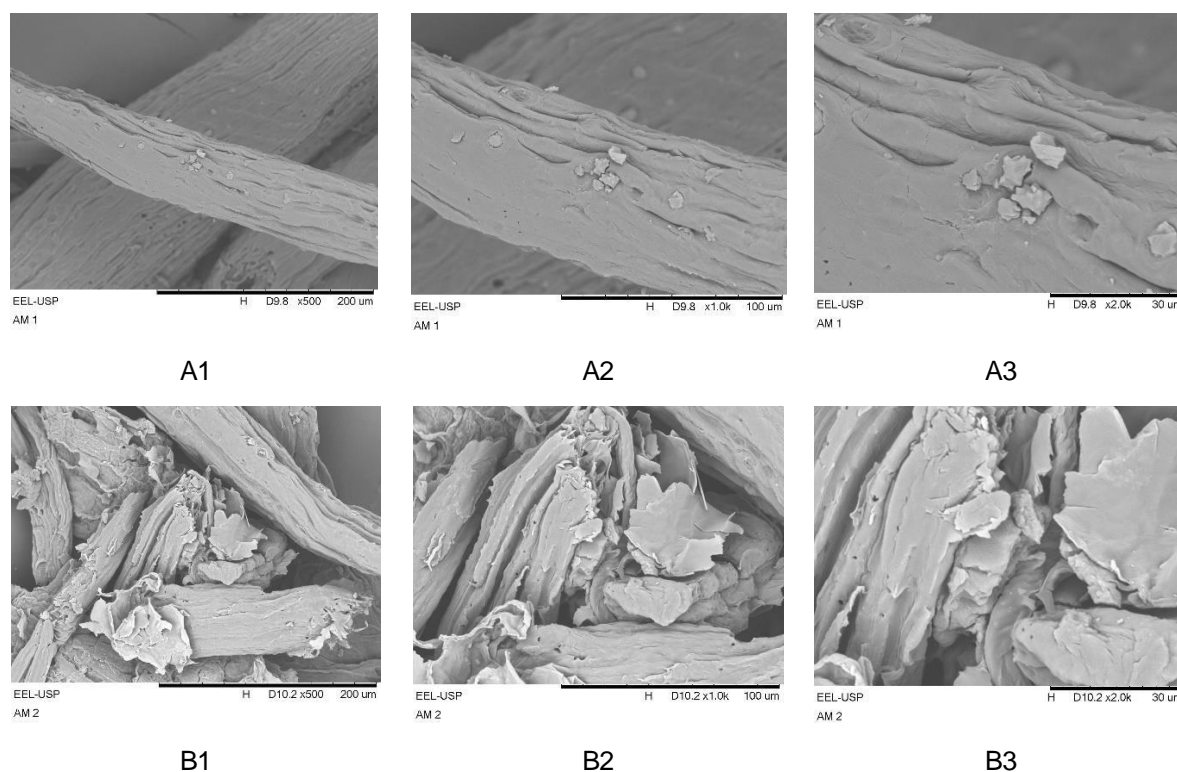
As análises por microscopia eletrônica de varredura tiveram por objetivo determinar as características das fibras “*in natura*” e tratadas quimicamente, quanto a morfologia e ao aspecto superficial, além de avaliar o efeito do tratamento químico alcalino sobre a superfície delas. As micrografias da biomassa “*in natura*” e tratada estão dispostas na figura 17.

Analisando as imagens das fibras “*in natura*” (Figuras 20A1, 20A2 e 20A3), observou-se uma camada lisa superficial, que representa a casca da fibra, associada à presença de ceras e extrativos, além dos constituintes amorfos como a lignina e a hemicelulose.

Com o tratamento de alcalino com NaOH + NaBH<sub>4</sub>, (Figuras 20B1, 20B2 e 20B3), as fibras mais externas apresentaram uma superfície rugosa com as fibrilas mais soltas e expostas, devido ao efeito da remoção da lignina. Considerando que a lignina atua como um ligante entre as fibrilas, ao ser retirada provocou o processo de fibrilação.

Vale ressaltar que nos trabalhos de Benini (2011) e Arantes et al. (2021) os autores também verificaram a alteração da morfologia e do aspecto superficial em fibras lignocelulósicas após passarem por tratamentos químicos de mercerização e branqueamento, tratamentos esses que objetivaram também a remoção da lignina.

Figura 16 - MEV da biomassa de fibra de coco: (A1) *in natura* 500x, (A2) *in natura* 1000x, (A3) *in natura* 2000x; (B1) após tratamento 500x, (B2) após tratamento 1000x, (B3) após tratamento 2000x.



FONTE: A AUTORA, 2024

## 6.2. Resultados dos ensaios de tração

A adição de biomassa de coco (*in natura*) na matriz polimérica do PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima, porém provocou uma redução em torno de 70% na deformação total do material. Este efeito da adição de fibras pode ser observado nos resultados apresentados a seguir (Tabela 6). Analisando os compósitos com biomassas de coco (*in natura*) observou-se que a adição de biomassas na matriz de PEAD não provocou mudanças significativas nas propriedades mecânicas dos compósitos até a tensão máxima de resistência à tração, porém contribuiu para a redução na deformação total do material (alongamento). Com o aumento do volume de biomassa foi possível observar o aumento nos valores do módulo elástico e da tensão de escoamento com uma consequente redução na alongação total dos compósitos.

Este fenômeno foi associado ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade do material. Assim, o caráter mais frágil do compósito foi maior de acordo com o aumento do volume de fibra, como já era de se esperar. Lembrando que a ductilidade corresponde à elongação total material devido à deformação plástica. Trabalhos da literatura também demonstraram esse comportamento devido ao aumento do volume de biomassa lignocelulósicas incorporadas em matrizes termoplásticas (BENINI, 2011; PEREIRA, 2016; PEREIRA, 2017).

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de tração do PEAD puro e dos compósitos reforçados com a biomassa de coco *in natura*.

<b>Materiais</b>	<b>Tensão de Escoamento (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>	<b>Alongamento Percentual (%)</b>
PEAD Puro	9,70 ± 0,60	32,33 ± 0,46	29,90 ± 0,46
PEAD + 10% FC <sub>in</sub>	9,74 ± 1,17	51,26 ± 3,24	18,89 ± 3,24
PEAD + 20% FC <sub>in</sub>	6,74 ± 3,95	39,65 ± 0,74	16,99 ± 0,74
PEAD + 30% FC <sub>in</sub>	12,14 ± 0,25	86,71 ± 0,82	13,63 ± 0,82

(\*) valores médios  
FC<sub>in</sub>: Fibra de Coco *in natura*

FONTE: A AUTORA, 2024

Conforme pode ser observado (Tabela 6), apenas o compósito contendo 20% em massa de biomassa de coco *in natura* não apresentou a tendência de aumento nos valores do módulo elástico e da tensão de escoamento. Por esse motivo, o compósito contendo 20% de biomassa de coco *in natura* será reprocessado e novamente ensaiado para conferência.

Já a adição de biomassa de coco tratada na matriz polimérica do PEAD promoveu uma melhora significativa nas propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras tratadas, quando comparados com os valores que foram obtidos nos compósitos reforçados com as fibras *in natura*. Este efeito da adição de fibras tratadas pode ser observado nos resultados apresentados a seguir (Tabela 7).

Por exemplo, comparando os valores das propriedades mecânicas do compósito PEAD + 30% FC<sub>in</sub> ( $\sigma_{esc} = 12,14$  MPa e  $E = 86,71$  MPa) com o compósito PEAD + 30% FC<sub>trat</sub> ( $\sigma_{esc} = 14,93$  MPa e  $E = 123,40$  MPa), ocorreu um aumento de 23% no valor da tensão de escoamento e um aumento de 42% no valor do módulo de elasticidade.

Foi observado também que, com o uso da fibra de coco tratada ocorreu a tendência de aumento nos valores da tensão de escoamento e do módulo elástico com o aumento do teor de fibras tratadas no compósito. Isso pode ser justificado pelo fato de a fibra tratada ter um aspecto mais cristalino, devido à remoção de lignina (amorfa) e foi capaz de promover uma melhor dispersão na matriz do PEAD, promovendo uma uniformidade das propriedades mecânicas devido ao aumento gradual do teor de reforço em cada formulação de compósito estudada.

Com o aumento do volume de biomassa tratada também foi possível observar uma menor redução na elongação total dos compósitos, se comparado com os compósitos reforçados com a biomassa *in natura*.

Tabela 7- Resultados dos ensaios de tração do PEAD puro e dos compósitos reforçados com a biomassa de coco tratadas.

<b>Materiais</b>	<b>Tensão de Escoamento (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>	<b>Alongamento Percentual (%)</b>
PEAD Puro	9,70 ± 0,6	32,33 ± 0,46	29,90 ± 0,46
PEAD + 10% FC <sub>trat</sub>	11,83 ± 0,19	99,21 ± 3,19	27,62 ± 6,65
PEAD + 20% FC <sub>trat</sub>	12,11 ± 0,15	105,70 ± 1,78	20,29 ± 3,82
PEAD + 30% FC <sub>trat</sub>	14,93 ± 0,23	123,40 ± 0,50	18,25 ± 1,17

(\*) valores médios  
FC<sub>trat</sub>: Fibra de Coco Tratada

FONTE: A AUTORA, 2024

Portanto, quando se comparam os valores das propriedades entre os dois tipos de fibras que foram estudadas (*in natura* e tratada), pode-se notar que as propriedades mecânicas nos compósitos PEAD/FC<sub>Trat</sub> foram superiores quando comparado com o compósito PEAD/FC<sub>in</sub>. Esses resultados já eram esperados, uma vez que, a partir das imagens de MEV, pode-se notar que a fibra de coco tratada apresentou um aspecto mais rugoso, quando comparada com fibra *in natura*. E esse aspecto mais rugoso da fibra de coco tratada pode ser contribuído para maximizar o efeito de ancoragem da fibra tratada na matriz polimérica do PEAD, promovendo uma melhor

interação reforço/matriz no compósito formado. No trabalho realizado por Benini (2010), a autora também observou esse ganho nas propriedades mecânicas em compósitos de HIPS reforçados com fibra de coco tratadas.

### 6.3. Resultados das análises de Índice de Fluidiez

Os resultados dos ensaios que determinaram o índice de fluidiez do PEAD puro e dos compósitos com adição de biomassa de coco *in natura* estudados estão apresentados a seguir (Tabela 8). Conforme pode ser observado, o aumento do teor de biomassa ao PEAD não promoveu alterações significativas no índice de fluidiez nos compósitos.

Tabela 8 - Resultados dos valores de índice de fluidiez do PEAD puro e dos compósitos PEAD + FC<sub>in</sub>

MATERIAIS	ÍNDICE DE FLUIDIEZ (g/10 min)
PEAD Puro	14,8 ± 3,2
PEAD + 10% FC <sub>in</sub>	17,3 ± 2,9
PEAD + 20% FC <sub>in</sub>	17,5 ± 3,3
PEAD + 30% FC <sub>in</sub>	15,5 ± 3,3

FONTE: A AUTORA, 2024

Os resultados dos ensaios que determinaram o índice de fluidiez do PEAD puro e dos compósitos com adição de biomassa de coco tratada estudados estão apresentados a seguir (Tabela 9). Conforme pode ser observado, o aumento do teor

de biomassa tratada ao PEAD também não promoveu alterações significativas no índice de fluidez nos compósitos.

Tabela 9 - Resultados dos valores de índice de fluidez do PEAD puro e dos compósitos AD + FC<sub>Trat</sub>

MATERIAIS	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min)
PEAD Puro	14,8 ± 3,2
PEAD + 10% FC <sub>Trat</sub>	18,1 ± 3,4
PEAD + 20% FC <sub>Trat</sub>	17,8 ± 4,1
PEAD + 30% FC <sub>Trat</sub>	16,9 ± 3,2

FONTE: A AUTORA, 2024

Dessa forma, tanto a inserção de 10%, 20% e 30% de biomassa de coco *in natura* como a adição de 10%, 20% e 30% de biomassa de coco tratada não provocaram alterações consideráveis no índice de fluidez do PEAD sendo possível manter sua utilização, mesmo inserindo a porcentagem de 30% de biomassa. Ou seja, o tratamento químico da fibra de coco não promoveu melhoras significativas nos resultados de índice de fluidez.

Henriques (2015) relatou que os valores de índice de fluidez para compósitos de polipropileno (PP) de alta cristalinidade variaram entre 28 e 31,3 g/10 min. Esses valores são considerados elevados quando comparados aos limites de especificação adotados pelas montadoras de automóveis.

### 6.3. Resultados dos ensaios de dureza Shore D

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição da biomassa de coco *in natura* ao PEAD não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro, como é mostrado (Tabela 10). Os valores das durezas foram obtidos a partir de medições

realizadas nos corpos de prova de tração. Foram realizadas cinco leituras de dureza em cada amostra.

Tabela 10 - Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósito PEAD + biomassa de fibra de coco *in natura*

<b>MATERIAIS</b>	<b>DUREZA SHORE D</b>
PEAD Puro	61,4 ± 1,2
PEAD + 10% FC <sub>in</sub>	62,1 ± 0,6
PEAD + 20% FC <sub>in</sub>	63,0 ± 1,2
PEAD + 30% FC <sub>in</sub>	63,7 ± 0,7

FONTE: A AUTORA, 2024

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição da biomassa de coco tratada ao PEAD também não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro, como é mostrado (Tabela 11). Os valores das durezas foram obtidos a partir de medições realizadas nos corpos de prova de tração. Foram realizadas cinco leituras de dureza em cada amostra.

Tabela 11 - Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósito PEAD + biomassa de fibra de coco tratada

<b>MATERIAIS</b>	<b>DUREZA SHORE D</b>
PEAD Puro	61,4 ± 1,2
PEAD + 10% FC <sub>Trat</sub>	62,4 ± 0,9
PEAD + 20% FC <sub>Trat</sub>	63,5 ± 1,7
PEAD + 30% FC <sub>Trat</sub>	63,8 ± 1,1

FONTE: A AUTORA, 2024

Este resultado pode ser considerado bastante satisfatório para uma possível fabricação de materiais para o segmento automobilístico e sem a necessidade de se efetuar o tratamento químico nas fibras de coco, uma vez que a inserção da biomassa de coco no PEAD, tanto a *in natura* como a fibra tratada não alteraram de

maneira significativa a dureza apresentada pelo PEAD puro. Dessa forma, o uso de compósitos reforçados com o referido resíduo *in natura* poderá acarretar uma redução de 30% no consumo de PEAD puro e, conseqüentemente, uma redução no custo das peças produzidas, ainda mantendo os valores de dureza do PEAD puro.

Nos trabalhos realizados por Pereira (2016) e Pereira (2017), as autoras também observaram esse comportamento de dureza nos compósitos HIPS reforçados com fibras de coco e fibras de bagaço da cana, respectivamente.

## 7. CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos nesta dissertação de mestrado, foi possível avaliar o efeito da adição da biomassa de coco *in natura* e biomassa tratada no PEAD sobre algumas propriedades mecânicas.

Quanto à caracterização dos compósitos as principais conclusões, até o momento, foram:

### *a) Tratamento químico da fibra de coco*

O tratamento químico alcalino na biomassa proveniente da fibra de coco, teve como objetivo melhorar a compatibilidade da biomassa natural quando utilizada como agente de reforço em compósitos poliméricos de matrizes termoplásticas.

Após a secagem da massa de biomassa de coco que passou pelo tratamento alcalino, foi possível avaliar a eficiência do tratamento químico, uma vez que foi verificada uma perda de massa que, por sua vez, pode ser atribuída a remoção parcial de lignina, hemicelulose e outros componentes presentes na biomassa natural. A partir das imagens de MEV, pode-se verificar que as fibras apresentaram uma superfície rugosa, devido ao efeito da remoção da lignina. Considerando que a lignina atua como um ligante entre as fibrilas, ao ser retirada provocou o processo de fibrilação.

Dessa forma, a biomassa de fibra de coco após sofrer o tratamento alcalino com NaOH e NaBH<sub>4</sub> pode ser uma alternativa eficiente para ser utilizada como agente de reforço em compósitos poliméricos, melhorando a interface fibra/matriz e, com isso, promovendo melhoras significativas nas propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos, quando comparadas com compósitos onde são usadas fibras *in natura* como agente de reforço.

### *b) Resistência a tração dos compósitos reforçados com fibras de coco in natura*

Em relação aos ensaios de tração, verificou-se que adição de biomassa de coco na matriz polimérica do PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima, porém provocou uma redução em torno de 70% na

deformação total do material. Também foi constatado que a adição de biomassa de coco *in natura* na matriz de PEAD não provocou mudanças significativas nas propriedades mecânicas dos compósitos até a tensão máxima de resistência à tração, porém contribuiu para a redução na deformação total do material (alongamento). Com o aumento do volume de biomassa foi possível observar um aumento nos valores do módulo elástico e da tensão de escoamento com uma conseqüente redução na elongação total dos compósitos.

*c) Resistência a tração dos compósitos reforçados com fibras de coco tratada*

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a adição de biomassa de coco tratada na matriz polimérica de PEAD promoveu melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos compósitos. Os compósitos reforçados com fibras tratadas demonstraram aumentos consideráveis na tensão de escoamento e no módulo de elasticidade em relação aos reforçados com fibras *in natura*, evidenciando a eficácia do tratamento da fibra. Esses ganhos podem ser atribuídos à remoção de lignina durante o processo de tratamento, que resultou em uma fibra mais cristalina e com melhor interação com a matriz polimérica. Além disso, a tendência de aumento das propriedades mecânicas com o teor crescente de fibras tratadas reforça a viabilidade do uso da biomassa tratada para aprimorar o desempenho mecânico dos compósitos. Por fim, a menor redução na elongação total observada nos compósitos com biomassa tratada destaca o potencial dessa abordagem na produção de materiais com maior equilíbrio entre rigidez e ductilidade.

*d) Índice de fluidez dos compósitos reforçados com fibras de coco in natura*

Em relação a avaliação da influência do teor de biomassa proveniente fibra de coco nas propriedades reológicas em compósitos de PEAD, foi constatado que o aumento do teor de biomassa de coco *in natura* ao PEAD não promoveu alterações significativas no índice de fluidez nos compósitos. Portanto, as inserções de 10%, 20% e 30% de biomassa de coco *in natura* não provocaram alterações consideráveis no índice de fluidez do PEAD sendo possível manter sua utilização, mesmo inserindo a porcentagem de 30% de biomassa. Dessa forma, as

características reológicas foram praticamente mantidas se comparadas com o índice de fluidez do PEAD puro. Entretanto, o aspecto de sustentabilidade foi maximizado devido à inserção de 30% (m/m) de biomassa de fibra de coco *in natura*.

*e) Índice de fluidez dos compósitos reforçados com fibras de coco tratadas*

Os resultados dos ensaios de índice de fluidez dos compósitos reforçados com as fibras tratadas demonstraram que o aumento do teor de biomassa tratada ao PEAD também não promoveu alterações significativas no índice de fluidez nos compósitos. Ou seja, o tratamento químico da fibra de coco não promoveu melhoras significativas nos resultados de índice de fluidez nos compósitos estudados.

*f) Dureza Shore D dos compósitos reforçados com fibras de coco in natura*

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição da biomassa de coco *in natura* ao PEAD não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparado ao PEAD puro. Dessa forma, o uso de compósitos reforçados com fibras de coco *in natura* poderá acarretar uma redução de 30% no consumo de PEAD puro e, conseqüentemente, uma redução no custo das peças produzidas, ainda mantendo os valores de dureza do PEAD puro.

*g) Dureza Shore D dos compósitos reforçados com fibras de coco tratadas*

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição da biomassa de coco tratada ao PEAD também não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro. Ou seja, o tratamento químico da fibra de coco não promoveu melhoras significativas nos resultados de dureza Shore D nos compósitos estudados.

Com base na análise dos resultados apresentados nesta dissertação, conclui-se que a utilização de biomassa de coco, tanto *in natura* quanto tratada, como agente de reforço em compósitos de PEAD apresenta potencial promissor,

especialmente em termos de sustentabilidade e eficiência de custo. O tratamento químico das fibras de coco revelou-se eficaz para melhorar a compatibilidade entre fibra e matriz polimérica, resultando em significativas melhorias nas propriedades mecânicas, como tensão de escoamento e módulo de elasticidade, além de reduzir a elongação total dos compósitos.

Por outro lado, as fibras *in natura*, embora não tenham promovido melhorias expressivas nas propriedades mecânicas, mostraram viabilidade para aplicação em compósitos devido à manutenção de características reológicas, como o índice de fluidez e a dureza Shore D, mesmo com a adição de até 30% de biomassa. Isso reforça o apelo sustentável e econômico de sua aplicação, permitindo a redução do consumo de PEAD puro sem comprometer suas características básicas.

Por fim, o tratamento químico não impactou significativamente o índice de fluidez nem a dureza Shore D, indicando que esses parâmetros não são diretamente afetados pelo processo de modificação das fibras. Assim, o estudo demonstra que a biomassa de coco, em suas diferentes formas, é uma alternativa viável para o desenvolvimento de compósitos poliméricos, com vantagens ambientais e econômicas, especialmente quando associada a critérios específicos de desempenho mecânico.

## 8. TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados desta dissertação, algumas sugestões para trabalhos futuros incluem:

- 1. Otimização do tratamento químico das fibras de coco:**  
Investigar outros métodos de tratamento químico ou combinações de processos (como tratamentos enzimáticos ou de plasma) para aprimorar ainda mais a interface fibra/matriz, com o objetivo de maximizar as propriedades mecânicas dos compósitos.
- 2. Estudo da durabilidade dos compósitos:**  
Avaliar o desempenho dos compósitos reforçados com fibras de coco, *in natura* e tratadas, em condições de envelhecimento acelerado, incluindo exposição a diferentes temperaturas, umidade e radiação UV, para compreender sua durabilidade em aplicações de longo prazo.
- 3. Análise de propriedades térmicas e estruturais:**  
Realizar estudos detalhados sobre as propriedades térmicas (como TGA e DSC) e estruturais dos compósitos, para explorar melhor a influência das fibras tratadas na estabilidade térmica e na cristalinidade da matriz polimérica.
- 4. Incorporação de aditivos compatibilizantes:**  
Investigar o uso de agentes compatibilizantes para melhorar a dispersão e adesão das fibras de coco na matriz de PEAD, visando ampliar ainda mais as melhorias observadas nas propriedades mecânicas.
- 5. Análise econômica e ambiental:**  
Realizar estudos de viabilidade econômica e análise do ciclo de vida (LCA) dos compósitos produzidos, considerando a substituição parcial do PEAD por biomassa de coco, para destacar as vantagens ambientais e de custo em larga escala.
- 6. Exploração de outras matrizes poliméricas:**  
Estender o uso da biomassa de coco para matrizes poliméricas distintas, como PP, PLA ou outros polímeros biodegradáveis, com o objetivo de desenvolver compósitos mais sustentáveis e ampliar o campo de aplicações.

**7. Aplicações industriais específicas:**

Investigar o uso dos compósitos reforçados com fibras de coco em aplicações específicas, como peças automotivas, embalagens, e materiais de construção, avaliando seu desempenho em condições reais de uso.

**8. Desenvolvimento de novos métodos de processamento:** Explorar técnicas alternativas de processamento, como moldagem por injeção ou compressão, para verificar sua influência na uniformidade das propriedades dos compósitos e na redução de custos produtivos.

**9. Estudo de compósitos híbridos:**

Analisar o efeito da combinação de fibras de coco tratadas com outros tipos de fibras naturais ou sintéticas, buscando sinergias que possam potencializar as propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos.

**10. Exploração de resíduos agroindustriais similares:**

Ampliar a pesquisa para incluir outras biomassas agroindustriais, avaliando se os métodos aplicados às fibras de coco podem ser replicados para resíduos similares, como bagaço de cana, casca de arroz ou caroço de açaí.

Essas propostas visam aprofundar o conhecimento sobre o uso da biomassa de coco como reforço em compósitos poliméricos, buscando ampliar suas aplicações industriais, reduzir impactos ambientais e aumentar sua viabilidade técnica e econômica.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2010.
- ABMACO - Noções Básicas sobre Materiais Compósitos, vol. Único, 2-3 p., 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.
- ARAÚJO, J. R. Compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibra de curauá obtidos por extrusão e injeção. Dissertação mestrado – Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Química. 2009
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D1695-20: Standard classification system and basis for specification for polyolefin plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. Disponível em: <https://www.astm.org/d1695>.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2240-00: Standard test method for rubber property—durometer hardness. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2000. Disponível em: <https://www.astm.org/d2240>.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D638-05: Standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2005. Disponível em: <https://www.astm.org/d638>.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D790-17: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/d790>.
- BANK, L. C. Composites for Construction Structural Design with FRP Materials. John Wiley & Sons, New Jersey, 2006.
- BARBOSA JR, V.; RAMIRES, E. C.; RAZERA, I. A. T.; FROLLINI, E. Biobased composites from tannin–phenolic polymers reinforced with coir fibers. *Industrial Crops and Products*, In press, 2010.
- BENINI, K.C.C.C. Development and characterization of polymeric composites reinforce with lignocelulosic fibers: HIPS/ green coconut husk and sugarcane bagasse fibers. 2011. 125f. Thesis (Master in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.
- BENINI, K.C.C.de C. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar. Dissertação Mestrado – Universidade Estadual Paulista,

- Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
- BLEDZKI, A. K. & Gassan, J. - Prog. Polym. Sci., 24, p.221, 1999.
- BONA, J.C. Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- BRIGIDA, A.I.S.; CALADO, V.M.A.; GONCALVES, L.R.B.; COELHO, M.A.Z. Effect of Chemical Treatments on Properties of Green Coconut Fiber. Carbohydrate Polymers, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.
- CALLISTER JR., W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução 7ª edição. LTC Editora, 2008, 704 pp.
- CANEVAROLO JR., S. V. Técnicas de caracterização de polímeros. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2007
- CARVALHO, L. F. M. Fibras de Palha de Carnaúba: Caracterização Térmica e Aplicações em Compósitos. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí, Brasil.
- CASTRO, B. F. M. Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais. 2013. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Cidade do Porto, Portugal, 2013.
- CASTRO, D. O. Biocompósitos a partir de Biopolietileno de alta densidade reforçados por fibras de curauá. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Físico Química) - Instituto de Química de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- COUTINHO, F. M. B; MELLO. I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003
- CURY, T.R.P., Obtaining And Characterizing High Density Polyethylene Compositions Incorporated With Organosolv Sugarcane Bagasse Pulp. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha – Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.
- DE SOUZA, A.O. Desenvolvimento de Compósitos de Pead Reforçados com Pó de Aciaria, Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha – Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda. 2018
- ESMERALDO, M. A. Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural. 2006, 119f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) -

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

GOMES, A.; MATSUO, T.; GODA, K.; OHGI, J. Development and effect of alkalitreatment on tensile properties of curaua fiber green composites. *Composites: Part A*, v.38, p.1811-1820, 2007.

GONÇALVES, J. A. V. Compósitos à Base de Resina Epóxi Reforçados com Fibra de Coco. 2010, 51f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, Jorge Antônio Vieira Gonçalves – São Cristóvão – SE, 2010.

HARISH, S.; MICHAEL, D. P.; BENSELY, A.; MOHAN LAL, D.; RAJADURAI, A. Mechanical property evaluation of natural fiber coir composite. *Materials Characterization*, v.60, p.44-49, 2009.

HIDALGO-SALAZAR, M. A.; MINA, J. H.; HERRERA-FRANCO, P. J. The effect of interfacial adhesion on the creep behaviour of LDPE–Al–Fique composite materials. *Composites Part B: Engineering*, v. 55, p. 345-351, 2013.

ISLAM, N.; RAHMAN, R.; HAQUE, M.; HUQUE, M. Physico-mechanical properties of chemically treated coir reinforced polypropylene composites. *Composites: Part A*. v. 4, P.192-198, 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.

LEVY-NETO, F.; PARDINI, L.C., *Compósitos Estruturais, Ciência e Tecnologia*, 1 ed., São Paulo, Edgard Blücher, 2006.

LÖRCKS, J. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polymer Degradation and Stability*, v. 59, p. 245-249, 1998.

LUZ, S. M. Estudo das propriedades mecânicas, interface e morfologia de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de bagaço e palha de cana. 2008. 153f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, São Paulo, 2008.

MANRICH, S. E COLS.- Identificação de Plásticos - Uma ferramenta para reciclagem. Edefscar, 2007.

MARTINS, A.; TOSHIKO, W.; SILVA, P.; BORELLI, C.; MARCICANO, J. SANCHES, R. Aproveitamento de fibra de coco verde para aplicabilidade têxtil. *REDIGE* v. 4, n. 02, ago. 2013. Disponível em:

<http://www.cetiqt.senai.br/ead/redige/index.php/redige/article/view/201>.

MATHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. *Composites Materials: engineering and Science* New York: Chapman&Hall, 1994.

- 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..](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/.../mazur_rl_dr_guara.pdf?...1..)
- MELO, P.M.A, Silva. L.B, Santos, A. S. F , Ueki, M. M., Tiberio A. Passos, Severino J. G. Lima THERMAL CHARACTERIZATION OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE/MOLLUSCS SHELL POWDER COMPOSITES, SBPMat 2013.
- MIRANDA, C. S. DE. Síntese e caracterização de poliésteres e compósitos reforçados com fibra de piaçava. 2011.Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, 2011.
- MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposites. Taylor & Francis Group, LLC, cap 2, 39-97, 2005.
- MONTEIRO, S. N., TERRONES, L. A. H., D'ALMEIDA, J. R. M. Mechanical performance of coir fiber/polyester composites, Polymer Testing ,v.27,p.591-595, 2008.
- MOREIRA, A.M.: MATERIAIS COMPÓSITOS. Departamento de Engenharia. Instituto Politécnico de tomar – Escola Superior de Engenharia de tomar. 2009.
- MULINARI, D. R.; OLIVEIRA, H. N. Avaliação do uso de agente compatibilizante em compósitos poliméricos. Cadernos UniFOA, Volta Redonda. Edição Especial, p.29-35,Junho/2014.
- MULINARI, D. R.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H.; ROCHA, G. J. M., DA SILVA, M. L. P. Surface modification of sugarcane bagasse cellulose and its effect on mechanical and water absorption properties of sugarcane bagasse cellulose/ HDPE composites. BioResources, v.5(2), p.661-671, 2010
- NETO; PARDINI. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, 313p.
- 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.
- NOGUEIRA, R. A. M. Utilização biomassa da casca de açaí in natura e tratada via solução alcalina como reforços em compósitos de poliestireno de alto impacto. 2018. 44p. Trabalho de Graduação (Curso em Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2018.

- PACHECO, E. B. Análise de impacto ambiental devido a resíduos poliméricos, 2001. Plástico moderno. Disponível em <http://www.plasticomoderno.com.br/revista/pm308/poluicao.htm>
- PAULA, P. G. Formulação e Caracterização de Compósitos com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica. 2011. 87f. Dissertação de Pós-Graduação, UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.
- PEACOCK, A.J., HANDBOOK OF POLYETHYLENE Structure, Properties and Applications, ed. E.C. Company. 2000, Baytown, Texas. 1- 537.
- PEREIRA, G. C., Caracterização de Compósitos Hips/Bagaço de Cana de Açúcar Para Possível Aplicação Na Indústria de Pet Shop. 2016. 53f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda – RJ.
- RAMIRES, E. C. Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glicol reforçadas com fibras naturais. 2010. 277f. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2010.
- RAZERA, I. A. T. Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica. 2006. 167f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- ROSA, M. F.; CHIOU, B.; MEDEIROS, E. S.; WOOD, D. F.; WILLIAMS, T.G.; MATTOSO, L. H. C.; ORTS, W. J.; IMAM, S. H. Effect of fiber treatments on tensile and thermal properties of starch/ethylene vinyl alcohol copolymers/coir biocomposites. *Bioresource Technology*, v.100, p.5196–5202, 2009.
- RUZENE, D.S.; GONÇALVES, A.R.; TEIXEIRA, J.A. DE AMORIM, M.T.P. Carboxymethylcellulose obtained by ethanol/water organosolv process under acid conditions. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 136, p. 572-582, 2007
- SANADI, A. R. Natural Fiber – Thermoplastic Composites: A Review. In *natural Polymers e Composites*, Anais, São Pedro, 2002.
- SANTOS, A. M.; AMICO, S. C.; SYDENSTRICKER, T. H. D. Desenvolvimento de compósito híbrido polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações de engenharia In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17º CBCiMat, Foz do Iguaçu, 2006
- SARKANEN, K. V. Chemistry of solvent pulping. *Tappi Journal*, v.73, p. 215- 219, 1990.
- SEBIO, L. Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas

e de barreira. Campinas: UNICAMP, 2003. Tese de doutorado em Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SILVA, C. G. Bagaço de cana de açúcar como reforço de matrizes termorrígidas baseadas em macromoléculas de ligninas. 2011. 190f. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2011.

SILVA, R. L.; DE PAOLI, M. A.; SPINACÉ, M. A. S. Envelhecimento Ambiental de Compósitos de Polipropileno com Fibras de Curauá. In: Anais do 12º CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros, Florianópolis, 2013.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. Quim. Nova, v. 32, n. 3, 661-671, 2009.

SOARES, Ana Rita; SÁ, Fernanda; BALTAREJO, José; BARBOSA, Pedro; MARTINS, Ricardo; PEDROSA, Ricardo. Materiais Polímeros e Compósitos. Relatório. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2000. Disponível em: <https://web.fe.up.pt/~em00018/MCM2/relatorio.doc>.

SOLOMONS, T.W.G; FRYHLE, C.B; SNYDER, S.A. Organic Chemistry. 12th ed. Wiley, 1200 p, 2016. SOUZA, O. C.; MELO, R. B.; CANDIDO, A. S.; SILVA, M. G.; FEITOSA, T. B. Aspectos da comercialização do coco no pólo Petrolina (Pe) e Juazeiro (Ba). In Congress: Simpósio de Produtividade em Pesquisa e II Encontro de Iniciação Científica do IFPI, 2009.

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.

SUDDLELL, B. C.; EVANS, W. J.; International Symposium on Natural Polymers and Composites, São Pedro, Brasil, 2002.

TROEDEC, M.L.; SEDAN, D.; PEYRATOUT, C.; BONNET, J. P.; SIMITH, A.; GUINEBRETIRRE, R.; GLOAGUEN, V.; KRAUSZ, P. Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. Composites: Part A, v.39, p. 514-522, 2008.

WALLENBERGER, F. T.; WESTON, N. Natural Fibers, Plastics and Composites. Kluwer Academic Publishers, cap 14, 249-274, 2004. WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced

plastics? *Composites Science and Technology*, v.63, p.1259 – 1264, 2003.

ZHAO, X.; CHENG, K.; LIU, D. Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis. *Applied Microbiology Biotechnology*, v. 82, p. 815-827, 2009.