

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MICAELA PEREZ DA SILVA BATISTA**

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE  
POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA  
PROVENIENTE DA MICROALGA *CHLORELLA SP***

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2023**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE  
POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA  
PROVENIENTE DA MICROALGA *CHLORELLA SP***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção de à obtenção de Título de Engenheiro Ambiental.

Aluna: Micaela Perez da Silva Batista

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2023**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluna: Micaela Perez da Silva Batista

### PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA PROVENIENTE DA MICROALGA *CHLORELLA SP*

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Assinatura dos membros da Banca Examinadora

\_\_\_\_\_

Prof.º Orientador Sérgio Roberto Montoro, Doutor, UniFOA

\_\_\_\_\_

Prof.ª Avaliadora Cirlene Fourquet Bandeira, Doutora, UniFOA

\_\_\_\_\_

Prof.ª Avaliadora Izabel de Oliveira Mota, Doutora, UniFOA:

Dedico este trabalho à minha querida mãe, Samara, cujo amor incondicional e apoio constante sempre me motivaram a seguir meus sonhos. Às minhas adoráveis irmãs, Milene e Mirela, que compartilharam comigo as alegrias e desafios desta jornada acadêmica e sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais importantes. Ao meu namorado, Samuel, pelo amor, paciência e compreensão que tornaram esta jornada mais leve e significativa. Sem o apoio e o carinho de vocês, este trabalho não seria possível. Com todo o meu amor e gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Professora Joice Andrade de Araújo por seu apoio, orientação, mentorias e encorajamento constante ao longo deste processo de pesquisa. Sua experiência, conhecimento e dedicação à excelência acadêmica foram fundamentais para a conclusão bem-sucedida deste trabalho.

Ao meu orientador Sérgio Roberto Montoro gostaria de agradecer por sua orientação, apoio e comprometimento foram pilares essenciais durante toda a jornada desta pesquisa.

Gostaria também de expressar minha sincera gratidão aos técnicos de laboratório por toda assistência durante o processo de coleta de dados e análises.

## RESUMO

Diante da modernização tecnológica e responsabilidade socioambientais, indústrias e grupos de pesquisas vêm buscando cada vez mais inovações no desenvolvimento de novos produtos, buscando redução de custo e menor impactos ambientais. Diante desta visão, materiais fabricados a partir de matérias primas renováveis vêm se destacando no mercado, aumentando o interesse em desenvolver materiais compósitos reforçados com biomassas naturais. O presente estudo visou caracterizar a microalga *Chlorella sp* e avaliar a viabilidade de sua futura aplicação como agente de reforço em compósitos de matriz polimérica, uma vez que se espera que a biomassa de microalga seja rica em celulose. As biomassas de *Chlorella sp* (lixiviada e sem lipídeos) foram gentilmente doadas por pesquisadores da USP de Lorena. Os demais preparos (moagem, peneiramento, secagem, etc) foram realizados no UniFOA. Foram processados dois tipos de compósitos utilizando o PEAD como matriz e incorporando 20% de cada tipo de microalga. Foram realizadas as caracterizações morfológicas via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e via Difração de Raios-X (DRX) e caracterizações mecânicas por meio de ensaios de resistência à tração e determinação da dureza Shore D nos compósitos estudados. A partir das análises de MEV foi possível observar uma predominância de superfícies irregulares (rugosas) que, por sua vez, poderão promover um efeito de ancoragem quando ambas as biomassas foram usadas como agentes de reforço em compósitos de matrizes poliméricas. E pelos difratogramas de DRX foi possível observar que as microalgas analisadas apresentaram picos cristalinos, que por sua vez, podem ser atribuídos à presença de celulose na composição química das microalgas. Através dos ensaios de tração foi constatado que a adição dos reforços oriundos das microalgas 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). Todavia, foi possível notar que as propriedades mecânicas no compósito PEAD + 20% de microalga sem lipídio foram superiores quando comparado com o compósito PEAD + 20% de microalga lixiviada. A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição das microalgas ao PEAD não acarretou alterações significativas nos valores da dureza dos compósitos quando comparado ao PEAD puro. Por fim, com a realização desse projeto, foi obtido um produto ecológico que reduzirá o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo rico em celulose que é descartado. Ou seja, a partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que as microalgas estudadas podem ser consideradas alternativas promissoras para serem utilizadas como agentes de reforço em compósitos poliméricos.

**Palavras-chave:** compósitos poliméricos, PEAD, biomassa de microalga, processamento, caracterização, sustentabilidade.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.2 Problema abordado	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Estratégias de pesquisa	16
1.4 Objetivo geral	16
1.4.1 Objetivos específicos	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
2.1 Polímero	17
2.2 Contexto Histórico dos Compósitos	18
2.3 Compósitos	19
2.4 Os compósitos poliméricos	20
2.4.1 Abordagens de Reforço em Compósitos	21
2.5 Polietileno de alta densidade (PEAD)	22
2.6 Microalgas	24
2.7 Processamento da biomassa	25
2.8 Morfologia	27
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>28</b>
3.1 Materiais precursores	29
3.1.1 Polietileno de alta densidade	30
3.1.2 Microalgas	30
3.2 Preparação dos compósitos	31
3.3 Caracterizações	34
3.3.1 Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	35
3.3.2 Análises de Difração de Raio- X (DRX)	36
3.3.3 Ensaio de tração	36
3.3.4 Ensaio de dureza Shore D	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>37</b>
4.1.1 Resultados das análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	37
4.1.2 Resultados das análises de Difração de Raio-X (DRX)	38
4.1.3 Resultados dos ensaios de tração	39
4.1.4 Ensaio de dureza Shore D	40
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>42</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Principais características dos polímeros termoplásticos e termorrígidos .....	21
Quadro 2 - Propriedades da resina PEAD HC7260LS-L .....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição dos compósitos investigados .....	32
Tabela 2: Resultados dos ensaios de tração dos compósitos .....	40
Tabela 3: Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósitos PEAD+20% de microalgas .....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo esquemático da representação de um monômero, mero, polímero e macromolécula .....	18
Figura 2 - Exemplo de matérias que compõem os compósitos .....	19
Figura 3 - Esquema de classificação para os vários tipos de compósitos .....	22
Figura 4 - Esquema da estrutura do PEAD .....	23
Figura 5 - Fluxograma- Representação gráfica da sequência de experimentos realizados no desenvolvimento do estudo .....	29
Figura 6 - Pellets de PEAD .....	30
Figura 7- Microalga sem lipídeo 97 gramas .....	31
Figura 8 - Microalga lixiviada 122 gramas .....	31
Figura 9 - Homogeneizador .....	32
Figura 10 - Moinho .....	32
Figura 11 - Microalga sem lipídeo .....	33
Figura 12 - Microalga sem lipídeo após passar pelo moinho .....	33
Figura 13 - Microalga lixiviada .....	33
Figura 14 - Microalga lixiviada após passar pelo moinho .....	33

Figura 15 - Superfícies revestidas com ouro. (1) <i>Chlorella sp</i> lixiviada; (2) <i>Chlorella sp</i> sem lipídeos .....	34
Figura 16 - Metalizadora .....	35
Figura 17 - Microscópio Eletrônico de varredura .....	35
Figura 18 - Imagens de MEV das biomassas provenientes da <i>Chlorella SP</i> .....	37
Figura 19 - Difrátogramas de raio-X das biomassas provenientes da <i>Chlorella SP</i> .....	38

## LISTA DE SIGLAS

PEAD – Polietileno de alta densidade

DRX – Análises de Difração de Raio- X (DRX)

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

M (l) – Microalga lixiviada

M (sl) – Microalga sem lipídeo

Kv – kilovolt

mA – Milimpère

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna faz uso intenso de plásticos, incluindo uma nova gama de alternativas de base biológica feitas de milho, trigo, beterraba sacarina e cana-de-açúcar. Embora estes plásticos sejam mais ecológicos do que os derivados de combustíveis fósseis, têm a desvantagem de competir por terras com culturas alimentares.

Assim sendo, criou-se um processo para utilizar microalgas como novo material básico para a obtenção de bioplásticos. Além de evitar o problema da ocupação do solo por culturas para fins energéticos, os plásticos feitos a partir de microalgas economizam água e talvez até alcancem maior produtividade.

As microalgas são organismos fotossintéticos que podem sintetizar biomassa para ser uma fonte potencial de bioenergia e bioprodutos, servindo para reforçar os compósitos de polietileno de alta densidade.

### 1.2 Problema abordado

Existem desafios a serem superados, como a otimização do processamento dos compósitos e a compreensão das interações entre a matriz polimérica e a biomassa, a fim de obter materiais com propriedades mecânicas aprimoradas.

Existe viabilidade técnica quanto ao uso da microalga *Chlorella SP* como reforço ( com ou sem tratamento ) em compósitos poliméricos?

E como essa utilização influencia nas propriedades mecânica, estrutural e morfológica do compósito formado?

## 1.2 Justificativa

A relevância deste estudo consiste em validar o método e com isso propor uma rota alternativa com o uso mais nobre da microalga *Chlorella SP*

A legislação vigente, exemplificada pela Lei 12.305, que regula a Política Nacional de Resíduos Sólidos ( PNRS ), enfatiza a imperativa necessidade de fomentar pesquisas e iniciativas direcionadas ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras voltadas à reutilização de resíduos. Um notável exemplo desse esforço é a biomassa derivada da microalga, que se apresenta como um recurso potencialmente valioso, não apenas sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental, mas também no que diz respeito a considerações econômicas e sociais.

Além disso, como uma via alternativa para lidar com os resíduos de biomassa da microalga *Chlorella SP.*, este estudo propõe a avaliação da conversão dessa biomassa em compósitos de polietileno de alta densidade. Essa abordagem adicional não apenas contribui de forma positiva para a gestão sustentável de resíduos, mas também pode gerar implicações econômicas significativas, incluindo oportunidades de desenvolvimento de produtos e mercados, e impactos sociais ao promover a pesquisa e a educação ambiental.

É importante destacar que a conversão da biomassa da microalga em compósitos de polietileno de alta densidade, embora seja um desdobramento interessante deste estudo, não está diretamente relacionada ao objetivo central da pesquisa. Essa abordagem secundária é explorada com o propósito de evidenciar o potencial da biomassa da microalga em contextos econômicos e sociais adicionais, sem integrar o núcleo central deste trabalho.

A utilização de biomassa de microalgas *Chlorella SP* como componente básico para reforçar os compósitos de polietileno de alta densidade oferece diversas vantagens ambientais e econômicas. Desta forma, ajudará a reduzir os danos ambientais dos plásticos derivados de combustíveis fósseis.

### **1.3 Estratégias de pesquisa**

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado uma pesquisa básica com abordagem mista e que fez uso de procedimento bibliográfico e experimental, tendo sido feito o processamento de compósitos utilizando-se polietileno de alta densidade (PEAD) e biomassa de microalga *Chlorella SP*, o processo foi realizado duas vezes, sendo avaliadas suas propriedades físicas e químicas.

### **1.4 Objetivo geral**

O principal objetivo deste estudo é verificar a viabilidade técnica do uso da biomassa de microalgas *Chlorella SP* cultivadas de forma sustentável para reforçar os compósitos de polietileno de alta densidade.

#### **1.4.1 Objetivos específicos**

- Diferenciar as características das microalgas com e sem tratamento;
- Investigar e definir as melhores proporções dos compósitos;
- Desenvolver os compósitos de PEAD e microalga lixiviada, PEAD microalga sem lipídio;
- Caracterizar as propriedades mecânica, estrutural e morfológica do compósito polimérico

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

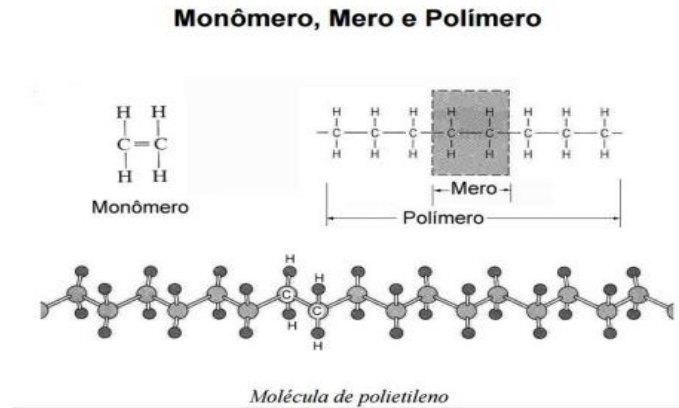
### 2.1 Polímero

Polímeros são macromoléculas compostas por unidades repetitivas conhecidas como monômeros. Esses monômeros estão unidos por ligações covalentes, formando cadeias longas ou redes. Os polímeros podem variar amplamente em tamanho, abrangendo desde moléculas pequenas até estruturas de grande escala, e estão presentes em diversos materiais e produtos, incluindo plásticos, borrachas, fibras sintéticas e muitos outros. (Callister Jr., 2000)

Os polímeros desempenham um papel fundamental em diversas áreas da ciência e da indústria devido às suas propriedades versáteis. Eles encontram aplicação em uma ampla gama de setores, como embalagens, eletrônicos, medicina, indústria automobilística, construção civil e muito mais. Sua versatilidade, durabilidade e a possibilidade de modificações químicas os tornam componentes essenciais em nossa vida cotidiana.

Para entender melhor a estrutura dos polímeros, podemos nos referir à (Figura 1), que apresenta um modelo esquemático da representação de um monômero, mero, polímero e macromolécula. Este modelo ajuda a visualizar como os monômeros se combinam para formar polímeros e macromoléculas, o que é fundamental para entender as propriedades únicas e a versatilidade dos polímeros.

Figura 1 Modelo esquemático da representação de um monômero, mero, polímero e macromolécula



Fonte: Mano e Mendes

## 2.2 Contexto Histórico dos Compósitos

De acordo com Santos (2019), os antigos egípcios já produziam compósitos combinando palha e barro a fim de criar tijolos de adobe. Ele também menciona que as árvores e plantas fornecem compósitos naturais que eram utilizados pelos seres humanos pré-históricos e ainda desempenham um papel significativo na indústria da construção civil e na criação de estruturas de andaimes. Santos (2019) destaca que a madeira serve como um notável exemplo de compósito natural, sendo uma combinação de fibras de celulose e lignina. A celulose confere resistência, enquanto a lignina atua como agente de aderência, unindo e estabilizando as fibras.

Ele também discute que o bambu é um compósito de madeira altamente eficiente. Embora compartilhe os mesmos componentes de celulose e lignina encontrados em outras madeiras, o bambu apresenta a característica distintiva de ser oco, o que resulta em uma estrutura leve e, ao mesmo tempo, robusta. Essa característica tem sido imitada em produtos como varas de pescar e tacos de golfe.

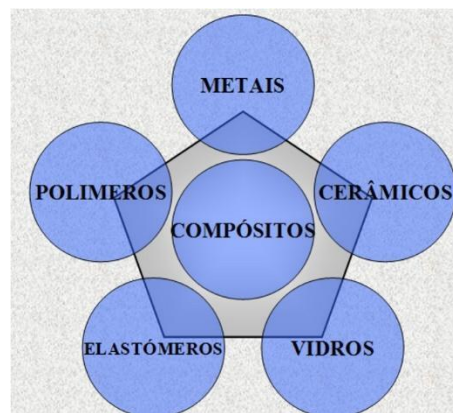
A técnica de colagem de camadas de madeira em diferentes ângulos, conhecida como madeira compensada, já era empregada pelos antigos mesopotâmicos por volta de 3400 a.C. Isso permitia que eles obtivessem propriedades superiores às da madeira natural.

### 2.3 Compósitos

Compósito pode ser definido como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades (Callister Jr., 2006)

Os compósitos podem ser formados de diversas maneiras, abrangendo diferentes categorias, como compósitos poliméricos, compósitos cimentícios, compósitos cerâmicos e uma ampla gama de outras possibilidades. Dentro do âmbito deste estudo, nossa análise se concentrará especificamente nos compósitos poliméricos, nos quais o polietileno de alta densidade (PEAD) desempenha o papel de matriz , como ilustrado na (Figura 2)

Figura 2 Exemplo de materiais que compõem os compósitos



Fonte: Silva, A., s.d.

## 2.4 Os compósitos poliméricos

Os compósitos representam um caso de particular importância dentro do grupo das misturas poliméricas imiscíveis. Estes materiais são produzidos por meio da mistura física de duas fases distintas: uma fase dispersa que pode ser na forma de partículas, fibras ou mantas e uma fase contínua, denominada de matriz (Hull, 1981; Sheldon, 1982; Bodig e Jayne, 1993).

A distinção principal entre as matrizes poliméricas, termoplásticas e termorrígidas, reside em seu comportamento distintivo quando submetidas a calor. Em outras palavras, os termoplásticos são polímeros que têm a capacidade de serem moldados repetidamente, uma vez que podem se tornar fluidos quando aquecidos e, posteriormente, solidificam-se quando resfriados. Em contrapartida, os termorrígidos não sofrem transição para o estado fluido devido à presença de ligações cruzadas entre suas cadeias macromoleculares, conhecidas como reticulações, e têm a tendência de se degradar quando expostos a altas temperaturas (Callister Jr., 2006).

Entre os plásticos utilizados em produtos comerciais, o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno de baixa densidade (PEBD), o cloreto de polivinil (PVC) e o polipropileno (PP) se destacam, tanto na forma virgem como na forma reciclada e também em ambas as formas combinadas (Winandy et al, 2004).

O quadro 1 apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos (dos Santos, 2006).

Quadro 1 Principais características dos polímeros termoplásticos e termorrígidos

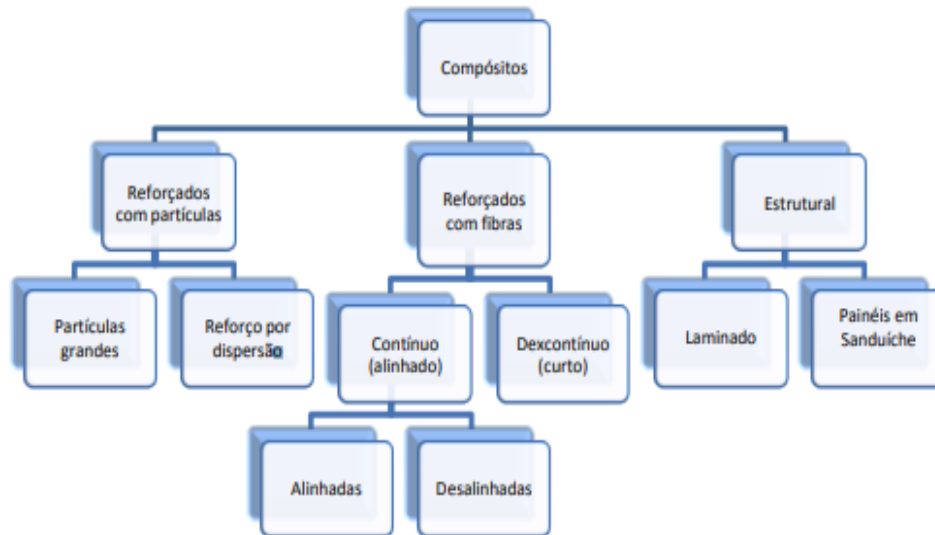
<b>Termoplásticos</b>	<b>Termorrígidos</b>
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso limitada, baixa estabilidade térmica e dimensional.	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: Dos Santos, A. M., 2006.

#### 2.4.1 Abordagens de Reforço em Compósitos

Diferentes métodos de fortalecimento são empregados em materiais compósitos. Muitos materiais compósitos consistem em apenas duas partes, a matriz e a fase dispersa, e as principais características desses compósitos dependem da natureza da fase dispersa. De acordo com Callister (2000), os materiais compósitos são geralmente agrupados em três categorias principais, que são compósitos reforçados com fibras, compósitos reforçados com partículas e compósitos estruturais, como ilustrado na (Figura 3).

Figura 3 Esquema de classificação para os vários tipos de compósitos



Fonte: Callister, 2000.

## 2.5 Polietileno de alta densidade (PEAD)

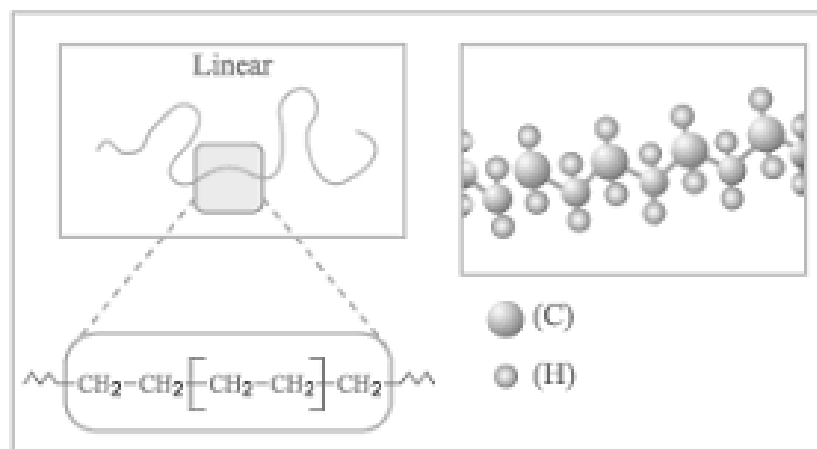
Os polietilenos englobam uma variedade de densidades, variando de 0,917 a 0,965 g/cm<sup>3</sup>. Dentre eles, o polietileno de alta densidade (PEAD) destaca-se como a escolha predominante na produção de compósitos reforçados com fibras. O PEAD é um polímero altamente linear, caracterizado por uma estrutura compacta que resulta em alta densidade. Sua produção ocorre por meio do etileno, utilizando o processo catalítico conhecido como Ziegler-Natta (Araújo, 2009).

Para processar o PEAD, métodos comuns incluem moldagem e injeção a sopro. Essas técnicas são amplamente aplicadas na fabricação de diversos produtos, como chaveiros, frascos (para talco e óleo lubrificante), embalagens, sacolas de supermercado, artigos hospitalares, capas para fios, engradados para bebidas, tampas, tanques de combustível, brinquedos, entre outros (Fávaro, 2007; Piva, 2004).

Devido à sua versatilidade de aplicações, excelentes propriedades e custo acessível, o PEAD foi selecionado como matriz polimérica para o desenvolvimento dos compósitos neste estudo.

A estrutura molecular do polietileno de alta densidade (PEAD) é esquematizada na (Figura 4), apresentando de maneira visual a organização molecular característica desse polímero.

Figura 4 Esquema da estrutura do PEAD



Fonte : B, Coutinho & Ferreira, Ivana & de, Santa. (2003)

O quadro 2 abaixo demonstra as propriedades da resina PEAD HC7260LS-L, a qual foi utilizada no estudo de caso deste trabalho. A resina é aditivada para resistir à radiação ultravioleta e possui as seguintes propriedades listadas no Quadro 2. Suas aplicações abrangem uma variedade de produtos, como bombonas, sacolas, capacetes, assentos sanitários, utilidades domésticas, tampas, paletes e caixas.

Quadro 2: Propriedades da resina PEAD HC7260LS-L

Propriedades	Índice de fluidez (190°C/2,16 kg)	Densidade	Resistência à Tração no Escoamento (a)	Resistência à Tração na Ruptura (a)	Módulo de Flexão (b)	Dureza Shore D (c)	Resistência ao Impacto Izod (b)
Método ASTM	D 1238	D 792	D 638	D 638	D 790	D 2240	D 256
Unidades	g/10 min	g/cm <sup>3</sup>	MPa	MPa	MPa	-	J/m
Valores	7,2	0,959	30	18	1375	60	35

(a) Corpo de prova moldado por compressão pelo método ASTM D 4703

Fonte: Catálogo Polietileno de Alta Densidade -BRASKEM maio/2023

## 2.6 Microalgas

As microalgas são um grupo diversificado de microrganismos que apresentam amplo espectro de formas e tamanhos que variam de 1 a 200  $\mu\text{m}$ ; possuem pigmentos fotossintéticos como clorofila (a, b, c) e carotenos; sua forma de vida pode ser unicelular ou colonial. Elas contribuem com mais de 40% do carbono da terra, oferecendo à biosfera oxigênio. A sua importância ecológica baseia-se na sua abundância, na sua extrema biodiversidade e na capacidade de sobreviver em uma variedade de ambientes (Madigan et al., 2004).

As microalgas há muito tempo têm sido objeto de grande interesse como fonte de alimentos alternativos e substâncias bioativas. Embora no início elas fossem consideradas uma fonte de proteína (proteína de célula única), tão boa como outros vegetais e muito mais barato, os estudos realizados ao longo da década dos anos oitenta mostraram que a produtividade e custos de culturas intensivas de microalgas longe de ser totalmente competitivo com a agricultura tradicional (Barcellos et al., 2012).

Estima-se que as microalgas alcancem uma produtividade de biomassa superior às plantas em termos da área de superfície necessária para o cultivo, com a perspectiva de um custo inferior por rendimento (Bekirogullari et al., 2018; Chiu et al., 2015) . Além disso, as microalgas apresentam várias vantagens em relação a outras culturas, incluindo taxas de crescimento elevados, períodos de crescimento curtos e uma pegada de terra reduzida (Sanyano et al., 2013).

O valor energético da biomassa de microalgas é determinado pela presença de elementos como carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e outros elementos (Phukan et al., 2011), a análise elementar da biomassa está sendo reconhecida como uma das caracterizações mais adequadas para avaliar o potencial de geração de energia a partir de qualquer tipo de biomassa, incluindo as microalgas (Hossain et al., 2019)."

Devido às suas propriedades específicas, a *Chlorella SP.* emergiu como um dos grupos de microalgas mais destacados nas pesquisas científicas. Isso se deve às suas características específicas, que incluem um alto valor nutricional com abundância de antioxidantes naturais (Matsukawa et al ) e produção de lipídios (Zhu et al., 2014) .

Neste estudo, a microalga *Chlorella SP* será incorporada como componente de reforço em um compósito polimérico.

## 2.7 Processamento da biomassa

Obtenção de biomassa úmida: colheita de microalgas, é uma das etapas chaves para a viabilidade do processo, uma vez que nas culturas as microalgas são muito diluídas, variando de 0,5 a 1 g/L, o que dificulta a obtenção de biomassa.

Existem vários processos de obtenção, passando de processos mecânicos como centrifugação a produtos biológicos como a biofloculação, além da flotação por surfactantes ou floculação com polieletrólitos artificiais ou naturais, como quitosana. O sucesso desta etapa depende de vários fatores, incluindo o tipo de alga, o processo de produção, a presença de outras algas, velocidade de produção etc. (Osório, 2008).

Não existe um único método genérico aplicável para todos os tipos de culturas, porém é possível afirmar que os processos tradicionais como centrifugação ou floculação química são recomendados se o produto gerado for de alto valor comercial, ou se houver etapas anteriores de concentração. A biomassa úmida, pode ser usada sem secar para obter concentrados de aminoácidos e bioetanol, que afeta a redução de custos (Osório, 2008).

Outro método é a separação fototática, que baseia na capacidade de algumas microalgas móveis para avançar em direção a uma fonte de luz de um determinado comprimento de onda e que só foi realizado em tanques de pequeno porte e alguns autores consideram que não é aplicável em maior escala devido à alta viscosidade do material a ser filtrado e pela presença de outras partículas na cultura que contaminam a biomassa coletada. Um método alternativo simples e econômico é a filtração por gravidade, que é realizada usando areia fina, terra diatomácea e filtros de fibra de celulose. O meio obtido após filtração pode ser reutilizado, deve-se notar que as algas sujam rapidamente o filtro, tornando necessário lavá-lo com frequência, o custo relativo deste método é maior que o da centrifugação (Reddy, 2001).

Obtenção de biomassa seca: biomassa seca é um produto perecível e deve ser tratado rapidamente; para evitar a deterioração, técnicas de desidratação ou secagem para estender a viabilidade dependendo do produto final é necessário.

Métodos que foram adaptados e desenvolvidos, além de serem os mais utilizados são: secagem ao sol que permite obter biomassa seca com menos de 10% de umidade e biologicamente está catalogado como de boa qualidade, é também o método mais barato, mas as principais desvantagens são os longos tempos de secagem, a necessidade de grandes superfícies e o risco de perda de material e secagem por aspersão, que é usada para a extração de produtos de alto valor, mas é relativamente caro e corre o risco de causar deterioração significativa de alguns pigmentos (Reddy, 2001).

Outras técnicas utilizadas são: secagem em tambores ou rolos que é um dos mais eficientes em termos de consumo de energia e muito eficaz para líquidos secos com alta

viscosidade; consiste em espalhar uma camada leve na superfície de um par de tambores que giram e sendo aquecido por dentro por vapor;

Secagem em leito fluidizado: envolve secagem, resfriamento, aglomeração, granulação e revestimento de materiais em grânulos, é ideal para uma ampla gama de produtos sensíveis e não sensíveis ao calor;

Tecnologia de secagem que oferece uma temperatura interna do produto inferior a 70 °C e por vezes tempos de secagem curtos, o material é colocado sobre um filme plástico transparente à radiação infravermelha, o filme flutua na superfície da água quente, a umidade é transferida da água quente para o material úmido principalmente através de radiação infravermelha e outras técnicas tal como a liofilização, sendo igualmente dispendiosa, especialmente para grandes escalas, mas facilita a extração de óleos, uma vez que elementos intracelulares, como óleos, são difíceis de extrair da biomassa úmida com solventes sem ruptura celular, mas são mais facilmente extraídos da biomassa liofilizada (Oscanoa et al., 2020).

## **2.8 Morfologia**

A morfologia das microalgas desempenha um papel crucial na avaliação e previsão do seu comportamento sob várias condições operacionais. No entanto, é notável a deficiência de estudos que estabelecem correlações entre a análise elementar das microalgas e as condições operacionais em relação à sua morfologia.

### 3. METODOLOGIA

Segundo Ander-Egg (1978, p. 33) pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados, imediatamente, na solução de problemas que ocorrem na realidade.

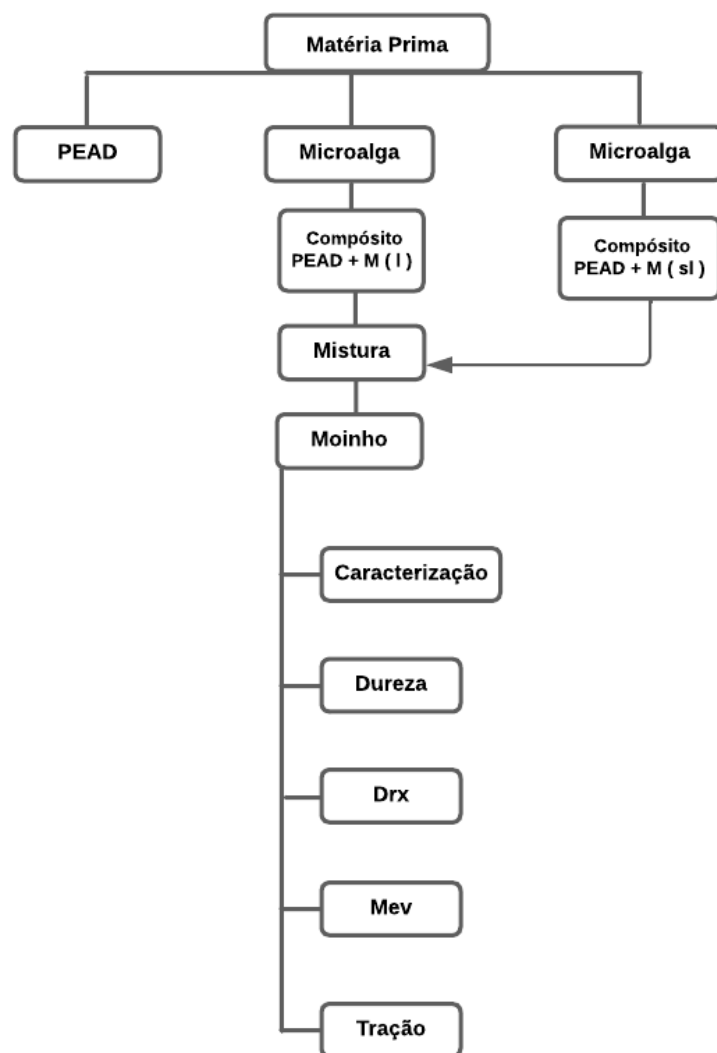
Neste estudo, adotamos uma abordagem de pesquisa experimental, segundo Hymann (1967, p. 107-108) tem como objetivo levantamentos explicativos, avaliativos e interpretativos, que têm como objetivos a aplicação, a modificação e/ou a mudança de alguma situação ou fenômeno .

Foi utilizado uma metodologia de abordagem quantitativa. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa quantitativa pode ser definida como o método que utiliza a estatística para explorar informações e desta forma, compreendê-las por meio de números. Além disso, visa examinar numericamente variáveis predefinidas para estudar sua influência sobre outras variáveis de forma generalizada (Appolinário, 2009 )

### 3.1 Materiais precursores

A marcha dos experimentos empregados no desenvolvimento deste estudo pode ser observada por meio do fluxograma a seguir.

Figura 5 Fluxograma 1- Representação gráfica da sequência de experimentos realizados no desenvolvimento do estudo



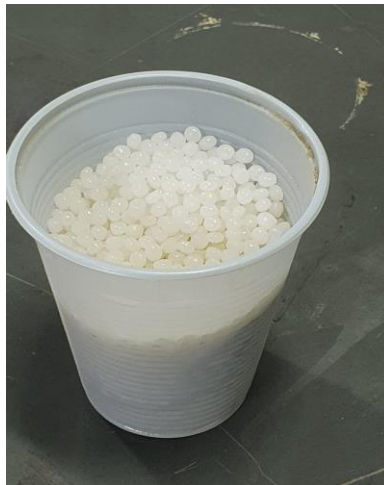
Fonte: Da autora (2023)

Inicialmente, os materiais precursores foram selecionados e armazenados para a produção dos compósitos.

### 3.1.1 Polietileno de alta densidade

O PEAD utilizado neste estudo é de origem do fabricante BRASKEM, classificado como resina HC7260LS-L, e foi adquirido em forma de pellets, como ilustrado na (Figura 6). As mesmas se distinguem pelo processo de obtenção.

Figura 6 Pellets de PEAD



Fonte: Da autora (2023)

### 3.1.2 Microalgas

As microalgas com e sem tratamento como pode ser observada nas (Figuras 7 e 8 ) vieram do laboratório de pesquisa da USP de Lorena. As mesmas se distinguem pelo processo de obtenção.

A microalga lixiviada, para melhor identificação, será denominada por M(l) e a microalga com a extração de lipídeo M(sl).

A M(l) é obtida a partir de cultivo em meio aquoso com alimentação de substrato. Enquanto a M(sl) passa por um processo de extração dos lipídeos, restando para sua composição a massa seca.

Figura 7 Microalga sem lipídeo 97 gramas      Figura 8 Microalga lixiviada 122 gramas



Fonte: Da autora (2023)

### 3.2 Preparação dos compósitos

No laboratório de (Processamento de Materiais) do UniFOA, em abril de 2023, os materiais considerados como matriz (PEAD) e reforço (microalgas) foram encaminhados para as pesagens. Utilizou-se como fração 80% de PEAD para 20% de microalga em massa, tendo a mistura num total de 70 g, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 Composição dos compósitos investigados.

	PEAD ( g )	M ( l ) ( g )	M ( sl ) ( g )
Compósito PM ( l )	56	14	-----
Compósito PM ( sl )	56	-----	14

Fonte: Da autora (2023)

Terminada a pesagem, os elementos foram encaminhados para um homogeneizador (Figura 9). Em seguida, o material já homogeneizado foi retirado e encaminhado para um moinho de facas (Figura 10), cujo intuito foi adequar as amostras para os ensaios de caracterização descritos nos itens a seguir.

Figura 9 Homogeneizador



Fonte: Da autora (2023)

Figura 10 Moinho



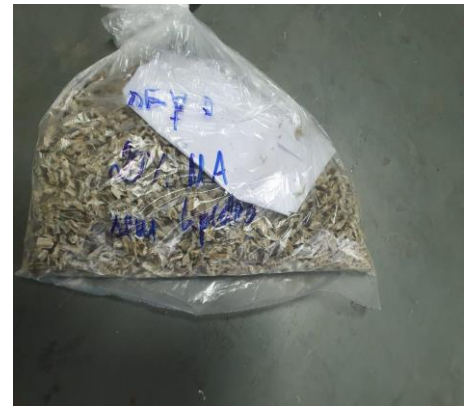
Fonte: Da autora (2023)

Após passar pelo homogeneizador e pelo moinho os resultados obtidos foram: a microalga sem lipídeo pesou 135 gramas, enquanto a microalga lixiviada apresentou um peso de 126 gramas. Esses resultados são visualmente representados nas (Figuras 11 e 12) para as microalgas sem lipídeo, e nas (Figuras 13 e 14) para as microalgas lixiviada

Figura 11 Microalga sem lipídeo



Figura 12 Microalga sem lipídeo após passar pelo moinho



Fonte: Da autora (2023)

Figura 13 Microalga lixiviada



Figura 14 Microalga lixiviada após passar pelo moinho



Fonte: Da autora (2023)

### 3.3 Caracterizações

As superfícies das amostras de biomassas de *Chlorella SP* (lixiviada e sem lipídeos) foram revestidas por uma fina camada de ouro (Figura 15) 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) (Figura 16).

Figura 15 Superfícies revestidas com ouro. (1) *Chlorella SS* lixiviada; (2) *Chlorella SP* sem lipídeos.



Fonte: Da autora (2023)

Figura 16 Metalizadora.

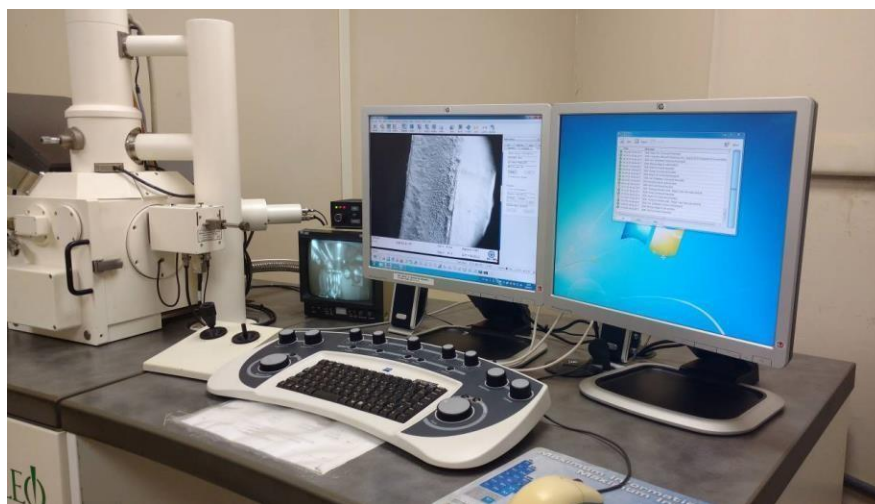


Fonte: Da autora (2023)

### 3.3.1 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) (Figura 17).

Figura 17 Microscópio Eletrônico de Varredura



Fonte : Da autora (2023)

### **3.3.2 Análises de Difração de Raio- X (DRX)**

As amostras das biomassas de *Chlorella SP* (lixiviada e sem lipídeos) foram submetidas à difratometria de Raios-X em um difratômetro da marca Shimadzu modelo XRD 6100, disponível no Laboratório UniFOA, com fonte de radiação  $\text{CuK}\alpha$ , e tensão de 40 kV, corrente de 40 mA, varredura 0,05 ( $2\theta/5s$ ) para valores de  $2\theta$  entre 10 e 80.

### **3.3.3 Ensaio de tração**

Foram realizados os ensaios de tração no laboratório de processamento de materiais do UniFOA (Centro Universitário de Volta Redonda), em um equipamento da marca EMIC DL-10000, com a célula de carga de 5 kN, em uma temperatura ambiente e a uma velocidade de 5 mm.min<sup>-1</sup>. Para cada compósito em avaliação, foram realizados cinco ensaios com o corpo de prova onde as dimensões estavam de acordo com a norma ASTM D638 – 03 em 13 mm de largura e 165 mm de comprimento com 3 mm de espessura.

### **3.3.4 Ensaio de dureza Shore D**

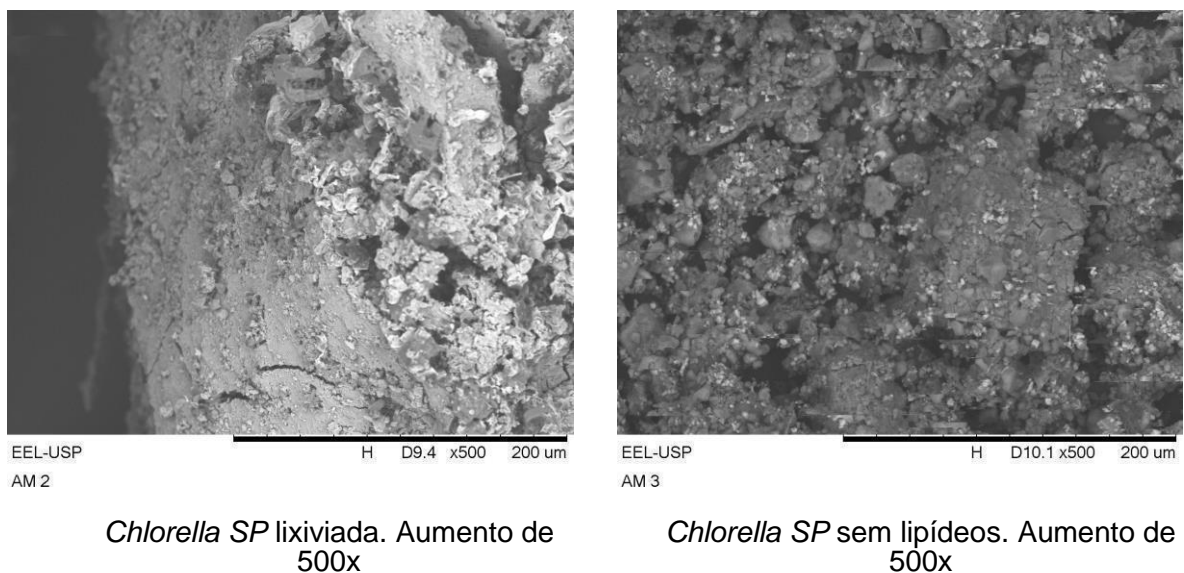
Os ensaios de dureza shore D foram realizados em um equipamento durômetro portátil digital marca DIGIMESS de capacidade de 0 a 100 Shore D; exatidão de +/- 1 Shore D e resolução de 0,1 Shore D; o ensaio de dureza foi realizado no Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) no laboratório de ensaios.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1.1 Resultados das análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A figura 18 apresenta as fotos de MEV das amostras de *Chlorella SP* lixiviada e *Chlorella SP* sem lipídeos. Pelas imagens foi possível observar uma predominância de superfícies irregulares (rugosas) que, por sua vez, poderão promover um efeito de ancoragem quando ambas as biomassas forem usadas como agentes de reforço em compósitos de matrizes poliméricas. Ainda observando as imagens de MEV, pode-se notar que a biomassa sem lipídeo apresentou um aspecto mais rugoso, quando comparada com a biomassa lixiviada.

Figura 18 Imagens de MEV das biomassas provenientes da *Chlorella SP*.



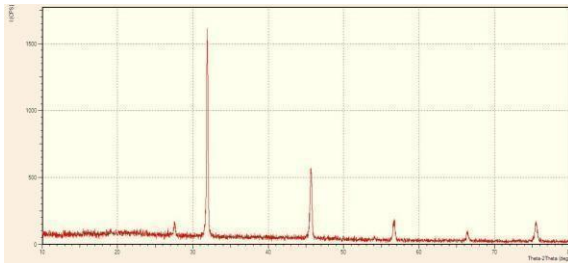
Fonte: Da autora (2023)

#### 4.1.2 Resultados das análises de Difração de Raio-X (DRX)

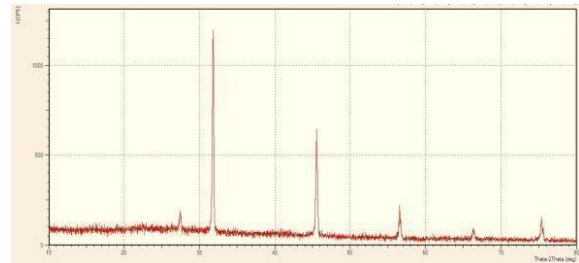
A figura 19 apresenta os difratogramas de raios-X das amostras de *Chlorella SP* lixiviada e *Chlorella SP* sem lipídeos. Pelas imagens foi possível observar que as microalgas analisadas apresentaram picos cristalinos. Pode-se notar que, em ambas as amostras analisadas, os picos cristalinos estão localizados, praticamente, nas mesmas posições. Esses resultados podem ser atribuídos à presença de celulose na composição química das microalgas.

Segundo John et al (2011), algumas microalgas como *Chlorella*, *Dunaliella*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus* e *Spirulina* se destacam por apresentarem altas concentrações de amido e glicogênio em sua composição, além de possuírem capacidade de produzir celulose.

Figura 19: Difratogramas de raio-X das biomassas provenientes da *Chlorella SP*.



*Chlorella SP* lixiviada.



*Chlorella SP* sem lipídeos.

Fonte: Da autora (2023)

### 4.1.3 Resultados dos ensaios de tração

As adições dois tipos diferentes de microalgas (lixiviada e sem lipídeos) na matriz polimérica do PEAD promoveram um pequeno aumento nos valores de tensão de escoamento e de tensão máxima, quando comparado aos valores apresentados pelo PEAD puro.

Estes efeitos da adição dos reforços de microalgas podem ser observados nos resultados apresentados na Tabela 2. Analisando os compósitos com 20% de microalgas, observou-se que a adição dos reforços ricos em celulose na matriz de PEAD não provocaram 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 a inserção das massas de resíduos oriundos das microalgas foi possível observar o aumento no valor do módulo elástico e da tensão de escoamento com uma conseqüente redução na elongação total dos compósitos formados.

Este fenômeno foi associado ao fato de que os reforços promoveram uma redução da ductilidade do material. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com a inserção da quantidade de reforço oriundo das microalgas, 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 a incorporação de biomassas lignocelulósicas em matrizes termoplásticas (BENINI, 2011; PEREIRA, 2016; PEREIRA, 2017).

Todavia, quando se comparam os valores das propriedades entre os dois tipos de microalgas que foram estudadas, pode-se notar que as propriedades mecânicas no compósito PEAD + 20% MA SEM LIPÍDIO foram superiores quando comparado com o compósito PEAD + 20% MA LIXIVIADA. Esses resultados já eram esperados, uma vez que, a partir das imagens de MEV, pode-se notar que a biomassa sem lipídeo apresentou um aspecto mais rugoso, quando comparada com a biomassa lixiviada. E esse aspecto mais rugoso da microalga sem lipídeo pode ser contribuído para maximizar o efeito de ancoragem da microalga na matriz polimérica do PEAD, promovendo uma melhor interação reforço/matriz no compósito formado.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de tração dos compósitos.

<b>Compósitos</b>	<b>Tensão de Escoamento (MPa)</b>	<b>Tensão Máxima (MPa)</b>	<b>Módulo Elasticidade (MPa)</b>
PEAD PURO	9,91 ± 0,23	20,03 ± 0,46	76,98 ± 4,72
PEAD + 20% MA LIXIVIADA	10,97 ± 0,77	18,42 ± 0,76	208,20 ± 14,71
PEAD + 20% MA SEM LIPÍDIO	12,54 ± 0,24	20,00 ± 0,53	244,10 ± 5,83

\* Valores médios

Fonte: Da autora (2023)

#### 4.1.4 Ensaio de dureza Shore D

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que as adições de microalgas ao PEAD não acarretaram alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro, como é mostrado na Tabela 3. 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 3:** Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósitos PEAD+20% de microalgas

<b>AMOSTRAS</b>	<b>DUREZA SHORE D</b>
PEAD PURO	61,4 ± 1,2
PEAD + 20% MA LIXIVIADA	60,9 ± 0,8
PEAD + 20% MA SEM LIPÍDIO	62,8 ± 1,5

(\*) valores médios

Fonte: Da autora (2023)

Estes resultados podem ser considerados bastante satisfatórios, uma vez que a inserção das microalgas no PEAD não alterou de maneira significativa a dureza

apresentada pelo PEAD puro. Dessa forma, o uso de compósitos reforçados com o referido resíduo proveniente da microalga poderá acarretar uma redução de 20% 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 lignocelulósicas de coco e fibras lignocelulósicas de bagaço da cana, respectivamente.

## 5 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de 20% de microalgas *Chlorella SP* para a obtenção de compósitos poliméricos de matriz polimérica de PEAD.

Quanto à caracterização dos compósitos produzidos, as principais conclusões foram:

A partir das análises de MEV foi possível observar uma predominância de superfícies irregulares (rugosas) que, por sua vez, poderão promover um efeito de ancoragem quando ambas as biomassas forem usadas como agentes de reforço em compósitos de matrizes poliméricas.

E pelos difratogramas de DRX foi possível observar que as microalgas analisadas apresentaram picos cristalinos, que por sua vez, podem ser atribuídos à presença de celulose na composição química das microalgas. Ou seja, a partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que as microalgas estudadas podem ser consideradas alternativas promissoras para serem utilizadas como agentes de reforço em compósitos poliméricos.

Em relação aos ensaios de tração, verificou-se que a adição dos dois diferentes tipos de microalgas que foram incorporadas (lixiviada e sem lipídeo) à matriz polimérica do PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima, porém provocou uma redução na deformação total do material. Também foi constatado que a adição dos reforços oriundos das microalgas 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).

Todavia, um resultado que chamou atenção foi que, quando se comparou os valores das propriedades entre os dois tipos de microalgas que foram estudadas, foi possível notar que as propriedades mecânicas no compósito PEAD + 20% MA SEM LIPÍDIO foram superiores quando comparado com o compósito PEAD + 20% MA LIXIVIADA. Esses resultados já eram esperados, uma vez que, a partir das imagens de MEV, a biomassa sem lipídeo apresentou um aspecto mais rugoso, quando comparada

com a biomassa lixiviada. E esse aspecto mais rugoso da microalga sem lipídeo maximizou o efeito de ancoragem da microalga na matriz polimérica do PEAD, promovendo uma melhor interação reforço/matriz no compósito formado.

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição das microalgas 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 microalgas *Chlorella sp* que foram estudadas nesse trabalho poderá acarretar uma redução de 20% no consumo de PEAD puro e, conseqüentemente, uma redução no custo das peças produzidas, ainda mantendo os valores de dureza do PEAD puro.

Por fim, com a realização desse projeto, foi obtido um produto ecológico que reduzirá o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo rico em celulose que é descartado. Contudo, além do objetivo sustentável, o produto reduzirá o custo para os fabricantes, uma vez que o valor do resíduo rico em celulose é muito menor que o valor do PEAD.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMIN. Tipos de Plástico: Saiba qual é o mais adequado para seu produto. Mais Polímeros. Disponível em: <https://maispolimeros.com.br/2018/10/15/tipos-de-plasticos-2/#:~:text=Os termoplásticos correspondem%2C portanto%2C a,%2C PP%2C PS e outros..> Acesso em: 10 mai. 2023.

ALVES, A. J. L. O cultivo de microalgas e suas aplicações: uma revisão de literatura. 2021. Disponível em: [www.repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/26423?locale=pt\\_BR](http://www.repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/26423?locale=pt_BR)>. Acesso em: 30 ago. 2023.

ANDER-EGG, Ezequiel. Introducción a las técnicas de investigación social: para trabajadores sociales. 7. ed. Buenos Aires: Humanitas, 1978.

APPOLINÁRIO, F. Metodologia da Ciência: filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

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.

BARBOSA, Luiz A et al, Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações, Revista ESPACIOS, v. 38, n. 17, 2017.

BARCELLOS, A. D. et al. Microalgas e seu potencial de uso. 2012. Disponível em: [www.periodicos.ufba.br/article/download](http://www.periodicos.ufba.br/article/download)>. Acesso em: 10 agosto 2023.

B, Coutinho & Ferreira, Ivana & de, Santa. (2003). Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. Polímeros. 13. 10.1590/S0104-14282003000100005.

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.

BRASIL. Legislação. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm) .Acesso em: 13 set.2023.

BRASKEM. Polietileno de alta densidade. 2021. Disponível em: <[www.braskem.com](http://www.braskem.com)>. Acesso em: 12 agosto 2023.

BURLEW, J. Algal culture, from laboratory to pilot plant. Washington: Carnegie Institution of Washington, 1953.

CALLISTER JR, W. D. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada. 2ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2006.

CALLISTER JR, W.D., (2000) Materials Science and Engineering- 2n Introduction, Jonh Wiley and Sons, Canada P445.

CANEVAROLO JR, S. V. Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª edição., São Paulo: Artliber, 2002.

CARLA ; MICHEL SERRA SAMPAIO. Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) com fibra de coco. v. 6, n. 5, p. 0688–0694, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/11207>. Acesso em: 4 jun. 2023.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL ÁREA DE CONSTRUÇÃO. . Disponível:[http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932\\_\\_PropriedadesMateriais.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__PropriedadesMateriais.pdf). Acesso em: 4 jun. 2023.

Dos Santos, A. M. (2006). Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

FÁVARO, S. L. – Preparação e Caracterização Química, Morfológica E De Propriedades Mecânicas De Compósitos Polietileno Pós-Consumo Com Fibras De Sisal

E Com Cascas De Arroz” - Dissertação Mestrado Universidade Estadual De Maringá. 2007.

FERREIRA, Emerson ; SILVA, D, Processamento e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade ( PEAD ) reforçados com biomassa de casca e torta de pinhão manso Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Aranha Cento Universitário de Volta Redonda – Mestrado Profissional em Materiais , 2016. Disponível em: <[https://sites.unifoa.edu.br/portal\\_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/emers](https://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/emers)

HYMAN, Herbert. Planejamento e análise da pesquisa: princípios, casos e processos. Tradução de Edith Beatriz Bittencourt Sampaio. Rio de Janeiro: Lidador, 1967.

MADIGAN, M.; MARTINKO, J.; PARKER, J. Biologia dos microorganismos. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

MATSUKAWA, R., HOTTA, M., MASSUDA, Y., CHIHARA, M. e KARUBE, I., 2000. Antioxidantes da fixação de dióxido de carbono *Chlorella sorokiniana*. *Jornal de Ficologia Aplicada*, vol. 12, páginas 263-267.

MANO, E. B; MENDES, L. C. Introdução a Polímeros. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 187 p.

OSCANOA, A. et al. Manual para la producción de biomasa microalga em condiciones de invernadero. 2020. Disponível em: <[www.imarpe.gob.pe](http://www.imarpe.gob.pe)>. Acesso em: 31 ago 2023.

OSÓRIO, P. J. C. Estudio tecnico económico para la producción de biodiesel a partir de algas. 2008. Disponível em: <[www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/104918](http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/104918)>. Acesso em: 31 ago. 2023.

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

PEREIRA, G. C. Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana e confecção de manual operacional para aplicação na indústria de Pet Shop. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017.

PIVA, A. M., WIEBECK, H. Reciclagem do Plástico. São Paulo: Artliber editora, 2004.

REDDY, S. University botany: Algae, Fungi, Bryophyta and Pteridophyta. 2001. Disponível em: <[www.books.google.com.br/books/about/University\\_Botany\\_I\\_Algae\\_Fungi\\_Bryophyta.html?id=jvr\\_zSG\\_KU8C&redir\\_esc=y](http://www.books.google.com.br/books/about/University_Botany_I_Algae_Fungi_Bryophyta.html?id=jvr_zSG_KU8C&redir_esc=y)>. Acesso em: 30 ago. 2023.

RENDÓN-CASTRILLÓN, L. et al... Avaliação das condições operacionais na produção e morfologia de *Chlorella* sp... Revista Brasileira de Biologia, v. 81, n. 1, pág. 202–209, fevereiro. 2021.

SANTOS, C. G. Materiais Compósitos. UFOP, 2019.

SILVA, A. s.d. Material. Disponível em: <http://estagionaobra.blogspot.com/2013/03/>.

WINANDY, J. E.; STARK, N. M.; CLEMONS, C. M. Considerations in recycling of wood-plastic composites. In: GLOBAL WOOD AND NATURAL FIBRE COMPOSITES SYMPOSIUM, 2004, Kassel. Proceedings... Kassel, 2004.

ZHU, S., HUANG, W., XU, J., WANG, Z. e YUAN, Z., 2014. Alterações metabólicas de amido e lipídios desencadeadas pela falta de nitrogênio na microalga *Chlorella zofingiensis*. Tecnologia de Biorecursos, vol. 152, pp. PMid:24308944.