

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LETÍCIA SOUZA DA SILVA**

**BIODEGRADAÇÃO DE COMPÓSITO DE POLIPROPILENO COM CASCA DE  
SOJA EM SOLO COMPOSTÁVEL**

**LONDRINA**

**2023**

**LETÍCIA SOUZA DA SILVA**

**BIODEGRADAÇÃO DE COMPÓSITO DE POLIPROPILENO COM CASCA DE SOJA EM SOLO COMPOSTÁVEL**

**Biodegradation of polypropylene composite with soybean hull in compostable soil**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Joice Erica Motezuki.

**LONDRINA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LETÍCIA SOUZA DA SILVA**

**BIODEGRADAÇÃO DE COMPÓSITO DE POLIPROPILENO COM CASCA DE SOJA EM SOLO COMPOSTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20 de junho de 2023

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Joice Erica Motezuki.  
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais  
Professora do Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais – UTFPR-LD  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Elisângela Corradini  
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais  
Professora do Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais – UTFPR-LD  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Fabio Cezar Ferreira  
Doutorado em Química (Físico-Química)  
Professor do curso de Licenciatura em Química– UTFPR-LD  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

**LONDRINA**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por me guiar nessa trajetória e me conceder forças para chegar até aqui, agradeço principalmente aos meus pais, por todo o incentivo e apoio durante toda essa jornada.

Agradeço também ao meu namorado, minha irmã e meus amigos pelo companheirismo, ajuda e paciência que tiveram comigo.

E por fim, gostaria de agradecer a minha orientadora Joice Erica Motezuki, que me ajudou e compartilhou comigo suas experiências, conhecimento e amizade.

## RESUMO

A crescente preocupação com a alta demanda por materiais poliméricos se deve às baixas taxas de degradação deste material que permanece na natureza por um longo período de tempo, acentuando-se devido ao descarte incorreto do mesmo ao meio ambiente. Deste modo, alternativas que proporcionam um desenvolvimento mais sustentável tem se tornado cada vez mais necessárias. Estudar possibilidades de desenvolver materiais que sejam menos agressivos ao meio ambiente e que possam auxiliar a reduzir tal situação é de extrema importância. Uma alternativa às aplicações que levam na totalidade de sua composição apenas polímeros convencionais, tem sido o uso de fibras naturais, encontradas em abundância no território nacional, para a formulação de compósitos poliméricos. Este trabalho propõe o reaproveitamento dos resíduos da agroindústria da soja, incorporando a casca em uma matriz de polipropileno, produzidos em extrusora monorosca, chegando à máxima substituição possível da matriz neste processamento. Ensaio de biodegradação por perda de massa foram realizados para duas formulações do compósito (polipropileno com 20% de casca de soja, na presença e ausência de anidrido maleico) e para a matriz, em tempos de 30, 60 e 90 dias. Observou-se ligeira queda nos valores de massa dos corpos de prova (CPs), sendo constatada uma máxima de 2m/m% de redução na fase biodegradável, decorridos 30 dias de ensaio para a formulação do compósito com anidrido maleico. A presença de contaminantes foi evidenciada na microscopia ótica da superfície dos CPs submetidos a 90 dias de ensaio de biodegradação, corroborando com a análise visual realizada em todas as formulações ensaiadas. De acordo com os resultados obtidos no ensaio de tração, a presença do anidrido maleico promoveu ao compósito uma melhor adesão interfacial, dispersão e distribuição das fibras.

Palavras-chave: Compósito Polimérico; Casca de Soja; Polipropileno; Biodegradação por perda de massa.

## ABSTRACT

The growing concern about the high demand for polymeric materials is due to their low degradation rates, which results in them persisting in nature for a long period of time, further exacerbated by improper disposal into the environment. Thus, alternatives that provide more sustainable development have become increasingly necessary. Studying possibilities to develop materials that are less harmful to the environment and can help reduce this situation is of utmost importance. An alternative to applications that consist entirely of conventional polymers is the use of natural fibers, which are abundant in the national territory, for the formulation of polymeric composites. This work proposes the reuse of soy agro-industry waste by incorporating the husk into a polypropylene matrix, produced in a single-screw extruder, aiming for the maximum possible substitution of the matrix in this processing. Biodegradation tests by mass loss were conducted for two composite formulations (polypropylene with 20% soy husk, with and without maleic anhydride) and for the matrix, at 30, 60, and 90 days. A slight decrease in the mass values of the test specimens (TSs) was observed, with a maximum reduction of 2m/m% in the biodegradable phase after 30 days of testing for the composite formulation with maleic anhydride. The presence of contaminants was evident in the optical microscopy of the TSs' surface after 90 days of biodegradation testing, which corroborated the visual analysis performed on all tested formulations. According to the results obtained in the tensile test, the presence of maleic anhydride promoted better interfacial adhesion, dispersion, and fiber distribution in the composite.

Keywords: Polymeric Composite; Soy Husk; Polypropylene; Biodegradation through mass loss.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais polímeros consumidos no Brasil em 2020.....	14
Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos realizados .....	19
Figura 3 - Secagem da casca de soja em uma estufa a vácuo SL 104/30 da Solab .....	20
Figura 4 - Extrusora LAB16 da AXPlásticos .....	20
Figura 5 - Compósito de PP com casca de soja (a) na forma de macarrão (b) na forma de <i>pellets</i> .....	21
Figura 6 - Prensa hidráulica a quente Marconi .....	22
Figura 7 - Polipropileno (a) antes da prensagem: molde preenchido por pellets (b) após prensagem: corpo de prova moldado .....	22
Figura 8 - Compósito de PP com casca de soja (a) antes da prensagem: molde preenchido por pellets (b) após a prensagem: corpo de prova moldado .....	22
Figura 9 - Sistema de análise da biodegradação parcialmente preenchido com solo compostável.....	23
Figura 10 - Balança analítica digital Bioscale .....	24
Figura 11 - Corpos de prova identificados.....	24
Figura 12 - Microscópio ótico Zeizz.....	25
Figura 13 - Ensaio de tração realizado em (a) máquina universal de ensaios universal, com (b) extensômetro de 50mm.....	26
Figura 14 - CPs de PP + Casca de soja + Anidrido maleico em 0, 30, 60 e 90 dias .....	30
Figura 15 - CPs de PP + Casca de soja em 0, 30, 60 e 90 dias .....	30
Figura 16 - Micrografia da superfície do compósito COM agente compatibilizante .....	33
Figura 17 - Micrografia da superfície do compósito SEM agente compatibilizante .....	33
Gráfico 1 - Curvas Tensão x Deformação das três formulações em: (a) 0 dias, (b) 30 dias, (c) 60 dias e (d) 90 dias de biodegradação.....	35
Gráfico 2 - Tensão X Deformação do PP controle ao longo do tempo de biodegradação.....	37
Gráfico 3 - Curvas Tensão X Deformação dos compósitos COM agente compatibilizante ao longo do tempo de biodegradação.....	37
Gráfico 4 - Tensão X Deformação dos compósitos SEM agente compatibilizante ao longo do tempo .....	38
Quadro 1 - Imagens dos CPs de polipropileno em 30, 60 e 90 dias.....	27
Quadro 2 - Imagens dos CPs de compósitos nos tempos 0, 30, 60 e 90 dias ...	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem em massa das formulações processadas na extrusora .....	20
Tabela 2 - Média das pesagens dos corpos de prova ao longo do tempo de biodegradação .....	31
Tabela 3 - Percentual da perda de massa da fibra ao longo do tempo de biodegradação .....	32
Tabela 4 - Resistência à tração máxima em até 50% de deformação .....	35



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPs	Corpos de prova
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PP	Polipropileno
RT	Resistência à Tração
T <sub>g</sub>	Temperatura de Transição Vítrea
T <sub>m</sub>	Temperatura de Fusão Cristalina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivos Gerais .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Polipropileno.....</b>	<b>15</b>
4.1.1 Copolímero randômico de polipropileno .....	15
<b>4.2 Casca de soja.....</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Anidrido maleico.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Compósito polimérico reforçado com fibra de fonte renovável.....</b>	<b>16</b>
<b>5. MATERIAIS.....</b>	<b>18</b>
<b>6 MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>6.1 Aquisição das matérias-primas do compósito .....</b>	<b>19</b>
<b>6.2 Extrusão .....</b>	<b>20</b>
<b>6.3 Produção dos corpos de prova .....</b>	<b>21</b>
<b>6.4 Biodegradação por perda de massa .....</b>	<b>23</b>
<b>6.5 Caracterização pós Biodegradação.....</b>	<b>25</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICE A – Ficha técnica polipropileno .....</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICE B – Ficha técnica anidrido maleico .....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE C – Composição de fertilizante orgânico do solo .....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE D - Composição da água .....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE E - Identificação dos corpos de prova .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos apresentam como vantagem leveza, flexibilidade, alta processabilidade, durabilidade e versatilidade, além de seu baixo custo. Em contrapartida, quando descartados levam longos períodos de tempo para serem completamente degradados, implicando em impactos ambientais (ARAÚJO, 2011).

Desta forma, os estudos de biodegradação se tornam muito importantes, tendo em vista buscar alternativas mais sustentáveis para minimizar os efeitos dos resíduos plásticos, muitas vezes descartados incorretamente. Por conta disso, o desenvolvimento de materiais compósitos vem crescendo cada vez mais, já que o mesmo possibilita a substituição de parte da matriz de fonte não renovável, por meio da incorporação de cargas naturais, trazendo uma maior sustentabilidade às embalagens tradicionais (DZAZIO *et al.*, 2022). Apesar de não serem completamente biodegradáveis, já se expressa uma redução considerável de polímeros convencionais na composição da embalagem, e consecutivamente no meio ambiente (BARBOSA *et al.*, 2014).

Segundo a Embrapa, na safra de 2020/21 o Brasil se situou como maior produtor mundial de soja do mundo, produzindo 135,4 milhões de toneladas. A agroindústria nacional da soja gera resíduos como a casca, que atualmente é destinada para produção de ração animal. Entretanto, esta aplicação não possui um grande valor agregado, de forma que novos desenvolvimentos são interessantes para o reaproveitamento deste resíduo.

Neste contexto, visando aplicações agrícola e de paisagismo, onde as embalagens oferecem ao produto uma diminuição à exposição, contaminação, facilidade no transporte e manuseio de mudas, propôs-se neste estudo desenvolver embalagens com maior biodegradabilidade, através da inserção da casca de soja em matriz de polipropileno (PP). Neste trabalho foram analisados compósitos de PP copolímero com 20% de casca de soja, na presença e ausência de agente compatibilizante, produzidos em extrusora e posteriormente biodegradados em solo compostável, durante 30, 60 e 90 dias.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Desenvolver compósitos poliméricos constituído de copolímero randômico de PP, em conjunto com a casca de soja, almejando o uso em embalagens para mudas. Ao propor uma demanda para viveiros de mudas, este material foi submetido ao ensaio de biodegradação por perda de massa, análise mecânica por ensaio de tração e análise microscópica, para se verificar a viabilidade de se produzir embalagens mais sustentáveis.

### **2.2 Objetivos Específicos**

A partir do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver compósitos poliméricos de PP com casca de soja na presença e ausência de agente compatibilizante para o uso em embalagens para muda.
- Averiguar a viabilidade da obtenção de um compósito com a inserção de aproximadamente 20% em peso de matéria-prima biodegradável;
- Analisar a biodegradabilidade dos compósitos poliméricos produzidos, por perda de massa ao longo do tempo.
- Avaliar as propriedades mecânicas das formulações apresentadas por ensaio de tração.
- Analisar microscopicamente as amostras após a biodegradação para averiguar possíveis resíduos de solo em regiões biodegradadas dos corpos de prova

### **3 JUSTIFICATIVA**

Visando a crescente demanda de materiais poliméricos para a aplicação em embalagens descartáveis, e na busca de uma alternativa para se reduzir o acúmulo de resíduos plásticos descartados indevidamente no meio ambiente, o presente trabalho exhibe um estudo sobre compósitos poliméricos produzidos a partir da inserção da casca de soja em matriz de PP. Espera-se uma redução parcial de material não biodegradável na composição final, além de se elucidar o comportamento da biodegradação sofrida por estes quando inseridos em uma matriz polimérica não biodegradável sem perdas significativas de propriedades mecânicas.

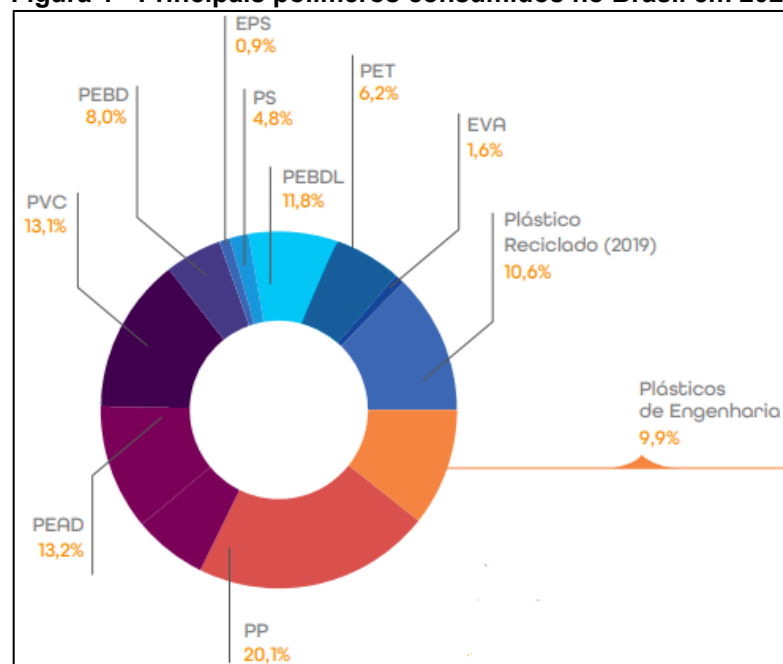
#### 4 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com o relatório “Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização”, publicado pela WWF (*World Wildlife Found*) em 2019, no Brasil são mais de 11 milhões de toneladas de lixo plástico produzido, o que posiciona o país como o quarto maior produtor no mundo, gerando por pessoa aproximadamente 1 quilo de lixo por semana.

O ano de 2020 ficou marcado pela pandemia da Covid-19, e segundo a Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais (Abrelpe), sucedeu-se um aumento de 25% do uso de plástico no início da pandemia, resultante da alta demanda das práticas de consumo, seja por meio das entregas de alimentos ou pelo consumo de máscaras descartáveis. Os plásticos descartáveis levam centenas de anos para se decompor de forma natural, e o seu descarte inadequado pode levar a sérios problemas ao meio ambiente (ATLAS DO PLASTICO, 2020; SILVA; RABELO, 2017).

Dentre as embalagens mais descartadas, o PP gera grande quantidade de resíduo em um curto período de tempo, provocando uma crescente preocupação com a sua disposição final (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005). A Figura 1 apresenta os termoplásticos convencionais mais consumidos em 2020 no Brasil, e o PP aparece em primeiro, com 20,1% (ABIPLAST, 2020).

**Figura 1 - Principais polímeros consumidos no Brasil em 2020**



Fonte: ABIPLAST (2020)

Neste contexto, uma alternativa para se reduzir parte do volume de PP descartado é o desenvolvimento de compósitos que possibilitem substituir uma porcentagem de sua matriz polimérica por matérias-primas de fontes renováveis.

#### **4.1 Polipropileno**

O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico, de massa molar variando entre 80.00 e 500.000, densidade de 0,90 g/cm<sup>3</sup>, temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) entre 4 e 12°C e temperatura de fusão cristalina (T<sub>m</sub>) entre 165-175°C (BLASS,1988). Apresenta coloração branca e opaca, baixo custo e baixos valores de densidade (GUERRICA-ECHEVARRIA *et al.*, 1998).

O PP apresenta uma elevada resistência a ataques microbianos e ataques químicos, devido às ligações covalentes presentes em cadeia polimérica, o grau de cristalinidade e suas características hidrofóbicas (DE PAOLI, 2008).

##### **4.1.1 Copolímero randômico de polipropileno**

Os copolímeros randômicos de polipropileno correspondem a um copolímero de propileno com pequenas quantidades de comonômero etileno, adicionado de forma aleatória ao longo da cadeia do PP (MOORE, 1996). Essa inserção atua como defeitos cristalinos na estrutura, eliminando sua regularidade e reduzindo o módulo de elasticidade e a temperatura de fusão, assim como também aumentando a transparência, o brilho e a resistência ao impacto (KISSEL *et al.*, 2003).

#### **4.2 Casca de soja**

A casca de soja, película que envolve os grãos, um subproduto da indústria processadora de soja. Sua obtenção é dada quando os grãos são quebrados e as cascas retiradas (CTRH ZOOTECNIA, 2019). A casca de soja representa de 7 a 8 % do peso do grão (GARCÍA *et al.*, 2016).

A casca do grão de soja é uma fonte secundária de celulose, a maior parte da composição química é dada pela concentração de carboidratos e proteínas, que pode servir de alimento para humanos e animais, principalmente como óleos comestíveis. A abundância de soja no mercado brasileiro é proporcional a geração de seus subprodutos como por exemplo a casca (ZAMBOM *et al.*, 2001).

De maneira geral, os principais componentes das fibras naturais são a celulose, hemicelulose, lignina, pectina, ceras e substâncias solúveis em água. A celulose e a hemicelulose são componentes básicos no que se diz respeito às propriedades físicas das fibras. A casca de soja contém cerca de 35,8% de celulose, 23,1% de hemicelulose, com baixo teor de lignina (9,1%) e um alto teor de ferro, cerca de 32% (ZAMBOM *et al.*, 2001).

### **4.3 Anidrido maleico**

A formação de um compósito polimérico exige da matriz e do reforço uma boa afinidade entre as fases presentes, dada pela interface. A fase dispersa geralmente apresenta uma natureza hidrofílica e polar, enquanto a fase contínua uma natureza apolar. A interação entre os componentes pode ser melhorada através de agentes compatibilizantes, promovendo uma união química entre os materiais e permitindo uma molhabilidade mais eficiente. Dessa forma há uma redução das tensões interfaciais e uma melhor adesão entre fases (RABELLO; PAOLI, 2013; SANTANA, 2012). Um dos agentes compatibilizantes mais comuns é o anidrido maleico, que permite uma melhor adesão entre fases por meio da grafitação com materiais que contém grupos polares reativos (NAQVI, 1996).

Fibras naturais possuem grupos hidroxila livres em sua superfície, permitindo que ocorra a grafitação por meio da incorporação de anidrido maleico durante o processamento de um compósito polimérico.

### **4.4 Compósito polimérico reforçado com fibra de fonte renovável**

Os materiais compósitos são constituídos por duas fases, a primeira é uma fase descontínua, chamada de reforço, responsável por fornecer resistência, e a segunda fase é a contínua, denominada de matriz, que corresponde o meio de transferência desse esforço. As propriedades dos compósitos são influenciadas pelas fases constituídas, distribuição e interação entre o reforço e a matriz (NETO; PARDINI, 2006). Assim, compósitos poliméricos consistem em uma resina polimérica formando a fase matriz, com fibras como o meio de reforço (CALLISTER, 2006).

O estudo de reforços de fibra de fontes renováveis é de grande relevância, devido a sua grande disponibilidade na biodiversidade, podendo dar origem a várias questões que devem ser focalizadas, como a biodegradação (NECHWATAL *et al.*,



2003). Uma alternativa de grande potencial para produção de um compósito polimérico com características de biodegradação é a inserção da casca de soja.

O artigo “Caracterização de compósito de polipropileno com casca de soja” publicado pela “Brazilian Journal of Development”, aborda a biodegradação de um compósito de polipropileno com casca de soja. Os filmes poliméricos desenvolvidos com a inserção de 20% de fibra, obtiveram uma perda de massa média de 2,98% nos primeiros 30 dias, 6,75% em 60 dias e 12,45% em 90 dias.

A casca de soja encontra-se disponível em grande abundância, por serem resíduos provenientes de atividade agrícola. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2021, o estado do Paraná contribuiu com 19.205.802 toneladas, classificando-o como um dos principais produtores. Deste total, o município de Londrina colaborou com 207.700 toneladas.

A casca de soja vem sendo aplicada como suplemento energético aos ruminantes, por possuir funções fisiológica de fibra vegetal e funciona como um grão de cereal em termos de energia. A sua inclusão é empregada em dietas a base de forragem (como suplemento) promovendo a manutenção do pH ruminal e assim não prejudica a digestibilidade da fibra. Entretanto, a utilização de casca de soja na formulação de rações em altas taxas de substituição (acima de 20% matéria seca da dieta) pode comprometer o desempenho dos animais (CTRH ZOOTECNIA, 2019).

Buscando uma aplicação mais nobre e com maior valor agregado, esse estudo busca desenvolver compósito de PP com a incorporação de 20% da casca de soja.

## 5. MATERIAIS

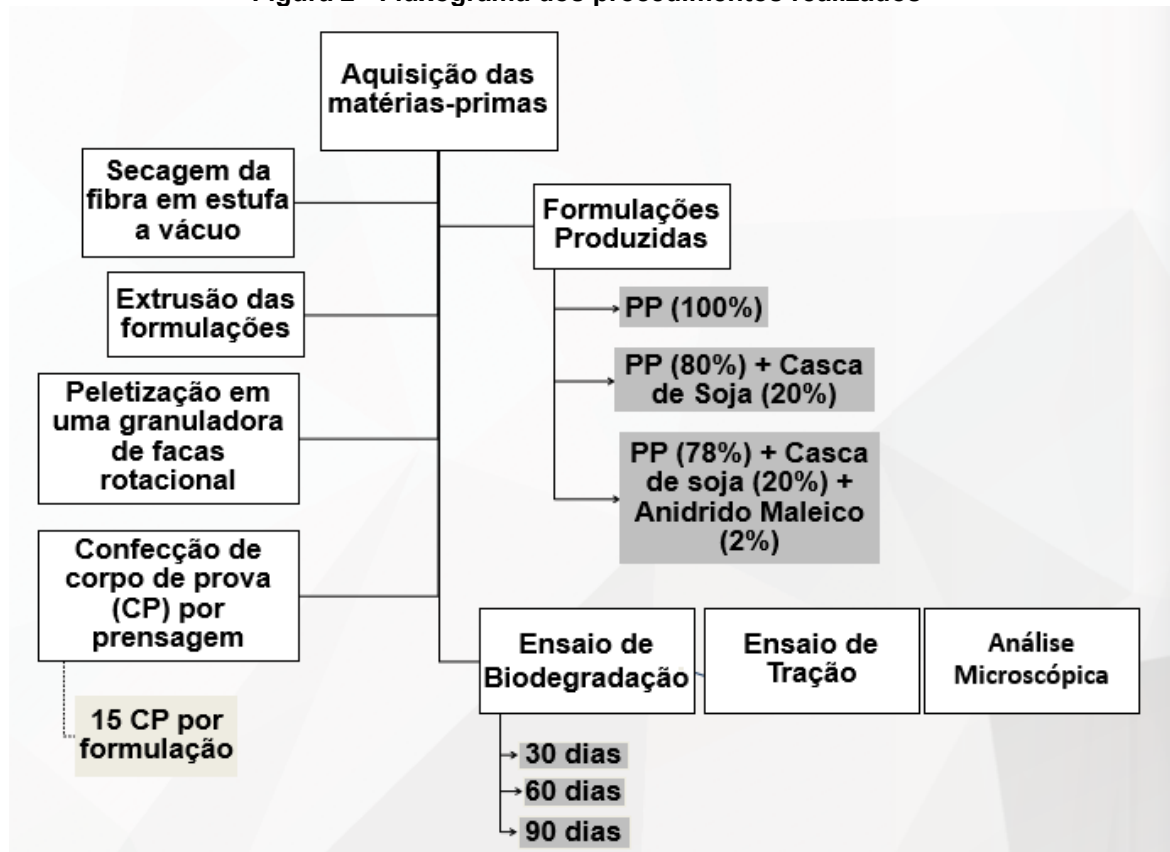
Utilizou-se como matriz polimérica um copolímero randômico de polipropileno (*Esenttia 01R25*), gentilmente concedido pela *Bemis Latin America* (atual *Amcort Flexibles do Brasil*), o agente compatibilizante utilizado foi o anidrido maleico (*Polybond, 3349*), fornecido pela SI Group, cujas fichas técnicas estão apresentadas no Apêndice A e B deste trabalho, respectivamente. Inseriu-se na matriz, para a formação dos compósitos, a casca de soja, fornecida pela empresa Cocamar.

Para o ensaio de biodegradação, utilizou-se um solo compostável que leva em sua formulação 50% de fertilizante orgânico para 50% de solo comum. O Apêndice C, mostra a composição deste fertilizante orgânico. Para se manter a umidade do sistema de biodegradação, utilizou-se uma água mineral natural da marca Perulle. As propriedades da água utilizada estão apresentadas no Apêndice D.

## 6 MÉTODOS

Os procedimentos realizados neste trabalho estão apresentados no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos realizados



Fonte: Autoria própria (2023)

### 6.1 Aquisição das matérias-primas do compósito

A fibra foi submetida a uma estufa a vácuo SL 104/30 da *Solab* (Figura 3), disponível no laboratório de polímeros do Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais – DAEMA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Londrina, para a remoção da umidade e consecutivamente a obtenção de melhor desempenho no processamento, em aproximadamente 85°C por 1 hora.

**Figura 3 - Secagem da casca de soja em uma estufa a vácuo SL 104/30 da Solab**



Fonte: Autoria Própria (2023)

## 6.2 Extrusão

As formulações dos compósitos foram preparadas de acordo com os teores apresentados na Tabela 1, as mesmas foram misturadas em pequenas porções e adicionadas gradativamente na extrusora. A extrusora utilizada foi uma monorosca LAB16 da AXPlásticos (Figura 4), disponível no laboratório B001 de polímeros do DAEMA/UTFPR, campus Londrina.

**Tabela 1 - Porcentagem em massa das formulações processadas na extrusora**

Formulação	Polipropileno (%)	Casca de soja (%)	Anidrido maleico (%)
A	100	0	0
B	80	20	0
C	78	20	2

Fonte: Autoria Própria (2023)

**Figura 4 - Extrusora LAB16 da AXPlásticos**



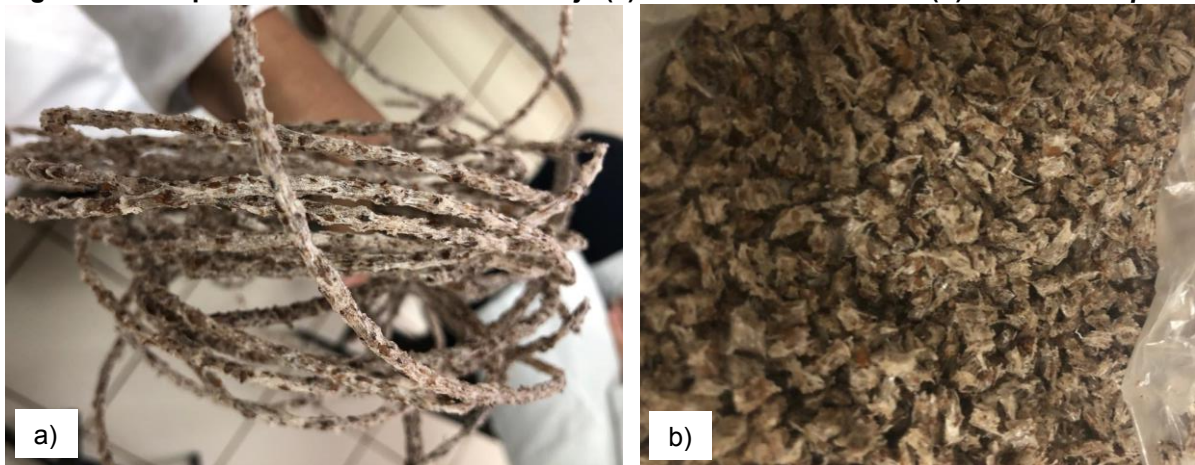
Fonte: Autoria própria (2023)

A matriz da extrusora utilizada para o processamento das formulações foi do tipo macarrão, o extrudado foi picotado na forma de *pellets* utilizando uma granuladora de facas rotacionais. Os parâmetros utilizados para processar as formulações foram:

- 300 rpm;
- Zona 1: 200 °C
- Zona 2: 210 °C
- Zona 3: 220 °C

A Figura 5 a seguir mostra o aspecto visual do compósito extrudado antes e após a peletização.

**Figura 5 - Compósito de PP com casca de soja (a) na forma de macarrão (b) na forma de *pellets***



Fonte: Autoria própria (2023)

### 6.3 Produção dos corpos de prova

Após a extrusão, os *pellets* foram colocados em um molde de aço e prensados, por meio de uma prensa hidráulica a quente Marconi (Figura 6), disponível no laboratório B001 de polímeros do DAEMA / UTFPR, campus Londrina. Para a produção dos corpos de prova tipo gravata, segundo norma ASTM D638-10, o material foi submetido inicialmente a 190°C sem a adição de pressão por 5 minutos, em seguida, aplicou-se e aliviou-se pressão rapidamente por 5 vezes, para evitar a formação de bolhas nos CP. Posteriormente, foi aplicado uma pressão de 5 toneladas por 7 minutos. Por fim, realizou-se um resfriamento lento até 35°C, e assim as placas de CP em formato gravata foram formados (Figura 7 e 8).

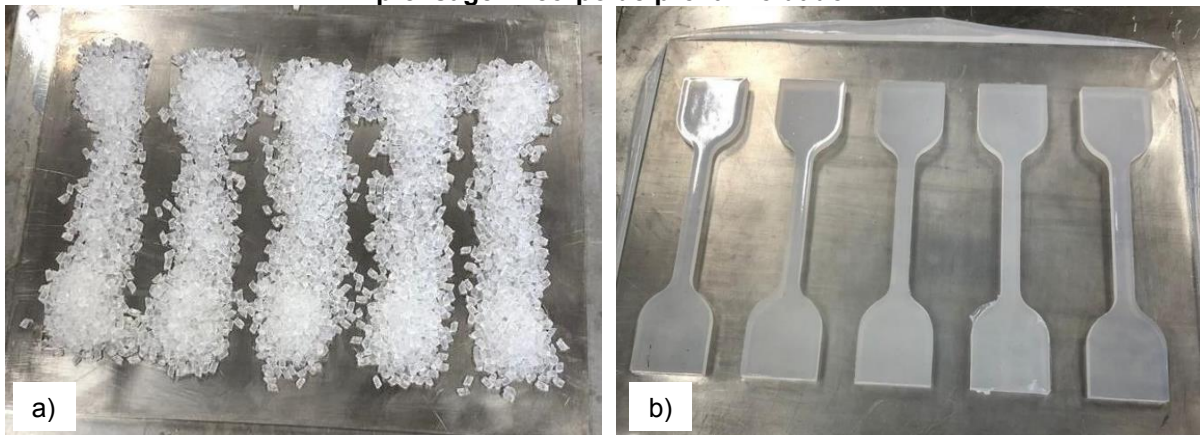


**Figura 6 - Prensa hidráulica a quente Marconi**



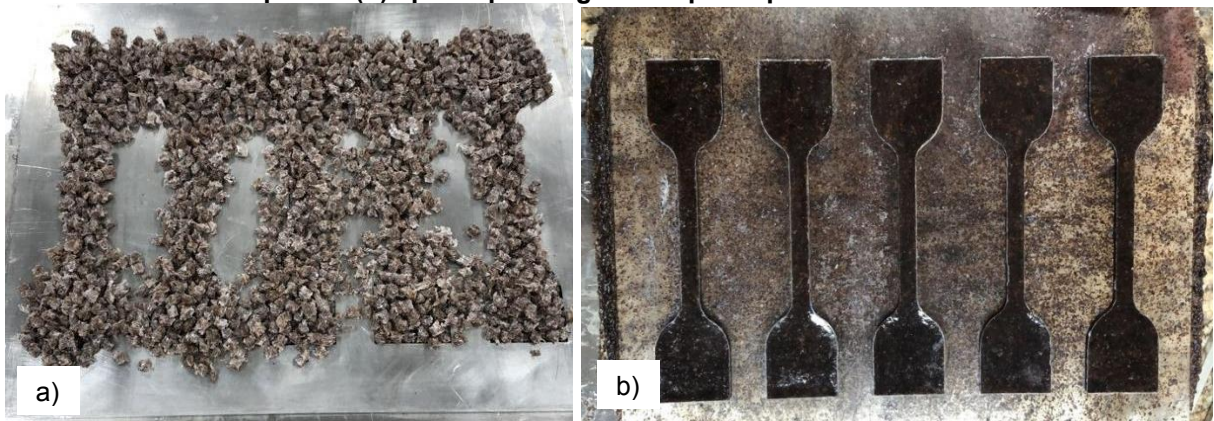
Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 7 - Polipropileno (a) antes da prensagem: molde preenchido por pellets (b) após prensagem: corpo de prova moldado**



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 8 - Compósito de PP com casca de soja (a) antes da prensagem: molde preenchido por pellets (b) após a prensagem: corpo de prova moldado**



Fonte: Autoria própria (2023)

#### 6.4 Biodegradação por perda de massa

Após a obtenção dos corpos de prova, foi construído um sistema para a análise da biodegradação. A biodegradação aconteceu dentro de um aquário (30 cm de altura, 20 cm de largura e 50 cm de comprimento), como apresentado na Figura 9. Posicionou-se uma chapa de metal com pequenos furos no fundo do aquário, para evitar o entupimento da mangueira de aeração e permitir que o excesso de água escoe pelo solo.

**Figura 9 - Sistema de análise da biodegradação parcialmente preenchido com solo compostável**



Fonte: Autoria própria (2023)

Para conseguir simular um ambiente com condições favoráveis para a biodegradação, utilizou-se uma mangueira, uma garrafa PET e um compressor de ar. Com o intuito de garantir a circulação de ar úmido na parte interior do aquário, evitando-se a compactação do solo, foi posicionada uma mangueira no fundo do aquário, abaixo da chapa perfurada de metal, conectada a uma garrafa PET preenchida parcialmente por água mineral com pH próximo de 7. A garrafa PET também teve ligação a uma segunda mangueira, interligada a um compressor de ar com potencial de 5W. A umidade do sistema também foi mantida regando-se o aquário uma vez ao dia, todos os dias até o final dos 90 dias de ensaio de biodegradação. A



irrigação do meio aconteceu em um mesmo horário e em uma mesma proporção, 250 mL de água por dia.

Os corpos de prova foram previamente pesados, em uma balança analítica digital Bioscale, modelo 2204 (Figura 10), e identificados antes de serem enterrados. Utilizou-se dois fios de arame encapados, os quais serviram de apoio para facilitar na tiragem do aterramento, e nos mesmos foi inserida a identificação, por meio de fita colorida e etiquetas nomeadas (Figura 11). A identificação das amostras está apresentada no Apêndice E.

**Figura 10 - Balança analítica digital Bioscale**



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 11 - Corpos de prova identificados**



Fonte: Autoria própria (2023)



Após desenterradas, as amostras foram lavadas cuidadosamente, removendo-se a maior quantidade possível de solo presente na superfície e evitando-se a remoção de possíveis fibras remanescentes na superfície do compósito. Posteriormente, os corpos de prova foram previamente secos ao ar livre e na sequência submetidos a uma temperatura de 60°C em estufa a vácuo por 24h, no intuito de remover a umidade residual. A seguir os CPs foram pesados na mesma balança analítica digital utilizada para as pesagens antes do aterramento.

### 6.5 Caracterização pós Biodegradação

Após as pesagens dos CPs para verificação da perda de massa por biodegradação, selecionou-se as amostras que apresentavam indícios de solo residual para serem analisadas microscopicamente. Utilizou-se um microscópio ótico Zeiss, modelo Scope. A1 (Figura 12).

**Figura 12 - Microscópio ótico Zeiss**

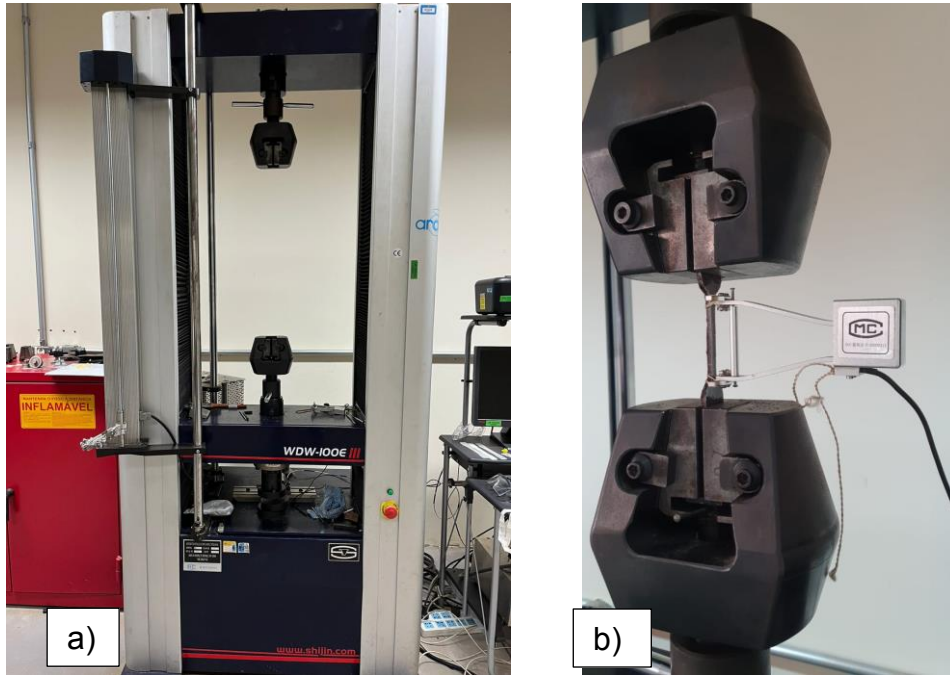


**Fonte: Autoria própria (2023)**

Na sequência, os CPs foram submetidos ao ensaio de tração, na máquina de ensaios universal modelo WDW – 100E (Figura 13), segundo norma ASTM D638M-96. A velocidade de ensaio foi de 5mm/min e utilizou-se um extensômetro de 50mm, com uma célula de carga de 100 kN. Para cada formulação, ensaiou-se 5 CPs, cujos dados de tensão e deformação que foram posteriormente tratados, com seus

respectivos desvios padrão, para garantir uma dispersão confiável de resultados. Também, os dados foram utilizados para plotar as curvas de tensão versus deformação destes materiais, facilitando a análise do comportamento mecânico.

**Figura 13 - Ensaio de tração realizado em (a) máquina universal de ensaios universal, com (b) extensômetro de 50mm**



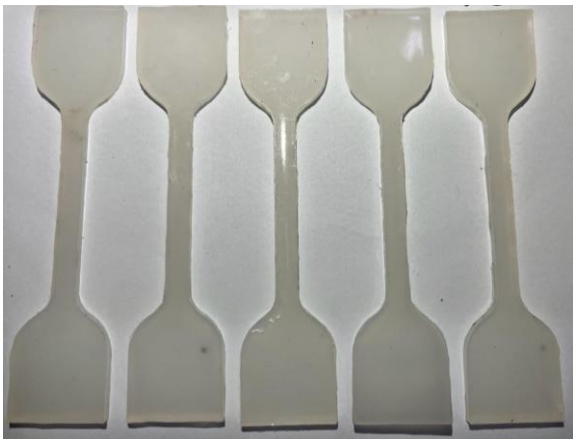


Fonte: Autoria própria (2023)

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta as imagens das amostras de PP controle em 30, 60 e 90 dias de biodegradação, respectivamente.

**Quadro 1 - Imagens dos CPs de polipropileno em 30, 60 e 90 dias.**

30 dias	 Five white plastic spoons are shown side-by-side, representing the control samples after 30 days of biodegradation. They appear clean and unchanged in shape and color.
60 dias	 Five white plastic spoons are shown side-by-side, representing the control samples after 60 days of biodegradation. They appear clean and unchanged in shape and color.
90 dias	 Five white plastic spoons are shown side-by-side, representing the control samples after 90 days of biodegradation. They appear clean and unchanged in shape and color.

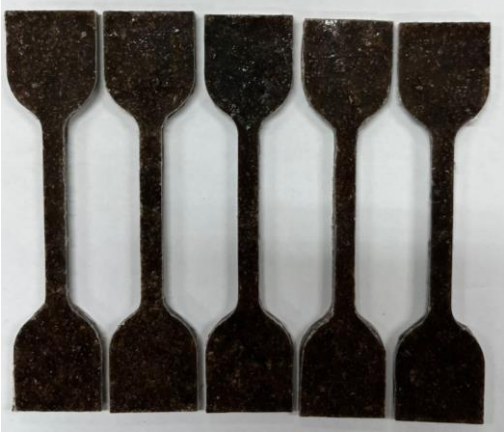







Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar os CPs do PP controle, nota-se que não apresentaram alteração no aspecto visual em nenhum dos tempos, o que já era esperado, em vista que um polímero não biodegradável como o PP demora centenas de anos para se decompor. Entretanto, é possível notar que mesmo com uma superfície de aspecto liso e brilhoso, alguns destes CPs apresentaram certas manchas com coloração que remete à uma possível presença de contaminante advindo do contato com o solo durante o ensaio de biodegradação.

O Quadro 2 apresenta as amostras dos compósitos, com e sem a inserção de agente compatibilizante, antes e após 30, 60 e 90 dias de biodegradação em solo, respectivamente.



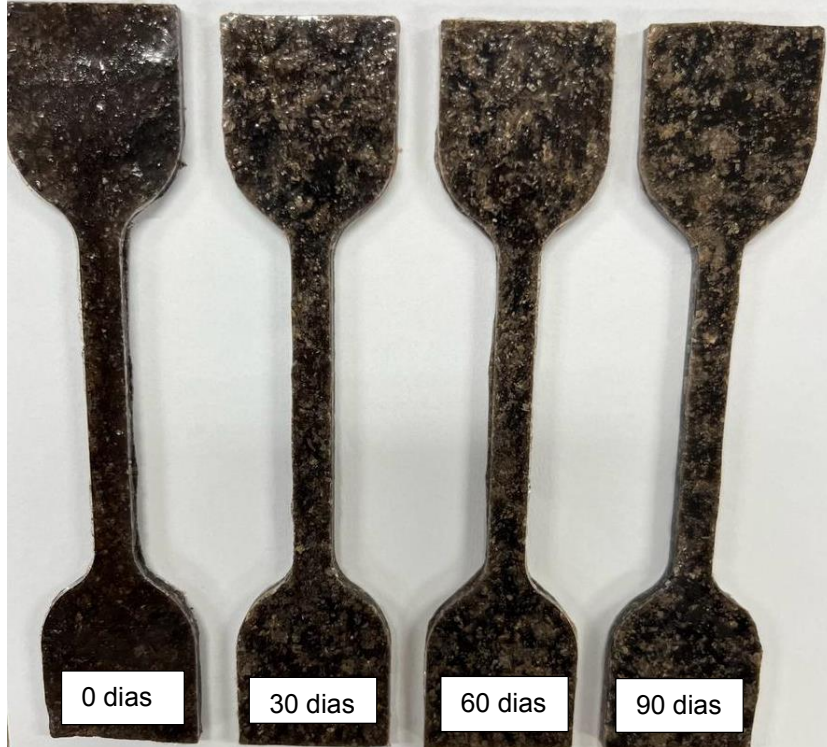
Quadro 2 - Imagens dos CPs de compósitos nos tempos 0, 30, 60 e 90 dias

Dias	Sem agente compatibilizante	Com agente compatibilizante
0		
30		
60		
90		

Fonte: Autoria própria (2023)

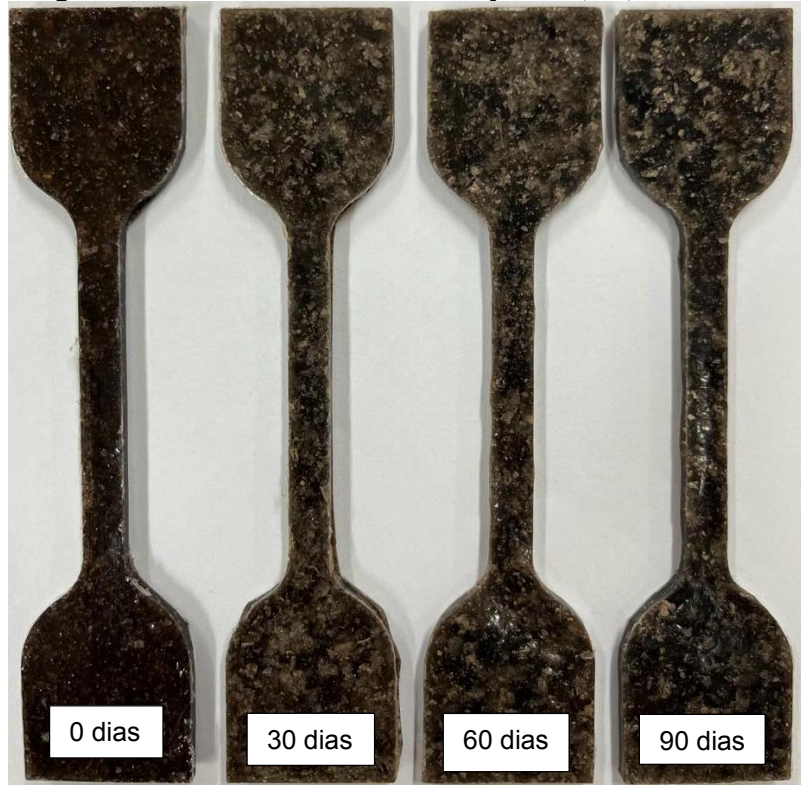
As Figuras 14 e 15 mostram o aspecto visual dos CPs de compósitos em relação ao tempo de biodegradação decorrido.

**Figura 14 - CPs de PP + Casca de soja + Anidrido maleico em 0, 30, 60 e 90 dias**



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 15 - CPs de PP + Casca de soja em 0, 30, 60 e 90 dias**



Fonte: Autoria própria (2023).

Analisando visualmente os CPs dos compósitos, tanto na presença quanto na ausência de agente compatibilizante ao longo do tempo, ambas as formulações apresentaram as mesmas características, com um aumento na intensidade das manchas e da rugosidade na superfície, apresentando certa porosidade. A porosidade, provavelmente gerada pela biodegradação das fibras sobressalientes na superfície dos CPs, facilita o acesso dos microrganismos presentes no solo para o interior do corpo de prova, e a mudança no aspecto superficial indica uma possível ocorrência de biodegradação a partir de 30 dias, podendo-se inferir que ocorreu uma afinidade positiva da atividade microbiana do solo com a fibra. É importante salientar que foi mantido o teor de fibra entre as composições (20% em peso), de forma que esta proporção deve ter sido replicada de maneira similar na superfície nos CPs após prensagem, não sendo observada uma diferença visual significativa dos compósitos submetidos a 30, 60 e 90 dias de biodegradação.

A Tabela 2 mostra as médias das pesagens dos corpos de prova obtidas no decorrer do experimento.

**Tabela 2 - Média das pesagens dos corpos de prova ao longo do tempo de biodegradação**

Formulação	Inicial (g)	30 dias (g)	Inicial (g)	60 dias (g)	Inicial (g)	90 dias (g)
PP Controle	4,626 ±0,0001	4,62808 ±0,0001	4,72946 ±0,0001	4,72922 ±0,0001	4,65412 ±0,0001	4,6577 ±0,0001
PP + Casca de soja	4,84196 ± 0,0001	4,83658 ±0,0001	4,69694 ±0,0001	4,6876 ±0,0001	4,94022 ±0,0001	4,9379 ±0,0001
PP + Casca de Soja + Anidrido Maleico	4,86748 ± 0,0001	4,84898 ±0,0001	4,86768 ±0,0001	4,8593 ±0,0001	4,89034 ±0,0001	4,88744 ±0,0001

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

É possível notar que as diferenças nos valores das pesagens são pequenas já que para o total do peso de cada CP, 80% em peso corresponde ao componente não biodegradável da formulação, ou seja, a matriz de PP. Dessa forma, é prudente analisarmos a perda de massa ocorrida à parcela passível de biodegradação, a fibra. A Tabela 3 mostra o percentual de perda da massa da fibra obtida ao longo do tempo de biodegradação.



**Tabela 3 - Percentual da perda de massa da fibra ao longo do tempo de biodegradação**

Dias	PP Controle (%)	PP + Casca de soja (%)	PP + Casca de Soja + Anidrido Maleico (%)
30	0 ± 0,26	0,56 ± 1,18	2,00 ± 0,81
60	0 ± 0,27	1,00 ± 0,72	0,86 ± 1,12
90	0 ± 0,65	0,23 ± 0,26	0,30 ± 0,62

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para o PP controle, durante todo o experimento não se observou uma diminuição da massa, ou seja, manteve-se o mesmo valor obtido inicialmente. Embora os resultados adquiridos pela biodegradação dos compósitos tenham apresentado uma redução de massa pequena, quando comparado ao PP controle, podemos evidenciar uma perda que expressou uma maior susceptibilidade à degradação em solo.

Era esperado que os corpos de prova do compósito com agente compatibilizante obtivessem uma menor degradação quando comparado ao sem agente compatibilizante, pois o mesmo proporcionaria uma maior molhabilidade da fibra pela matriz, permitindo uma melhor adesão fibra-matriz. Por outro lado, sabe-se que a presença do agente compatibilizante durante a extrusão auxilia no processo de quebra e separação de aglomerados, gerando uma melhor dispersão e distribuição das fibras na matriz, aumentando a área superficial de contato fibra-matriz. Dessa forma, pode-se inferir que a dispersão e distribuição das fibras na superfície dos CPs também poderia influenciar na biodegradação uma vez que o acesso dos microrganismos às fibras é facilitado proporcionalmente ao aumento de área superficial de fibra exposta. Essa diferença pode ter sido evidenciada nos primeiros 30 dias, uma vez que no começo do ensaio de biodegradação presume-se que existe um maior consumo de fibras expostas na superfície dos CPs.

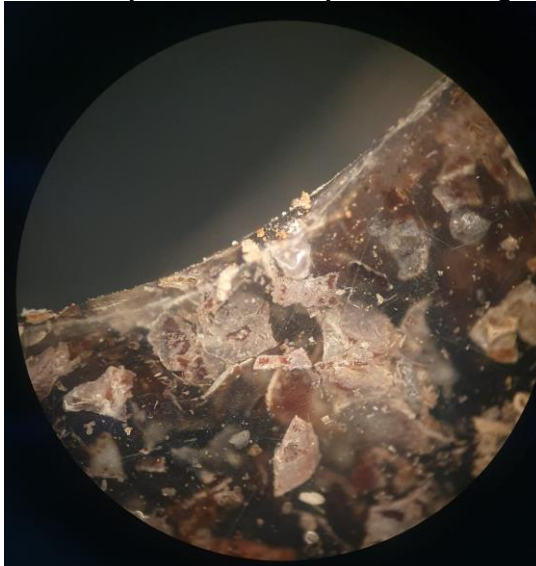
Entretanto, para tempos maiores, 60 e 90 dias, por terem apresentado um comportamento semelhante, podemos constatar que o anidrido maleico não exerceu uma influência significativa na biodegradação. Neste caso, a pequena e desproporcional perda de massa pode estar relacionada a vários fatores, um deles seria uma subsequente deficiência de fibra na superfície do corpo de prova com o passar dos dias de biodegradação, limitando o consumo dos microrganismos presentes no solo, em vista que 90 dias poderia ser um período de tempo ainda curto para que os microrganismos conseguissem acessar as fibras posicionadas em camadas mais profundas do CP. Outro fator seria a presença de contaminantes, como



por exemplo, o próprio solo, o que acabaria dificultando mensurar com exatidão a real perda de massa obtida após o ensaio de biodegradação. Neste sentido, selecionou-se as formulações consideradas mais críticas para a análise da biodegradação por perda de massa, ou seja, com maior tempo de exposição ao solo compostável e menor perda de massa, para análise microscópica da superfície dos CPs.

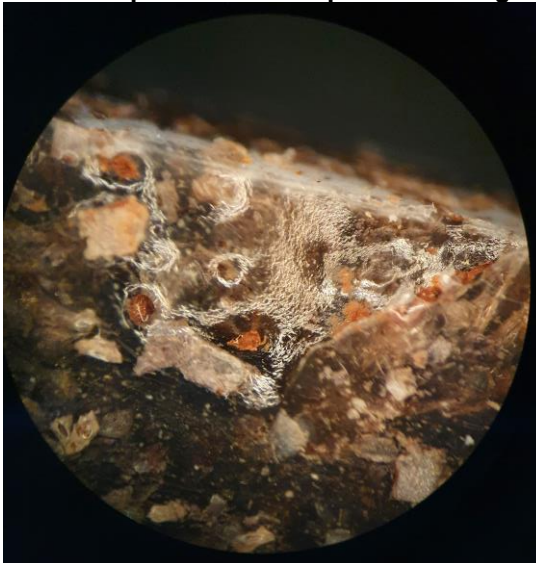
As Figuras 16 e 17 apresentam a microscopia ótica da superfície dos corpos de prova de compósitos na presença e ausência de anidrido maleico, respectivamente, submetidos ao ensaio de biodegradação por 90 dias, utilizando aumento de 50x em campo escuro.

**Figura 16 - Micrografia da superfície do compósito COM agente compatibilizante**



**Fonte: Autoria Própria (2023)**

**Figura 17 - Micrografia da superfície do compósito SEM agente compatibilizante**

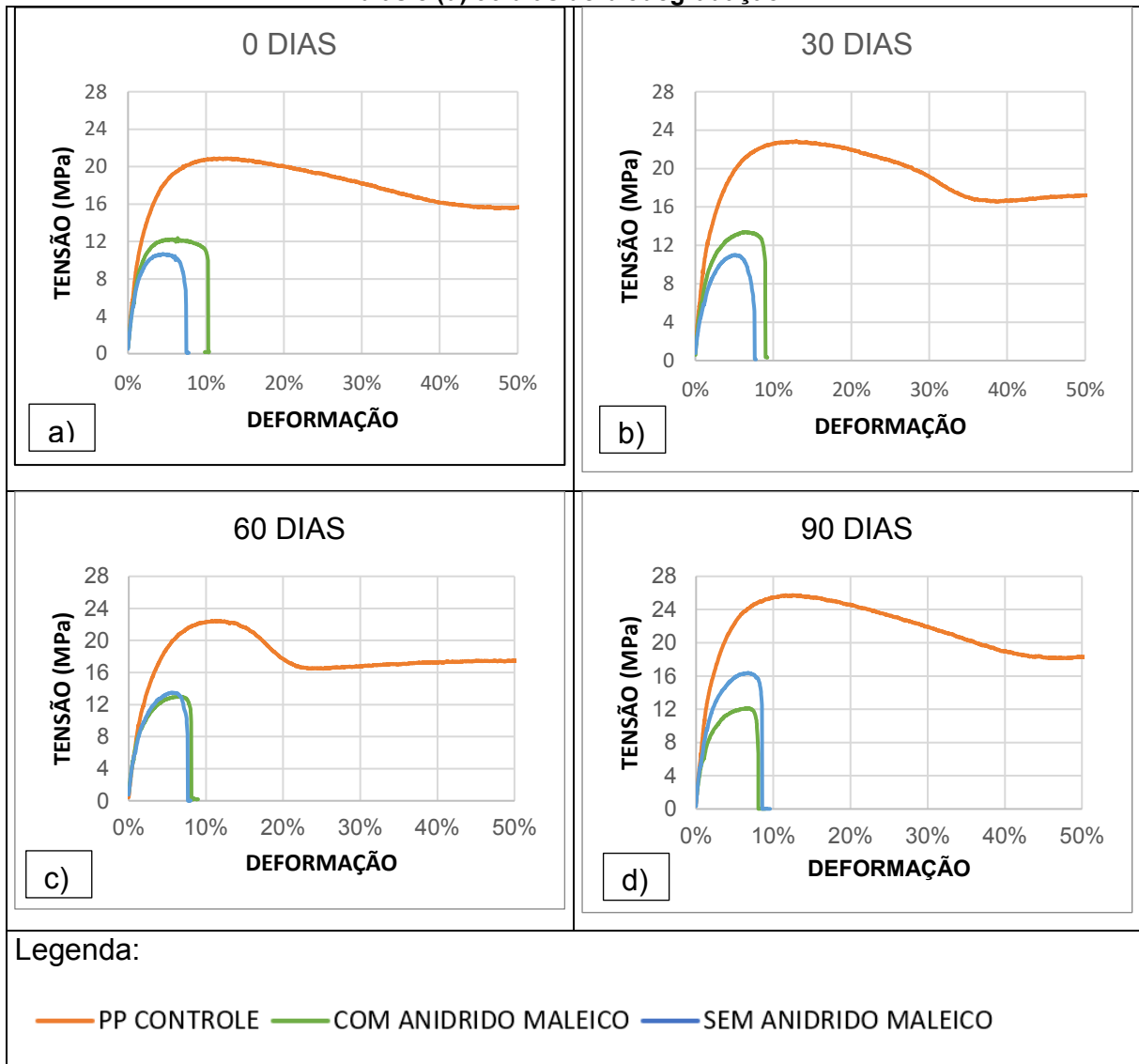


**Fonte: Autoria Própria (2023)**

Devido à casca de soja apresentar uma natureza hidrofílica, concebendo ao compósito uma maior capacidade de absorção de água, os CPs foram secos sob vácuo por 24h após a lavagem para extração de qualquer solo residual. Entretanto, durante o contato com o solo no ensaio de biodegradação, a absorção de água e a porosidade são meios favoráveis para entrada de contaminantes na matriz. É possível notar, de maneira geral, que a presença de possíveis contaminantes se encontram mais visíveis na formulação sem anidrido maleico, podendo-se inferir que possivelmente a baixa adesão interfacial fibra-polímero pode ter facilitado a biodegradação das fibras, aumentando não apenas o acesso dos microrganismos como também a inserção de contaminantes durante o ensaio de biodegradação. Desta forma, muito embora as análises visuais tenham apontado para uma interação positiva dos microrganismos do solo com a fibra da casca de soja a partir de 30 dias de biodegradação em solo, a análise por perda de massa pode ter sido comprometida. Além disso, não se deve descartar a possibilidade de contaminantes nas formulações com agente compatibilizante, tendo em vista que mesmo os CPs do PP controle apresentaram em sua superfície algumas regiões com mudança na coloração.

Com a incorporação da fibra na matriz, espera-se um material com maior rigidez, pois a fibra dificulta a movimentação das cadeias poliméricas. Em casos de baixa adesão interfacial, há formação de pontos concentradores de tensão, e conseqüentemente uma menor capacidade de deformação. A caracterização mecânica foi feita por ensaio de tração, foram ensaiados os corpos de prova nos tempos 0, 30, 60 e 90 dias. O Gráfico 1 apresenta a comparação das curvas das três formulações em seus respectivos tempos de biodegradação, e a Tabela 4 apresenta a resistência à tração máxima em até 50% de deformação.

**Gráfico 1 - Curvas Tensão x Deformação das três formulações em: (a) 0 dias, (b) 30 dias, (c) 60 dias e (d) 90 dias de biodegradação.**



Fonte: Autoria Própria (2023)

**Tabela 4 - Resistência à tração máxima em até 50% de deformação**

Dias	PP Controle (MPa)	PP + Casca de soja (MPa)	PP + Casca de Soja + Anidrido Maleico (MPa)
0	21 ± 0,91	11 ± 1,84	12 ± 1,27
30	23 ± 1,05	11 ± 1,87	13 ± 0,75
60	23 ± 0,87	13 ± 1,15	13 ± 1,03
90	25 ± 1,89	16 ± 0,50	12 ± 1,25

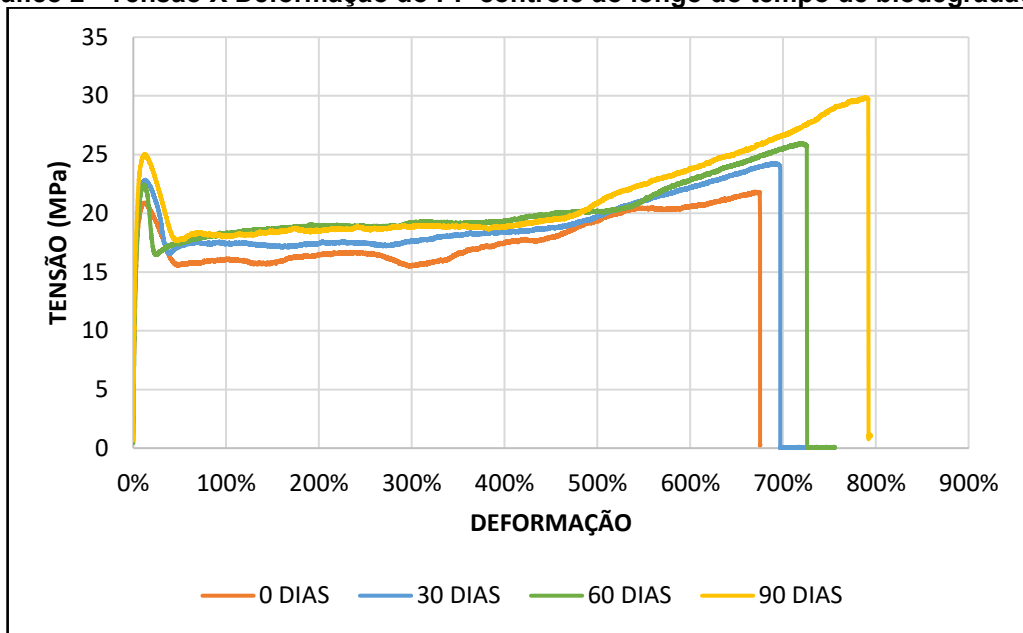
Fonte: Autoria Própria (2023)

As curvas tensão x deformação apresentadas no Gráfico 1, foram ampliadas para facilitar a análise, sendo consideradas deformações em até 50%. O PP controle apresentou curvas de comportamento tipicamente dúctil durante todo o ensaio, entretanto é possível notar um aumento ao longo dos tempos de biodegradação nos

níveis de tensão máxima ditada pelo escoamento. Comparando as curvas obtidas para os compósitos, a amostra que contém anidrido maleico, obteve uma maior resistência à deformação em maiores tensões nos tempos de 0, 30 e 60 dias, corroborando com a análise das micrografias e confirmando uma melhor adesão interfacial entre o reforço e a matriz com a adição do mesmo, mantendo-se os níveis de tensão máxima à tração (12 a 13 MPa) para todos os tempos do ensaio de biodegradação. Contudo, a baixa adesão interfacial do compósito na ausência de anidrido maleico pode levar o mesmo a se comportar de maneira mais similar à matriz. Desta forma, nota-se que o compósito sem agente compatibilizante segue uma tendência de aumentar os níveis de resistência à tração com o passar do tempo de ensaio de biodegradação, apresentando tensões máximas que variam de 11 a 16MPa com a diminuição da massa, por meio da biodegradação, e a inclusão de contaminantes. De maneira similar, para as curvas tensão x deformação do PP controle é possível notar que as propriedades mecânicas foram aumentando gradativamente ao decorrer do experimento, com a RT partindo de 21MPa e chegando a 25MPa, no intervalo de até 50% de deformação analisado. Tal comportamento pode ter ocorrido devido à migração de alguns aditivos para o solo, enrijecendo a matriz com o passar do tempo no ensaio de biodegradação.

Para a verificação do comportamento do PP controle na sua totalidade do ensaio, ou seja, até sua ruptura, foi plotado o Gráfico 2 com as curvas médias do PP controle em todos os tempos de biodegradação.

**Gráfico 2 - Tensão X Deformação do PP controle ao longo do tempo de biodegradação**

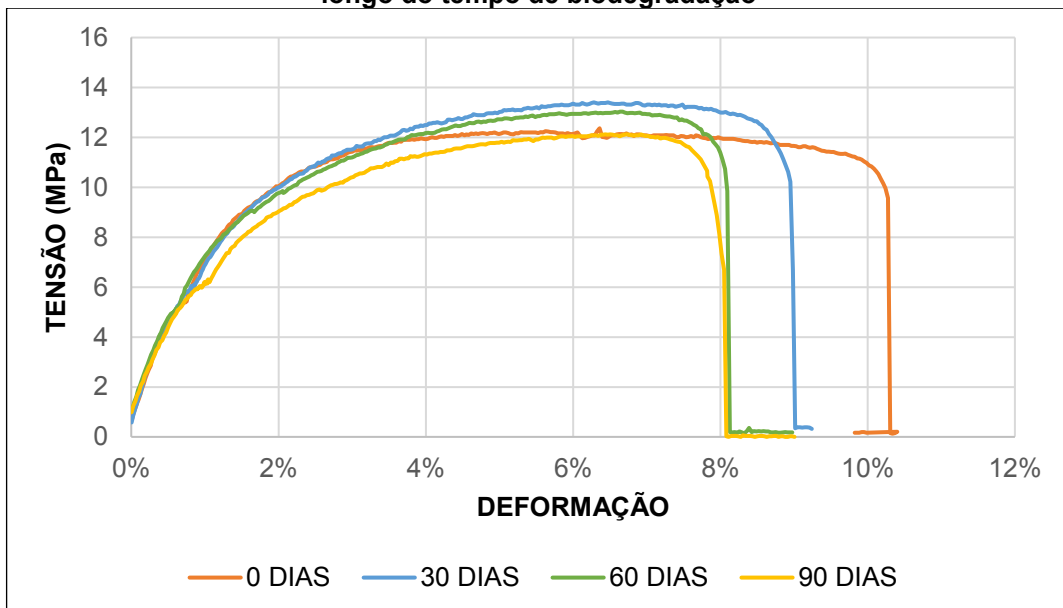


Fonte: Autoria Própria (2023)

Pelo Gráfico 2, nota-se que o PP controle apresentou em todas as curvas um formato de comportamento tipicamente dúctil, com elevados valores de alongamento e uma região de empescoamento em baixas deformações (antes de atingir 50%). Existe uma tendência de aumento dos níveis de tensão atingidos durante todo o ensaio para as curvas tensão deformação.

O Gráfico 3, mostra as curvas médias obtidas pelo ensaio de tração dos CPs dos compósitos que apresentam anidrido maleico em sua composição.

**Gráfico 3 - Curvas Tensão X Deformação dos compósitos COM agente compatibilizante ao longo do tempo de biodegradação**

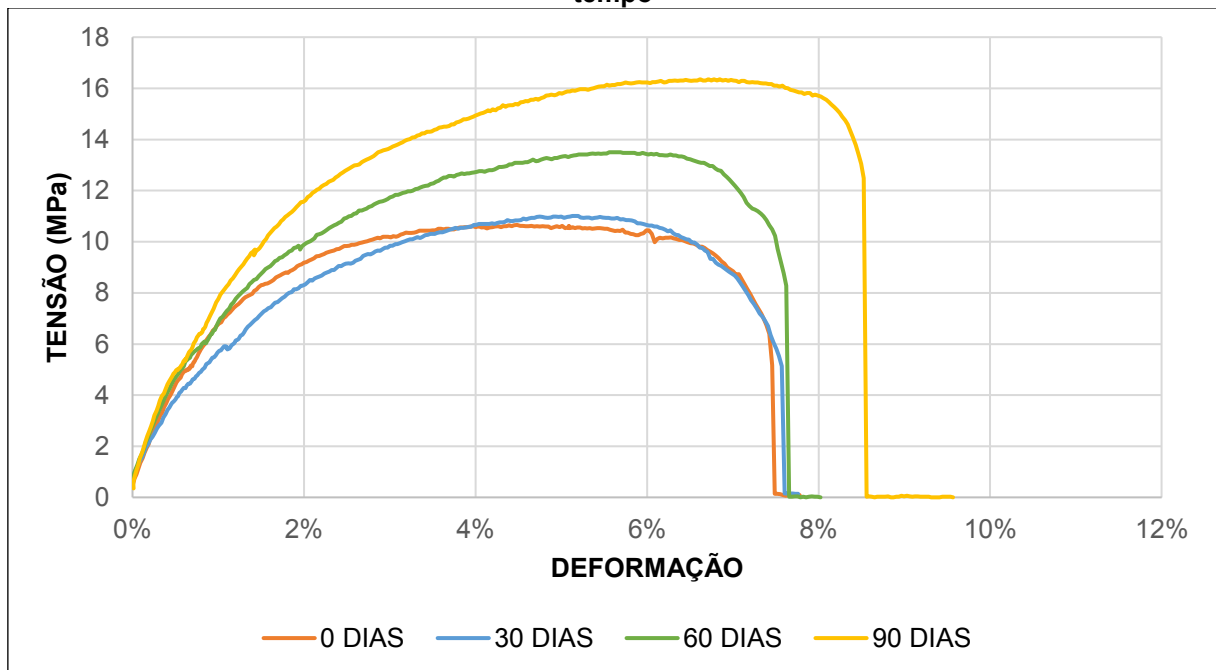


Fonte: Autoria Própria (2023)

É possível notar pelas curvas de tensão x deformação dos compósitos na presença de anidrido maleico, um comportamento tipicamente rígido, que apresenta uma diminuição na capacidade de deformação em relação à matriz de PP, e um limite de resistência à tração próximo da ruptura. Ao longo dos tempos do ensaio de biodegradação, nota-se um formato das curvas bastante similar e níveis de tensão próximos. Tal comportamento era esperado, uma vez que corrobora com os resultados de perda de massa, pois mesmo com a incorporação de agente compatibilizante, o consumo gradativo das fibras na superfície dos CPs ao longo do tempo de ensaio de biodegradação leva à formação de pontos concentradores de tensão. Ainda assim, é possível notar que antes do ensaio de biodegradação o compósito com compatibilizante interfacial atingiu níveis de deformação maiores que 10%, o que não pôde ser observado para os compósitos sem aditivação do mesmo. Isto mostra que a ocorrência da compatibilização da interface fibra-matriz, com a transferência de tensões da matriz para a fibra.

O Gráfico 4, mostra as curvas médias obtidas pelo ensaio de tração dos CPs dos compósitos que não apresentam anidrido maleico em sua composição.

**Gráfico 4 - Tensão X Deformação dos compósitos SEM agente compatibilizante ao longo do tempo**



Fonte: Autoria Própria (2023)

Analisando o Gráfico 4, é possível observar um formato de curva mais arredondado e que, com o aumento dos tempos de biodegradação, há uma tendência

de aumento nos níveis de tensão resultando no aumento gradativo de valores na resistência à tração. Tal tendência também foi observada no Gráfico 2, sendo possível notar que o compósito com baixa adesão interfacial fibra-matriz, não transfere a solicitação mecânica para a fibra, estando mais propensa a seguir a resistência da matriz, porém com a inserção de pontos concentradores de tensão, provenientes de defeitos como aglomerados ou vazios, que fragilizam a matriz.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi analisado compósito polimérico de PP com 20% de casca de soja, na presença e ausência de agente compatibilizante, para o uso em embalagens, como tubetes, comumente utilizado em viveiros para o cultivo de mudas. Estas embalagens podem proporcionar ao agricultor e/ou paisagista uma maior facilidade no transporte e em seu plantio, quando comparadas às sacarias que envolvem as mudas, pois oferecem maior proteção às raízes por se tratar de uma embalagem mais rígida.

Além disso, foi possível atingir a incorporação de 20% de casca de soja mesmo em extrusora monorosca, o que representa 20% a menos de material não biodegradável em sua composição final, sendo a matriz substituída por resíduo sem valor agregado, sucedendo vantagens tanto financeiras quanto ecológicas.

No que se refere às propriedades mecânicas, o estudo apresentou influências positivas na presença do anidrido maleico, promovendo a adesão interfacial e conseqüentemente uma melhor transferência de tensões da matriz para a fibra durante o ensaio de tração. O mesmo proporcionou uma melhor dispersão e distribuição das fibras, que possivelmente auxiliou no acesso às fibras para o consumo dos microrganismos presentes no solo e em contato com a superfície dos CPs, corroborando com o processo de biodegradação e as análises visuais dos CPs.

Em relação aos resultados obtidos referentes à biodegradação, deve-se levar em consideração as limitações evidenciadas no experimento, como a presença de contaminantes. Inclusões do solo presentes no interior da matriz dificultam mensurar com precisão a real perda de massa obtida pela biodegradação, entretanto, ainda assim foi possível evidenciar a perda de massa para a fase biodegradável do compósito. Mesmo que pequena, a perda de massa obtida através do ensaio de biodegradação corrobora com as análises visuais da superfície dos CPs, bem como com as micrografias obtidas e os resultados de resistência à tração.

É importante ressaltar que o material obtido leva a uma aplicação mais nobre deste resíduo da agroindústria da soja, em relação às alternativas presentes atualmente, sendo sempre de grande relevância levar em consideração soluções que auxiliam a reverter impactos ambientais.



## 9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Analisar microscopicamente o aspecto da casca da soja, para aferir se efetivamente se trata de uma fibra ou de uma carga;
- 2) Realizar ensaio de FTIR antes e após a biodegradação, para verificar bandas de OH responsáveis pela umidade residual que possam influenciar nas medidas de peso;
- 3) Caracterizar a matriz do PP copolímero para averiguar possíveis migrações de agentes deslizantes ou outros aditivos.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST (Associação Brasileira da indústria do Plástico). **A indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil**. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2021/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. São Paulo: ABRELPE, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

ARAÚJO, S. S. **Estudo das alternativas tecnológicas de reaproveitamento e reutilização de pneus provenientes de descarte**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais e Metalúrgica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

ATLAS DO PLÁSTICO. **Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Fundação Heinrich Böll. 1. ed. nov. 2020. Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico>. Acesso em: 11 nov. 2022.

BARBOSA, L. M.; et al. **Manual de Orientação para Implantação de Viveiro de Mudás**. 2. ed. São Paulo: SMA, 2014. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cea/2014/11/manual-de-orientacao-dara-implantacao-de-viveiro-de-mudas/>. Acesso: 11 nov. 2022.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. Editora da UFSC, Florianópolis, 1988.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CTRH ZOOTECNIA (Centro de Treinamento de Recursos Humanos Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. **Uso de casca de soja na alimentação de ruminantes**. São Paulo: USP, 2019. Disponível em: <https://ctrhzootecnia.com.br/uso-de-casca-de-soja-na-alimentacao-de-ruminantes/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

DE PAOLI, M, A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 1 ed. São Paulo: Artiber, 2008.

DZAZIO, A. A. L.; et al. Caracterização de compósitos de polipropileno com casca de soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 4, p.31890-31903, abr. 2022.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Embrapa Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 04 nov. 2022.

GARCÍA, A.; et al. Industrial and crop wastes: A new source for nanocellulose biorefinery. **Industrial Crops and Products**, Saint-Martin-d'Hères (FR), v. 93, p. 26-38, 2016.

GUERRICA-ECHEVARRIA, G.; et al. Influence of molding conditions and talc content on the properties of polypropylene composites. **European Polymer Journal**, v. 34, n. 8, p. 1213-1219, 1998.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Produção Agrícola – Lavoura Temporária. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/pesquisa/14/10193?ano=2021&localidade1=41&localidade2=0>. Acesso em: 04 nov. 2022.

KISSEL, W. J.; et al. Polypropylene: structure, properties, manufacturing processes, and applications. *In*: H. G. Karian Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites. 2., 2003, New York: **Marcel Dekker**, 2003. p. 10-33.

MOORE, E. P. **Polypropylene Handbook**. 1 ed. New York: Hanser Publishers, 1996.

NAQVI, M., CHOUDHARY, M., & J.M.S. (1996). Ver. Macromol. Chem. Phys. PAOLI, A. M.; RABELO, M. **Aditivação de termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2013.

NECHWATAL, A.; et al. Developments in the characterization of natural fibre properties and in the use of natural fibres for composites. **Composites Science and Technology**, v. 63, n. 9, p. 1273, 2003.

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

RABELLO, M. S.; DE PAOLI, M. A. **Aditivação de termoplásticos**. São Paulo: Artliber Editora LTDA., 2013.

SANTANA, M. N. B. **Estudo de agentes de acoplamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com pó de coco seco**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.

SILVA, F. A.; RABELO, D. O uso sustentável de polímeros. **Revista Processos Químicos**. Goiânia, v. 11, n. 21, p. 9-15, 2017.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

WWF. **Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização**. Gland: WWF, 2019. Disponível em: <https://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao>. Acesso em: 04 nov. 2022.

ZAMBOM, M. A.; et al. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 937-943, 2001.

## **APÊNDICE A – Ficha Técnica Polipropileno**



Transforma tu mundo

Esenttia  
forma  
parte de:



Diciembre, 2021

## FICHA TÉCNICA

Familia:	Copolímero Random
Nombre del Producto:	ESENTTIA 01R25

**Característica:** Polipropileno copolímero random de baja fluidez, muy buena resistencia al impacto.

**Recomendado para:** Fabricación de envases por extrusión y soplado, coextrusión de películas, extrusión de zunchos, cartonplast, extrusión de láminas, extrusión termoformado de envases que requieran transparencia y resistencia al impacto, modificador de propiedades para extrusión de láminas y envases termoformados.

Propiedades	Unidades EN	Unidades SI	Método ASTM
Índice de Fluidez (230 °C - 2,16 kg)	0,80 g/10 min	0,80 g/10 min	D-1238 B
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min)	3.400 psi	23,4 MPa	D-638
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min)	13,0 %	13,0 %	D-638
Módulo de flexión 1% secante (1,3 mm/min)	110.000 psi	758,4 MPa	D-790-1A
Impacto Izod con ranura (23 °C/73 °F)	1,90 ft-lb/in	101,5 J/m	D-256-A
Impacto Gardner (23 °C/73 °F)	265 in-lb	29,9 J	D-5420 A

© Espécimen I de 3.2 mm de espesor inyectados de acuerdo con la norma ASTM D 4101 09. Los valores indicados son valores de referencia y deben ser tomados como una guía y no ser interpretados como especificaciones del producto. Solo las propiedades y valores que constan en el certificado de calidad son consideradas como garantía del producto. Los valores de la ficha técnica pueden ajustarse en el tiempo; en ninguna circunstancia ESENTTIA S.A. estará obligada a notificar cualquier cambio en las especificaciones, por lo tanto, le sugerimos solicitar de forma periódica una actualización de la documentación técnica que aplica a cada uno de nuestros productos, a través de alguno de los canales de atención descritos al final de este documento.

**IMPORTANTE:** En vista de los muchos factores que pueden afectar el proceso de transformación y aplicación de nuestras resinas, por parte de nuestros clientes, esta información no exonera al procesador de llevar a cabo sus propios análisis y experimentos previo a la compra de nuestros productos; tampoco implica alguna manifestación de responsabilidad legal de ciertas propiedades y uso para un propósito específico. Cuando nuestros productos sean procesados en conjunto con materiales obtenidos de terceras partes, el cliente será responsable de obtener toda la información necesaria relacionada con dichos materiales y asegurarse que se haya analizado previamente que esta combinación sea adecuada para el propósito particular del cliente. Es responsabilidad de aquellos a quienes suministramos nuestros productos asegurarse que los derechos de propiedad y leyes vigentes sean cumplidos. ESENTTIA S.A. declina toda responsabilidad derivada directa o indirectamente de la utilización de esta información. ESENTTIA S.A. declara no conocer ningún defecto del producto que afecte su aptitud para ser destinado a sus usos ordinarios. En cualquier otro aspecto, ESENTTIA S.A. no será responsable por cualquier defecto o vicio oculto que presente el producto. Para condiciones de almacenamiento y manejo de producto, por favor referirse a nuestro manual de uso del producto, el cual viene anexo a la factura electrónica o puede consultarlo a través de los canales de atención descritos al final de este documento.

**LIMITACIONES PARA APLICACIONES MÉDICAS:** ESENTTIA S.A. no respalda o alega la idoneidad de este producto para aplicaciones médicas específicas. Es responsabilidad de los fabricantes de productos médicos o farmacéuticos determinar que los productos de ESENTTIA S.A. son seguros, legales y técnicamente adecuados para el uso previsto, y tiene la responsabilidad de realizar las pruebas apropiadas para determinar la idoneidad en su aplicación, asumiendo todos los riesgos y responsabilidades derivadas del uso de la información y/o manejo de cualquier producto. ESENTTIA S.A. NO OTORGA NINGUNA GARANTÍA, EXPRESA O IMPLÍCITA, ACERCA DE LA IDONEIDAD DE CUALQUIER PRODUCTO DE ESENTTIA PARA SU USO EN APLICACIONES MÉDICAS. Para más información por favor contáctenos a través de los canales de atención descritos al final de este documento.

Los productos de ESENTTIA S.A. no contienen aditivos u otras sustancias que puedan inducir la oxidación del polímero. El uso de estos aditivos con los productos de ESENTTIA S.A. implica la pérdida inmediata de la garantía de desempeño descrita en el Certificado de Calidad.

**NOTA:** Para productos utilizados en aplicaciones en contacto con alimentos usted debe solicitar la información de cumplimiento regulatorio a través de alguno de los canales de atención al cliente descritos al final de este documento.

**CANALES DE ATENCIÓN AL CLIENTE:** página web [www.esenttia.co](http://www.esenttia.co) ingresando con su usuario y contraseña opción Información Técnica General, línea telefónica (+57)(60)(1) 5960210, o realizando la solicitud al correo electrónico [servicioalcliente@esenttia.co](mailto:servicioalcliente@esenttia.co)

Rev.: ESP 210

Cartagena, Colombia  
AA. 4336 - Vía Mamonal km 8  
+57 (5) 668 8700

Bogotá, Colombia  
Avenida Calle 26 # 57 - 83  
Edificio T7 - T8 piso 11 (Torre 7)

Esenttia S.A. NIT. 800.059.470-5

Servicio al cliente:  
[servicioalcliente@esenttia.co](mailto:servicioalcliente@esenttia.co)  
+57 (1) 596 0210

[www.esenttia.co](http://www.esenttia.co)



Síguenos y ayúdanos  
a cuidar el planeta

## **APÊNDICE B – Ficha Técnica Anidrido Maleico**



## POLYBOND® 3349

### Developmental Polymer Modifier

POLYBOND® 3349 is a maleic anhydride modified linear low density polyethylene.

CAS Number 63625-36-5

#### Typical Physical Properties of POLYBOND® 3349

Property	Typical Value	Test Based On
Appearance	Off-white Pellet	Visual
Melt Flow Rate @ 190°C, 2.16Kg	8.0 g/10 min	ASTM D-1238
Maleic Anhydride Content	High	ASTM D-6047
Density @ 23°C	0.93 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D-792
Bulk Density	0.6 g/ cm <sup>3</sup>	ASTM D-1895B
Melting Point	123°C	DSC

High = Maleic Anhydride Content typically between 1.0 and 1.4%.

#### Applications

- Coupling agent and process aid for halogen-free, flame retardant (HFFR) wire & cable compounds giving improved dispersion of flame retardant along with improved mechanical properties
- Coupling agent for glass-filled LLDPE providing improved physical properties including strength
- Compatibilizer for LLDPE/polyamide blends giving enhanced hydrolytic stability and strength properties
- Coupling agent for LLDPE composites with high mineral filler levels offering improved strength and impact properties

#### Food Contact

For details please contact Addivant™ Regulatory Affairs

#### Regulatory Status

The components of POLYBOND® 3349 are listed on USA TSCA inventory. For information on other inventory listings, see Section 15 (Regulatory Information) of the MSDS for POLYBOND® 3349.

#### Storage & Handling Precautions

Keep POLYBOND® 3349 dry prior to processing. Loss of anhydride functionality may occur due to conversion to acid groups by reaction with atmospheric moisture. Tie liners of open boxes when not in use to prevent exposure to moisture. If exposure occurs, POLYBOND® 3349 can be dried in a hopper dryer or oven for three hours at 95-100°C to remove moisture. A slight pungent odor is normal during processing of POLYBOND® 3349. Purge equipment with polyethylene before and after running POLYBOND® 3349.

**For additional handling and toxicological information consult the Addivant™ Material Safety Data Sheet**

The information contained herein relates to a specific Addivant™ product and its use, and is based on information available as of the date hereof. Additional information relating to the product can be obtained from the pertinent Material Safety Data Sheets. Nothing in this Technical Data Sheet shall be construed to modify any of Addivant™ standard terms and conditions of sale under which the product is sold by Addivant™. NOTHING IN THIS TECHNICAL DATA SHEET SHALL BE CONSTRUED TO CONSTITUTE A REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING THE PRODUCT'S CHARACTERISTICS, USE, QUALITY, SAFETY, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND ANY AND ALL SUCH REPRESENTATIONS AND WARRANTIES ARE HEREBY EXPRESSLY DISCLAIMED. Nothing contained herein shall constitute permission or recommendation to practice any intellectual property without the permission of the owner.

Addivant™ is a trademark of Addivant USA, LLC or one of its affiliates.  
Copyright © 2013 Addivant USA, LLC. All rights reserved.



## **APÊNDICE C – Composição de fertilizante orgânico do solo**

<b>Garantias do Fertilizante</b>	
Potencial Hidrogeniônico (pH)	7,5
Nitrogênio Total (N)	0,5%
Capacidade de troca catiônica (CTC)	120m.Mol c/Kg
Capacidade de troca catiônica por carbono (CTC/C)	8%
Carbono Orgânico	15%
Relação Carbono / Nitrogênio (C/N)	30%
Umidade Máxima	50%
Natureza Física	Sem especificação Granulométrica

**Fonte: Fertilizante Orgânico composto Classe A - HÚMUS.**

## **APÊNDICE D - Composição da água**

<b>Composição Química (mg/L)</b>	
Bicarbonato	29,58
Cálcio	4,862
Magnésio	2,156
Sódio	2,096
Nitrato	1,39
Potássio	0,686
Cloreto	0,55
Fosfato	0,11
Fluoreto	0,05
Silício total	17,254

**Fonte: Água Mineral Natural Peruille.**

<b>Características Físico-químicas</b>	
pH a 25°C	7,49
Temperatura da água na fonte	23,2°C
Condutividade elétrica a 25°C	54,7 (unidade de medida)
Resíduo de evaporação a 180°C	3,68 mg/L

**Fonte: Água Mineral Natural Peruille.**

## **APÊNDICE E - Identificação dos corpos de prova**

**Classificação das amostras**

<b>30 dias</b>			<b>60 dias</b>			<b>90 dias</b>		
PP Controle	Com anidrido	Sem anidrido	PP Controle	Com anidrido	Sem anidrido	PP Controle	Com anidrido	Sem anidrido
30A	30A	30F	60A	60A	60F	90A	90A	90F
30B	30B	30G	60B	60B	60G	90B	90B	90G
30C	30C	30H	60C	60C	60H	90C	90C	90H
30D	30D	30I	60D	60D	60I	90D	90D	90I
30E	30E	30J	60E	60E	60J	90E	90E	90J

**Fonte: Autoria própria (2023)**