



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

O CULTIVO DE LARVAS DE TENÉBRIOS GIGANTES (ZOPHOBAS ATRATUS)
PARA A REDUÇÃO DE PLÁSTICO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Anderson Mário da Silva Santos

Recife
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

O CULTIVO DE LARVAS DE TENÉBRIOS GIGANTES (ZOPHOBAS ATRATUS)
PARA A REDUÇÃO DE PLÁSTICO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Anderson Mário da Silva Santos
Graduando

Prof. Dr. Fernando de Figueiredo Porto Neto
Orientador

Recife
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S237c Santos, Anderson Mário da Silva
O cultivo de larvas de tenébrios gigantes (*zophobas atratus*) para
a redução de plástico poliestireno expandido (EPS) / Anderson Mário
da Silva Santos. – 2025.
38 f. : il.

Orientador(a): Fernando de Figueiredo Porto Neto.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia, Recife,
BR-PE, 2025.
Inclui referências.

1. Biodegradação 2. Plásticos biodegradáveis 3. Tenébrio
4. Sustentabilidade I. Porto Neto, Fernando de Figueiredo, orient.
II. Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

ANDERSON MÁRIO DA SILVA SANTOS

Graduando

Monografia submetida ao Curso de Zootecnia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Aprovado em 24/07/2025

EXAMINADORES

Prof.(a) Dra. Darcelet Teresinha Malerbo de Souza

UFRPE

Prof. Dr. André Carlos Silva Pimentel

SENAR

Zootecnista Carlos Frederico Silva da Costa

UFRPE

RESUMO

O presente trabalho versa sobre o aspecto da sustentabilidade em zootecnia, onde um cultivo massivo de larvas tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*) foi utilizado para verificar a capacidade desta espécie em degradar e consumir plástico do tipo “isopor”. Assim, este trabalho teve como desenho experimental uma pesquisa onde quatro tratamentos utilizando essas larvas sob diferentes densidades de plástico, em forma de pratos de “isopor”, utilizando-se também batatas como fonte de hidratação para elas. Cada tratamento teve duas réplicas, sendo o tratamento 1 realizado apenas com larvas alimentadas com ração (controle); tratamento 2, onde as larvas foram alimentadas com 50% de plástico e 50% de ração; o tratamento 3, com larvas alimentadas com pratos plásticos e “isopor” picado; e um quarto tratamento, onde as larvas foram cultivadas em penumbra, com 100% de plástico. Os resultados apontam para um consumo ativo e eficiente de plástico ao longo dos tratamentos, sendo o tratamento realizado no escuro (penumbra) o que teve um consumo mais ativo e mais rápido. Análises sobre microscopia revelam que o metabolismo das larvas não excretou plástico nas fezes, apontando para o fato das bactérias no trato digestivo dessas larvas como capazes de biodegradar esse tipo de resíduo sólido.

Palavras chave: Biodegradação; Plástico; Sustentabilidade; Tenébrios

ABSTRACT

This study addresses sustainability in animal husbandry. A massive culture of giant mealworm larvae (*Zophobas atratus*) was used to assess the species' ability to degrade and consume Styrofoam plastic. The experimental design of this study involved four treatments using these larvae on Styrofoam plates with different densities of plastic, and potatoes as a hydration source. Each treatment consisted of two replicates: treatment 1 consisted of larvae fed only feed (control); treatment 2, fed 50% plastic and 50% feed; treatment 3, fed plastic plates and shredded Styrofoam; and a fourth treatment, raised in dim light, with 100% plastic. The results indicate active and efficient plastic consumption throughout the treatments, with the treatment conducted in the dark (twilight) showing the most active and rapid consumption. Microscopic analyses reveal that the larvae's metabolism did not excrete plastic in their feces, suggesting that the bacteria in the larvae's digestive tract are capable of biodegrading this type of solid waste.

Keywords: Biodegradation; Plastic; Sustainability; Worms

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Sobrevivência de larvas de tenébrio por tratamento e por réplica, em percentual e em número de larvas restantes.22
- Tabela 2.** ganho de peso (em gramas) ao longo das 4 semanas de experimento.24
- Tabela 3.** Peso do plástico inicial e final no experimento (valores em gramas).31
- Tabela 4.** Peso total do plástico consumido pelas larvas ao longo do experimento (valores em gramas).31
- Tabela 5.** Média de peso do plástico consumido pelas larvas por semana (valores em gramas).31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01.** Tipo de caixa organizadora empregada no cultivo de larvas de tenébrios.....19
- Figura 02.** Representação esquemática do desenho experimental.....19
- Figura 03.** Interior de caixa de cultivo (50% meio de cultivo + 50% plástico) antes da introdução do meio de cultivo, mostrando a forma como o plástico foi particulado.20
- Figura 04.** Momento da pesagem de lotes de 160 espécimes de tenébrios.21
- Figura 05.** Pesagem de batata (esquerda), e batata em fatias na caixa de cultivo (direita), sendo utilizada pelos tenébrios como fonte de umidade.21
- Figura 06.** Sobrevivência de larvas de tenébrio por tratamento e por réplica, em percentual.....23
- Figura 07.** Sobrevivência de larvas de tenébrio por tratamento e por réplica, em quantidade.....23
- Figura 08.** comparação entre pedaços de plástico entre a primeira e segunda semana de experimento, mostrando pedaços que foram consumidos a partir das bordas.....25
- Figura 9.** Pedaço de plástico mostrando perfuração e pigmentação por contato com as fezes das larvas (T3, réplica 1).26
- Figura 10.** Consumo de plástico na segunda semana de experimento (T3- réplica 2) - setas vermelhas mostram o consumo de plástico nas bordas, e a seta azul furo transpassado.....27

Figura 11. Imagem do interior de prato no terceiro dia de consumo, na caixa escura, T4 - réplica 2, mostrando a forte tendência à perfuração dos pratos.....	28
Figura 12. Comparação entre o consumo de plástico (T4 - réplica 2), no primeiro dia (acima), e no terceiro dia (abaixo).....	29
Figura 13. Pedações de batata com erosão superficial e perfuração.	30
Figura 14. Pratos do tratamento 4, mostrando o nível de consumo, perfurando os pratos e consumindo de forma voraz; Acima réplica 2 (4 semanas), abaixo réplica 1 (duas semanas).	32
Figura 15. Fezes de tenébrios vistas em microscopia. A esquerda, um pedaço de microplástico sedimentado na placa de vidro, em foco. A direita, um pedaço de microplástico por baixo das fezes (seta vermelha), e o aspecto límpido, seco e semi arredondado das pelotas.....	33
Figura 16. Fezes de tenébrios vistas em microscopia, mostrando o aspecto límpido em relação a pedaços de plástico, com coloração homogênea.	34

Sumário

INTRODUÇÃO.....	11
OBJETIVOS	13
. Objetivo Geral.....	13
. Objetivos específicos.....	13
REFERENCIAL TEÓRICO	14
- A crise do plástico no meio ambiente	14
METODOLOGIA	17
. Larvas de tenébrios e caixas de cultivo	17
. Isopor.....	17
. Experimento Linear.....	18
. Tenébrios.....	20
RESULTADOS.....	22
CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

INTRODUÇÃO

O plástico é um polímero sintético oriundo do petróleo. É formado por uma complexa mistura de compostos, dentre os quais, se destaca a nafta, que é o principal resíduo do petróleo utilizado para a fabricação de plásticos. Para se obter esse material, é realizado o processo de destilação fracionada, onde o petróleo é aquecido em uma coluna de destilação, o que resulta em frações de diversos derivados. Posteriormente, acontece o craqueamento térmico, do qual são formados os subprodutos usados para a produção do plástico (EDUARDO, 2021).

Ainda de acordo com Eduardo (2021), o plástico é um dos produtos mais problemáticos, pois é um material não encontrado na natureza, e que afeta negativamente os ecossistemas naturais e que possui decomposição lenta, levando, em média, 200 anos para ser degradado. Porém, devido às suas características tão especiais, sua utilização tem sido cada vez maior.

A partir disso, um dos grandes desafios da atualidade é destinar adequadamente os resíduos sólidos, especialmente os feitos à base de plástico, uma vez que eles apresentam durabilidade no ambiente devido aos seus componentes químicos (SILVA et al., 2013). Além disso, causam um problema ambiental, pois são responsáveis pela poluição do ar quando ocorrem queimadas, além de contaminar o solo e os corpos hídricos (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

Ante esta situação, a biodegradação dos plásticos parece ser uma opção promissora para o tratamento destes tipos de resíduos. Recentemente, foi demonstrada a capacidade de diversos organismos para consumir plásticos, como as larvas de tenébrios (Família: Tenebrionidae), o que estabeleceu uma nova perspectiva para a pesquisa e produção de novos organismos que poderiam apresentar estas características (LOU et al, 2020).

Para lidar com o problema do acúmulo de resíduos plásticos no ambiente natural, pesquisas sobre a biodegradação de plásticos com insetos têm atraído intensa atenção. Estudos recentes mostraram que o poliestireno (PS) pode ser degradado em compostos de menor peso molecular pelo bicho da farinha *Tenebrio molitor* (Yang et al., 2015), e que o polietileno (PE) pode ser degradado pelo bicho da cera grande, *Plodia interpunctella* (BOMBELLI et al., 2017) e pelo bicho da cera pequeno, *Achroia grisella* (KUNDUNGAL et al., 2019).

No Brasil, *T. molitor* é tido como praga, por atacar grãos armazenados (FISCHER et al., 2013), mas em outros ambientes são utilizados como alimentação de aves, iscas para pesca (RAMOS et al., 2002; ROMEIRO et al., 2015) e até entomofagia, pois as farinhas feitas com as larvas possuem alto teor proteico (SANGALE et al., 2019). As larvas desse inseto promovem um mecanismo biológico funcional sendo bons agentes biodegradadores podendo ser uma estratégia viável para acelerar a ação de degradação dos resíduos plásticos.

As larvas de *Zophobas atratus*, conhecidas como supervermes ou superlarvas da farinha, apresentam alta produtividade e alto teor de proteína e gordura. Devido a essas características, são produzidas como alimento para animais, incluindo répteis e aves, e utilizadas como isca para pesca. Devido aos seus altos níveis de vitamina B12, ferro, zinco, fibras, aminoácidos essenciais, ácidos graxos ômega-3 e ômega-6, além de antioxidantes, são consideradas uma futura fonte de alimento para consumo humano. Além disso, também podem ser cultivadas como biomassa para extração de compostos bioativos (LOU et al., 2021).

O poliestireno expandido (PS, ou “isopor”) representa um grande desafio para o gerenciamento ambiental devido aos seus altos níveis de produção e ao gerenciamento insuficiente de resíduos. Entretanto, estudos recentes têm demonstrado a capacidade do *Tenebrio molitor* e *Zophobas atratus* de biodegradar o PS, bem como a possibilidade de utilizar a farinha dessas espécies para alimentar peixes.

Esses aspectos levantam questões sobre a factibilidade da biodegradação de plásticos e estabeleceram uma nova perspectiva para a investigação de novos organismos que poderiam apresentar essas características. Este trabalho pretende analisar as possibilidades sobre os tenébrios em biodegradar (reduzir) polímeros plásticos, com a finalidade de responder se a biodegradação de “isopor” por larvas destes insetos representam uma alternativa viável para combater a contaminação gerada por esses materiais, ampliando as possibilidades da zootecnia moderna na sustentabilidade ambiental.

OBJETIVOS

O presente trabalho se justifica em buscar uma alternativa sustentável para reduzir a poluição por plástico, através de um cultivo zootécnico, analisando e comparando a degradação de plástico pelas larvas de besouros *Zophobas atratus*, verificando seus ganhos ambientais, tendo como objetivos as seguintes premissas:

. Objetivo Geral

Analisar o consumo e a redução do volume de plástico do tipo “isopor”, visando a degradação do mesmo, empregando um cultivo massivo de larvas de insetos tenébrios.

. Objetivos específicos

- . Analisar a redução do volume de isopor, em pedaços e em formato de pratos de festa;
- . Avaliar o consumo semanal e mensal de plástico por larvas de tenébrios.
- . Analisar as diferenças entre cultivos no escuro e sob claridade.
- . Verificar o percentual de mortalidade entre cultivos/volumes de plásticos.

REFERENCIAL TEÓRICO

- A crise do plástico no meio ambiente

O início das grandes produções de plásticos se dá no começo da década de 1950, aumentando de 1,5 milhões de toneladas anuais para aproximadamente 280 milhões de toneladas por ano atualmente. Aproximadamente um terço da produção atual é constituída por embalagens descartáveis, que são utilizadas uma única vez, e em seguida descartadas (AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, 2014).

Em acordo com Peña-Pascagaza et al (2020), anualmente, 250 milhões de toneladas de plásticos são produzidas no mundo, sendo 40% (100 milhões de toneladas) destinadas para a produção de embalagens. Porém, apenas aproximadamente 9,5% destas são destinadas ao reuso ou à reciclagem, o resto possui como destino lixões ou aterros sanitários.

Descartes inadequados podem fazer com que resíduos de plástico cheguem em sistemas aquáticos ou ecossistemas naturais (PEÑA-PASCAGAZA et al, 2020), sendo o Brasil, o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo em 2016, produzindo cerca de 11,3 milhões de toneladas (VASCONCELOS, 2019).

Além disto, os seres humanos também consomem peixes e espécies marinhas e, ao ingerir estes animais contaminados, a saúde humana é colocada em risco (Agência Europeia do Ambiente, 2014).

O Poliestireno Expandido, segundo Hemais (2003), são polímeros que podem ser classificados de forma geral em três grandes grupos: de uso geral (commodities), de uso específico (quasi-commodities), e de alto desempenho (especialidades). Os do primeiro grupo, as commodities, são caracterizadas pela sua produção em larga escala, possuem baixo valor agregado, são utilizados para finalidades gerais e são consumidos em grandes quantidades. O autor também classifica o poliestireno como sendo uma commodity.

O poliestireno expandido possui a sigla internacional EPS e é amplamente conhecido como a marca registrada Isopor®. Esse material é identificado como celular rígido, e é resultado da polimerização do estireno em água produzindo pequenas pérolas de até três milímetros de diâmetro, que serão futuramente expandidas com ar. Estas pérolas podem ser aumentadas em até cinquenta vezes o seu tamanho original, por meio de vapor, passando por 30 processos convencionais de transformação e moldando-se nas mais

diversas formas. O poliestireno expandido (EPS) possui densidade extremamente baixa - de forma geral, ele é composto de ar (98%) e matéria prima (2%). É largamente utilizado para diversas finalidades, como objetos descartáveis, copos e bandejas de alimentos, forro térmico, fundação para estradas, entre outros (CHAGAS, BERRETA-HURTADO, GOUVÊA, 2011).

Algumas características do poliestireno são muito atrativas ao mercado, como: material totalmente reciclável (100% reciclável), excelente isolante térmico, boa resistência química e mecânica, auxilia na amortização de impacto, e extremamente de fácil manipulação (CHAGAS, BERRETA-HURTADO, GOUVÊA, 2011).

Em relação à sua vida útil, existem certas contradições na literatura: alguns autores apontam que podem demorar milhares de anos para esses produtos serem degradados (ou seja, dificilmente biodegradados e que não desaparecem do meio ambiente), enquanto outros reduzem estes valores a 150 anos, dependendo das condições que estes estão expostos. É importante observar que, para certos autores, sua difícil degradação no meio ambiente acarreta a não contaminação química do solo, água e ar (CHAGAS, BERRETA-HURTADO, GOUVÊA, 2011; WARD, 2019).

A degradação de plástico é consequência na mudança das propriedades do material, podendo ser variações nas qualidades mecânicas, ópticas, elétricas etc. As mudanças incluem também quebra de cadeia, transformações químicas e formação de novos grupos funcionais (POSPISIL, NESPUREK, 1997, apud SHAH, 2008).

A degradação do plástico vem sendo estudada por diversos pesquisadores. Em uma dessas pesquisas, feita por cientistas da Universidade de Stanford, descobriu-se que as larvas de uma espécie de besouro, conhecida cientificamente como *Tenebrio molitor*, conseguiam se alimentar de pedaços de poliestireno, devido a presença de bactérias conhecidas como *Exiguobacterium* sp. que fazem parte da microbiota intestinal das larvas, e essas bactérias têm a capacidade de decompor a matéria, transformando metade em dióxido de carbono e a outra metade em fragmentos decompostos em forma de excremento (YANG et al., 2015).

Os tenébrios são insetos da Ordem Coleoptera, possuem ampla distribuição geográfica e são encontrados nos mais variados habitats, devido à sua grande capacidade adaptativa (COSTA LIMA, 1952). É um inseto holometábolo e, portanto, sua metamorfose é composta por quatro fases: ovo, larva, pupa e adulto. As larvas atingem cerca de quatro

centímetros de comprimento e possuem coloração amarelada com manchas em forma de anéis de cor mais escura pelo corpo. As pupas imaturas são amareladas, mas à medida que se desenvolvem, adquirem tons mais escuros, especialmente nas pernas e na região cefálica. Já os adultos possuem cor negra, quando estão totalmente desenvolvidos medem, em média, 2,5 cm. O ciclo de vida se completa em aproximadamente seis meses sob condições favoráveis (HAINES, 1991).

Outra espécie que passou a ser estudada é a *Zophobas atratus*, também conhecida como tenébrio gigante, super verme ou zophobas. É uma espécie comumente utilizada para alimentar animais de criação em zootecnia. Apesar de possuírem uma aparência similar ao *Tenebrio molitor*, os zophobas são, aproximadamente, 3 vezes maiores que os outros tenébrios. Outra diferença é a coloração mais escura nas extremidades de seu corpo.

METODOLOGIA

. Larvas de tenébrios e caixas de cultivo

Larvas de tenébrios foram adquiridos de fornecedor local, e foram separadas em oito caixas de cultivo, sendo 200 larvas por caixa de cultivo. O experimento aconteceu no Laboratório de Aquacultura e Sustentabilidade do Departamento de Zootecnia da UFRPE, e teve início no dia 22 de maio de 2025, e durou 4 semanas (consecutivas).

As caixas de cultivo utilizadas são caixas plástica do tipo organizadora, sendo seis caixas translúcidas, e duas totalmente pretas (escuras), e todas com 30 litros de volume interno, com tampas que foram perfuradas com ferro de solda, visando as trocas gasosas e equilíbrio da temperatura interna com o meio externo. As caixas foram desinfetadas antes da introdução das larvas.

. Isopor

O tipo de plástico utilizado no experimento foi o do tipo “isopor”, mais precisamente pratos de isopor descartáveis, que são uma opção popular e prática para servir refeições, especialmente em festas, e eventos sociais, devido à sua leveza e conveniência. Eles estão disponíveis em diferentes tamanhos e formatos, e podem ser encontrados em lojas de artigos para festas, supermercados e online.

O “isopor”, ou poliestireno expandido, tem como características principais a sua leveza, capacidade isolante, baixo custo e grande versatilidade. Sendo de fácil manuseio e altamente versátil. o produto em si recebe o nome de EPS (*Expanded Polystyrene*) - poliestireno expandido, e vem da família dos plásticos. O EPS “isopor” é 98% composto de ar, e tem como base o petróleo, que corresponde a apenas 2% do produto.

O poliestireno expandido – EPS, é considerado um poluente, principalmente devido à sua dificuldade de decomposição e impacto ambiental. Embora seja reciclável, o processo pode ser complexo e nem sempre acessível, levando a um grande volume de resíduos que podem contaminar o meio ambiente.

A ração de crescimento comercial foi utilizada como meio de cultivo, sendo colocada 300 gramas nas caixas de cultivo “controle”, e 150 gramas nas caixas de cultivo com 50% meio de cultivo, 50% plástico.

A quantidade de plástico para as caixas com 50% desse material foi de meio prato de isopor particulado, e duas metades de pratos, respectivamente 1,95 gramas e 3,9 gramas. Com 100% de plástico, as caixas receberam dois pratos particulado, e dois pratos inteiros, representando respectivamente 7,8 gramas e 7,8 gramas.

. Desenho experimental

O desenho experimental consistiu em duas abordagens, sendo a primeira (linear), com seis caixas translúcidas (Figura 01), casualizadas, e uma segunda abordagem (comparativa), onde duas caixas extra foram usadas para fins de comparação (Figura 02), de acordo com a descrição abaixo:

- Experimento Linear

- Duas repetições (caixas translúcidas) com tenébrios cultivados em meio de cultura (ração de crescimento comercial para galinhas) sem pratos plásticos (100% de alimento; controle);

- Duas repetições (caixas translúcidas) com larvas cultivadas com 50% de meio de cultura (em relação ao controle), com adição de 50% da quantidade total de plástico. O plástico foi introduzido no cultivo particulado, e uma metade de pratos (Figura 03);

- Duas repetições (caixas translúcidas) com 100% de plástico, onde o plástico foi fragmentado em pedaços (particulado), e dois pratos inteiros foram introduzidos nas caixas de cultivo.

- Experimento comparativo

Paralelamente, duas caixas escuras foram utilizadas para efeito comparativo, comparando com o tratamento (T3), visando apurar a mortalidade e se a velocidade e consumo de plástico aumenta, uma vez que as larvas preferem ambientes escuros para se desenvolver.



Figura 01. Tipo de caixa organizadora empregada no cultivo de larvas de tenébrios.

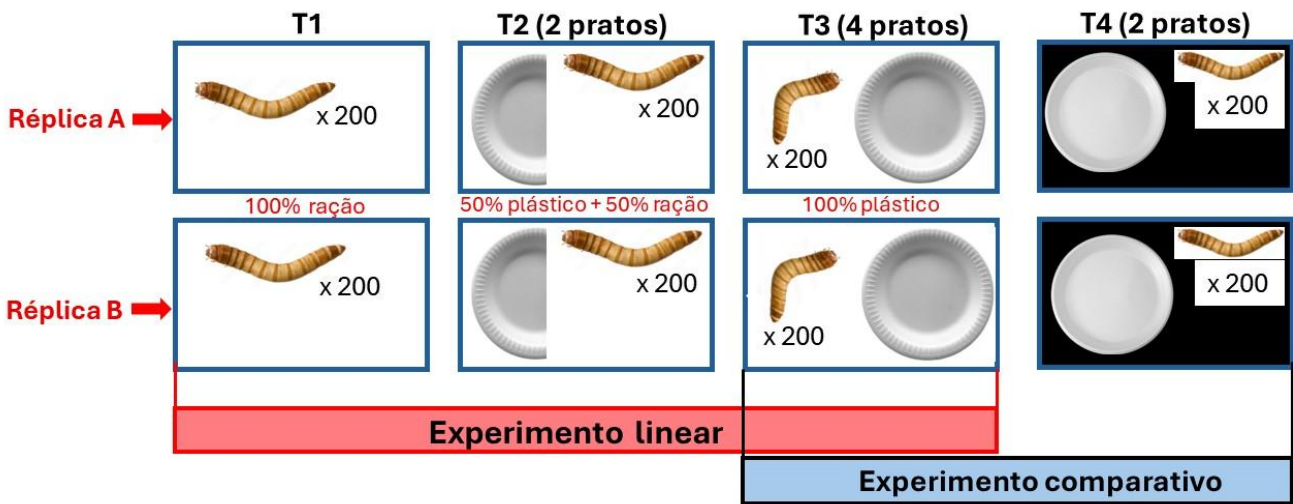


Figura 02. Representação esquemática do desenho experimental.



Figura 03. Interior de caixa de cultivo (50% meio de cultivo + 50% plástico) antes da introdução do meio de cultivo, mostrando a forma como o plástico foi particulado.

. Tenébrios

Como citado acima, cada caixa foi povoada com 200 larvas de tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*), que é uma espécie maior que o *Tenebrio molitor*, e conhecida como super verme. Cerca de 10% dos tenébrios foram medidos inicialmente, e o comprimento médio foi de 5,15 cm. Já o peso médio de lotes de 200 espécimes ficou em 59,38 gramas (variando entre 56,25 e 62,5 g), como mostrado na Figura 04.

Cada caixa foi abastecida com batatas em fatias, que serviram como fonte de água para os tenébrios (Figura 05). Em cultivos comerciais e amadores, a batata é servida para ser roída pelos tenébrios, disponibilizando líquido para os espécimes. As mesmas, eram trocadas a cada 3 ou 4 dias, de acordo com consumo ou decomposição. O peso das batatas variou de 219 a 249 gramas, com peso médio de 234 gramas (Figura 05).



Figura 04. Momento da pesagem de lotes de 160 espécimes de tenébrions.



Figura 05. Pesagem de batata (esquerda), e batata em fatias na caixa de cultivo (direita), sendo utilizada pelos tenébrions como fonte de umidade.

RESULTADOS

Após 4 semanas de experimento, o cultivo linear apresentou resultados que apontam para um consumo maior de plástico em relação ao cultivo controle. Também, foi possível observar que entre as quatro semanas de experimento, todas as larvas sobreviventes apresentaram total mobilidade e integridade corporal. Na primeira semana, foi observada muita umidade na réplica A do tratamento 3 (T3), em que uma fresta de sol pode ter entrado no laboratório pela janela, aquecendo o cultivo, obrigando o reposicionamento do cultivo na sombra.

Em relação a mortalidade, no experimento com 100 de plástico este parâmetro foi maior do que no experimento controle (100% de ração), o que de certa forma era esperado (Tabela 1 - Figura 06). Entre o controle e o tratamento 3 (T3), o menor índice de sobrevivência se deu na segunda réplica, com 78%, sendo 156 larvas sobreviventes. Não houve mortalidade no tratamento 2 (T2), onde havia 50% de plástico, e 50% de ração).

No experimento comparativo, o tratamento 4 (T4), durante a segunda semana de cultivo, uma caixa com larvas foi acometida por larvas de outros tipos de insetos, que predaram as larvas de tenébrios, representando mortalidade de 100% nesta réplica (réplica A) do respectivo tratamento (Tabela 01 - Figura 07). Este tipo de predação pode ocorrer em cultivos regulares de tenébrios.

Quando comparado com o tratamento 3 (T3), o tratamento quatro (T4) mostrou consumo maior de plástico, e mais rápido e voraz, o que se deu possivelmente pelo maior nível de atividade dessas larvas em ambiente de penumbra. Em relação a sobrevivência/mortalidade, e apesar da mortalidade de todas as larvas na réplica A do tratamento 4 (T4), a sobrevivência foi maior do que a respectiva réplica (réplica B) do tratamento 3 (T3), como mostrado na Tabela 01.

	T1	T2	T3	T4
Réplica A	98,5% (197 larvas)	100% (200 larvas)	90% (180 larvas)	0% (todas mortas)
Réplica B	99,5% (199 larvas)	100% (200 larvas)	78% (156 larvas)	89% (178 larvas)

Tabela 01. Sobrevivência de larvas de tenébrio por tratamento e por réplica, em percentual e em número de larvas restantes.

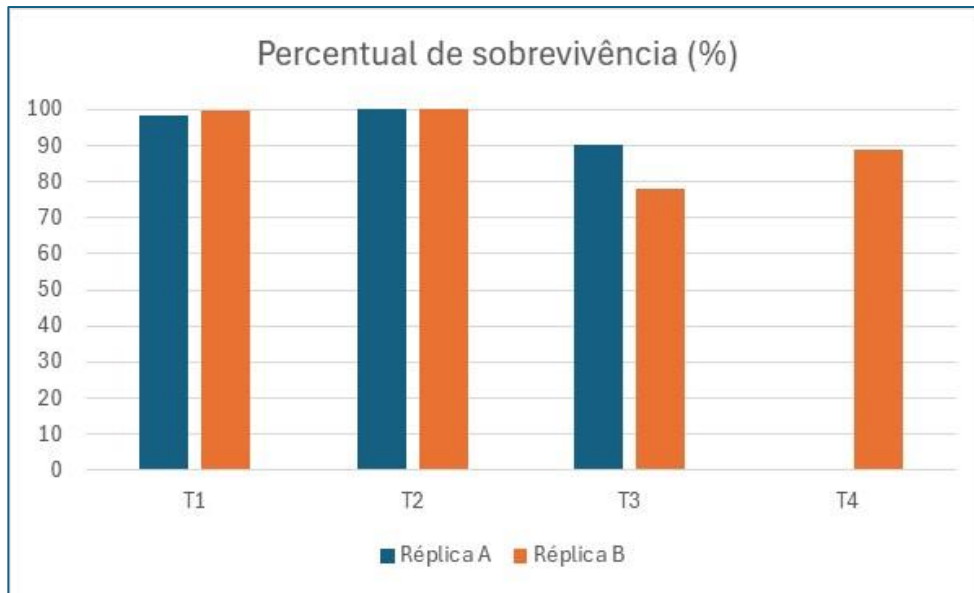


Figura 06. Sobrevivência de larvas de tenébrio por tratamento e por réplica, em percentual.

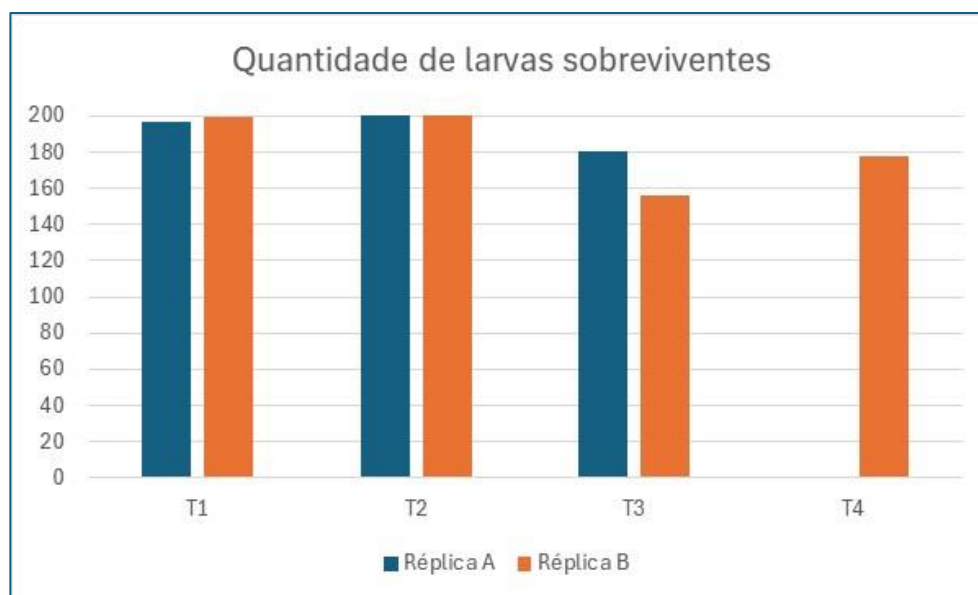


Figura 07. Sobrevivência de larvas de tenébrio por tratamento e por réplica, em quantidade.

Em relação ao comprimento, o crescimento de larvas apresentou um acréscimo em comprimento em cerca de um centímetro, saindo da média de 5,15 cm no início do experimento, para média de 6,16 cm ao término das 4 semanas de experimento, para os quatro tratamentos, sendo bastante linear, e não representando diferenças significativas entre tratamentos, demonstrando que o crescimento independe do tipo de alimento neste experimento. Algo para ser estudado no futuro, será o efeito das batatas usadas nos

tratamentos como fonte de umidade, e se elas representam nutrição suficiente para garantir o crescimento, apesar do fato do plástico não apresentar nutrientes essenciais para o metabolismo animal (proteínas, enzimas, vitaminas, etc.).

A Tabela 02 apresenta dados referentes ao ganho de peso, onde pode-se constatar que a variação entre médias nos tratamentos e réplicas não foi muito expressivo, e dentro do esperado para este tipo de animal. Vale a ressalva, que o tratamento T4 iniciou-se com larvas maiores, e o ganho de peso nesse tratamento continua linear ao longo do tempo, sem interferência do tipo de alimento (100% plástico). Esta linearidade entre ganho de peso deve ser sustentada pelos nutrientes absorvidos através do consumo de batatas, na ausência de ração. Assim, o consumo de plástico se dá pela busca sem seletividade alimentar, e pelo hábito de consumo constante de matéria sólida como busca por alimento.

	Inicial T1, T2, T3	Final T3	Final T4
Réplica A	Média 59,38g	62,25	100% mortalidade
Réplica B	Média 59,38g	61,125	61,5

Tabela 02. Ganho de peso (em gramas) ao longo das 4 semanas de experimento.

Apesar do fato do crescimento linear entre todas as réplicas/tratamentos, e o ganho de peso igualmente linear, o que se destaca no experimento é o consumo e a redução no volume do plástico ofertado.

Logo na primeira semana de experimento, o consumo e a redução de plástico já eram fisicamente visíveis, tanto em pratos inteiros quanto em plástico em pedaços. O plástico em pedaços começou a ser consumido tanto pelas bordas (Figura 08), quanto pelo interior (Figura 09), transpassando de um lado a outro. Na segunda semana já havia uma taxa alimentar mais voraz sobre o plástico em pedaços, como mostrado na comparação da Figura 09, entre a primeira e segunda semana na réplica A do tratamento 3 (T3) – para a realização da fotografia nesta figura, as amostras de pedaços de plástico da primeira semana foram separadas para fins comparativos, e após a tomada da foto foram reintroduzidos na caixa de cultivo de origem.

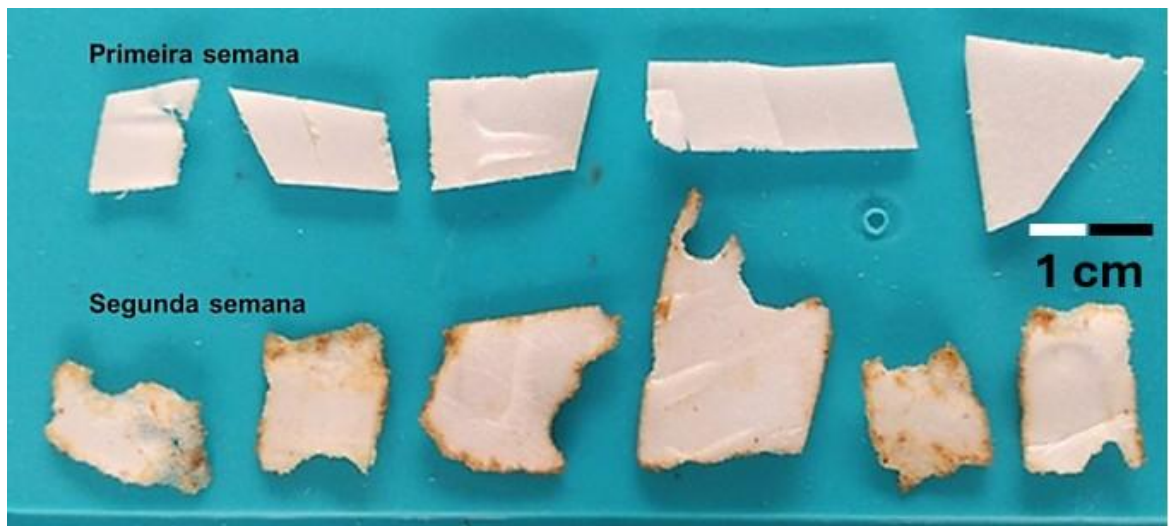


Figura 08. comparação entre pedaços de plástico entre a primeira e segunda semana de experimento, mostrando pedaços que foram consumidos a partir das bordas.

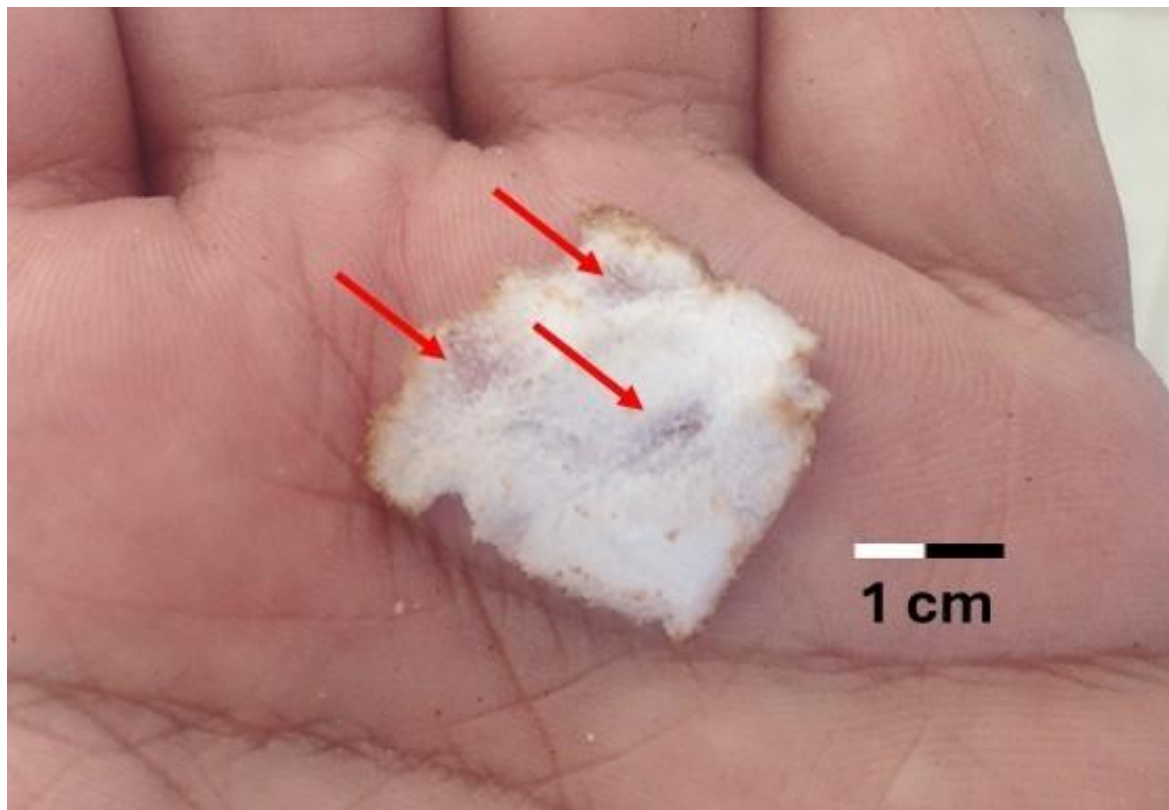


Figura 09. Pedaco de plástico mostrando o consumo transpassando o plástico (setas), do lado de dentro para fora (foto feita na segunda semana de experimento - T2, réplica 1).

Na terceira semana, o plástico em pedaços estava bastante roído e perfurado, demonstrando a voracidade e a falta de seletividade alimentar das larvas (Figura 10). Nesta fase, o plástico em contato com as fezes dessas larvas ficou marcado (sujo).

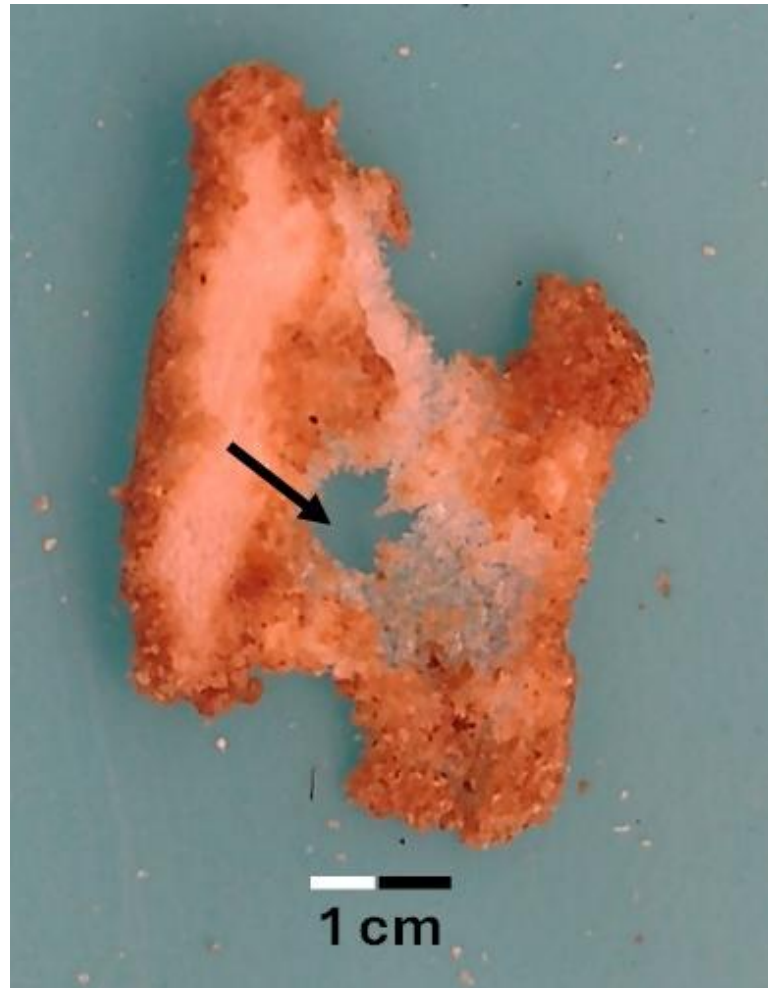


Figura 09. Pedaco de plástico mostrando perfuração e pigmentação por contato com as fezes das larvas (T3, réplica 1).

Com relação aosmonito, nas caixas translúcidas (T2 e T3), o consumo começou a partir das bordas, e apenas durante a terceira semana as larvas começaram a transpassar por furos (Figura 11). Nas caixas escuras, o consumo foi mais voraz, tanto pelas bordas, como transpassados por furos no interior dos pratos logo na primeira semana. Já no terceiro dia foi registrada a tendência a perfuração de pratos nas caixas escuras, muito antecipadamente em relação a T2 e T3 (Figura 12).

A Figura 13 mostra uma comparação entre imagens feitas no primeiro e terceiro dia de experimento em caixa escura. Nota-se ainda uma baixa concentração de fezes, e bordas muito roídas, no terceiro dia.

Uma explicação para este fato da preservação dos pratos em relação a furos até a terceira semana nas caixas translúcidas, pode se dar pela preferência das larvas por ambientes de pouca luz ou penumbra, e assim mantiveram esses pratos sem furos porque

os utilizaram como abrigo, mantendo-se durante o dia embaixo deles, fato que foi visualizado dia a dia durante o manejo do experimento, onde as larvas se concentravam sob a proteção e abrigo do interior dos pratos (os pratos foram colocados no experimento virados para baixo, formando um espaço utilizável pelas larvas, composto pela profundidade dos pratos).

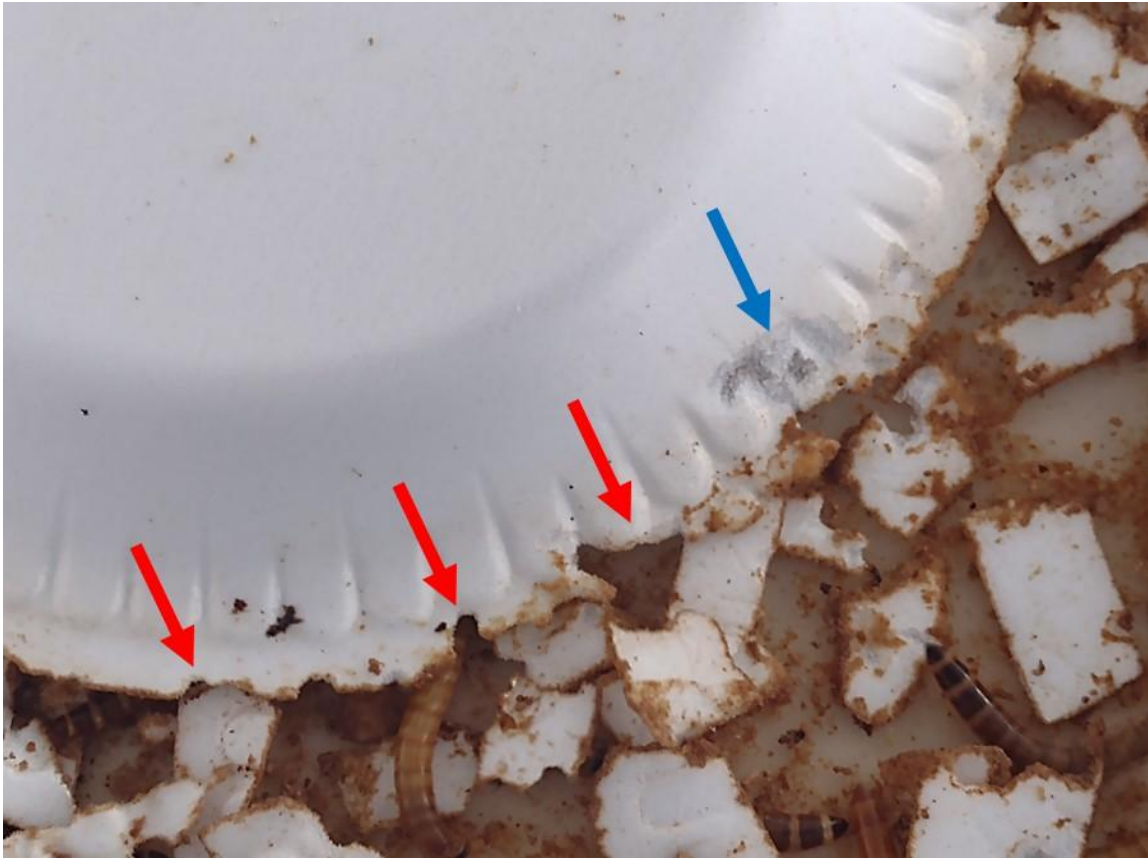


Figura 10. Consumo de plástico na segunda semana de experimento (T3- réplica 2) - setas vermelhas mostram o consumo de plástico nas bordas, e a seta azul furo transpassado.

Os pedaços de batatas foram trocados a cada 3 dias, e aparentavam ressecamento e perfurações, além de erosão superficial (Figura 14). De acordo com YIN PAI (2020), apesar das larvas de *Tenebrio molitor* exigirem pouca experiência do produtor e não requisitarem grandes cuidados, ainda assim é necessário o cumprimento de certas medidas para que haja maior eficiência de degradação de EPS pelas larvas: é fundamental haver o controle de umidade e temperatura dentro dos reservatórios que estas estão presentes.

Em relação ao peso dos pratos, e seu consumo pelas larvas, o experimento iniciou-se com o peso médio de 3,9 gramas, variando entre 3,7 gramas e 4,1 gramas. Foram pesados

10 pratos novos. A Tabela 3 apresenta os valores iniciais e finais de pesos dos pratos, em gramas, após o consumo pelas larvas durante 4 semanas (exceto na réplica 1 do tratamento 4 – T4, que durou apenas 2 semanas).



Figura 11. Imagem do interior de prato no terceiro dia de consumo, na caixa escura, T4 - réplica 2, mostrando a forte tendência à perfuração dos pratos.



Figura 12. Comparação entre o consumo de plástico (T4 - réplica 2), no primeiro dia (acima), e no terceiro dia (abaixo).

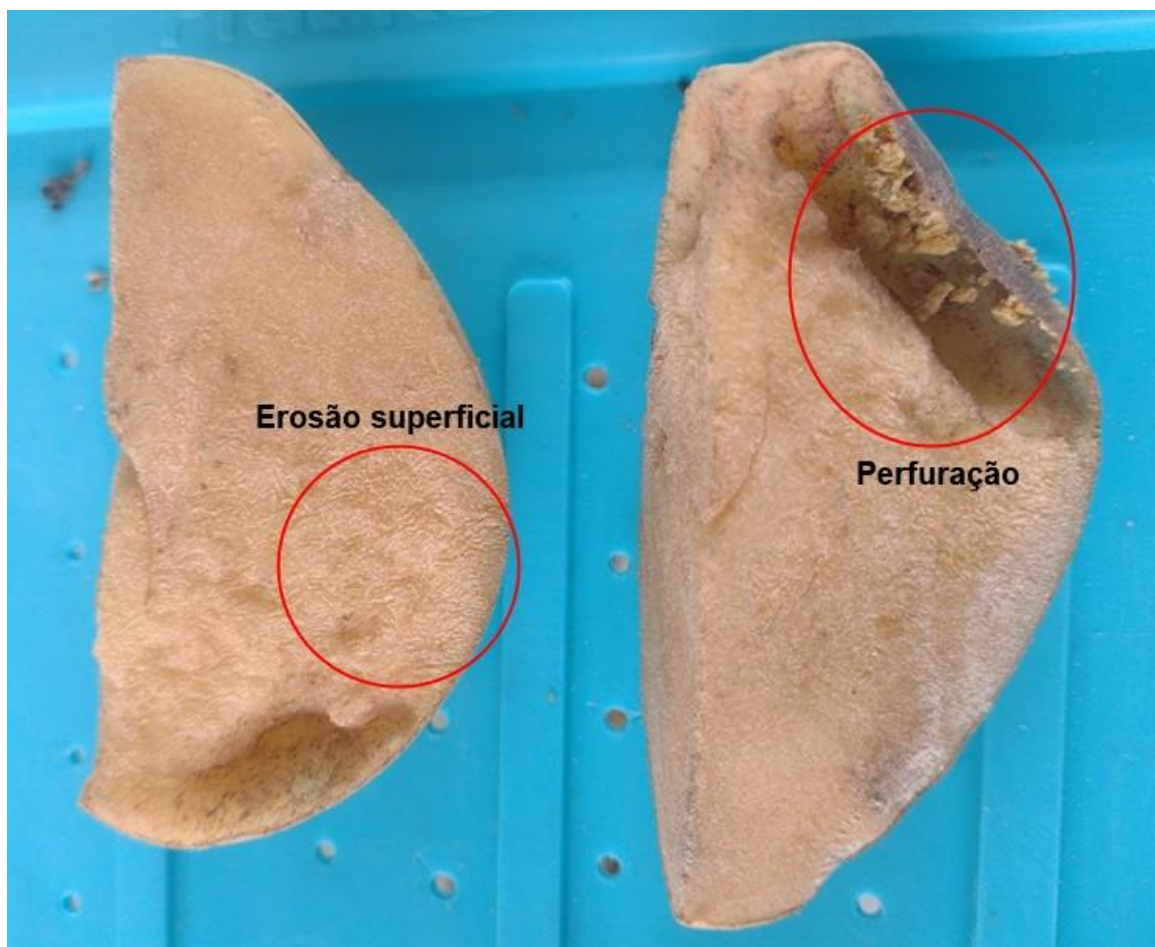


Figura 13. Pedacos de batata com erosão superficial e perfuração.

O valor total de plástico consumido pelas larvas, em gramas, encontra-se descrito na Tabela 4, onde, no tratamento 4 (T4), percebe-se que em 4 semanas o peso de plástico ingerido foi de 5 gramas de 7,8 gramas iniciais (valor de consumo mais alto), correspondendo a uma média de 1,25 gramas por semana (Tabela 5). Em comparação, o tratamento T3 obteve uma média semanal de consumo de 1 e 0,87 grama por semana. Assim, os valores médios semanais de consumo apontam para um consumo mais rápido no escuro (T4), com os pratos inteiros (plástico não particulado), e mais lento com plástico e alimento (ração) - T2.

Do ponto de vista visual, percebe-se que no experimento em caixas translúcidas (T4), o consumo começou pelas bordas dos pratos, e dos pedaços de pratos, e depois que houve a erosão no plástico com subsequente perfuração deles (porém com poucos furos). Já no tratamento no escuro, os pratos foram perfurados de forma voraz (Figura 15).

	Inicial T1 (sem plástico)	T2 (2 pratos)	T3 (4 pratos)	T4 - escuro (2 pratos)
Réplica A - inicial	controle	7,8	15,6	7,8
Réplica B - inicial	controle	7,8	15,6	7,8
Réplica A - final	controle	4,9	7,6	3,9 (em 2 semanas)
Réplica B - final	controle	5,6	8,7	2,8

Tabela 03. Peso do plástico inicial e final no experimento (valores em gramas).

	Inicial T1 (sem plástico)	T2 (2 pratos)	T3 (4 pratos)	T4 - escuro (2 pratos)
Réplica A - final	controle	2,9	8	3,9 (em 2 semanas)
Réplica B - final	controle	2,2	6,9	5

Tabela 04. Peso total do plástico consumido pelas larvas ao longo do experimento (valores em gramas).

	Inicial T1 (sem plástico)	T2 (2 pratos)	T3 (4 pratos)	T4 - escuro (2 pratos)
Réplica A - final	controle	0,73	1	1,95 (em 2 semanas)
Réplica B - final	controle	0,55	0,87	1,25

Tabela 05. Média de peso do plástico consumido pelas larvas por semana (valores em gramas).

- Notas sobre as fezes das larvas de tenébrios

Em análise sob microscopia, fezes coletadas dos cultivos (tratamentos T3 e T4) revelaram que, apesar da presença de microplásticos, não há indícios que partículas visíveis e identificáveis de plástico foram expelidas pelo sistema digestivo. As fezes aparentavam estar secas, com textura rugosa, consolidadas em pellets semicirculares (arredondados), em coloração marrom, e os microplásticos foram identificados fora das pelotas fecais, e não aderidos a elas.

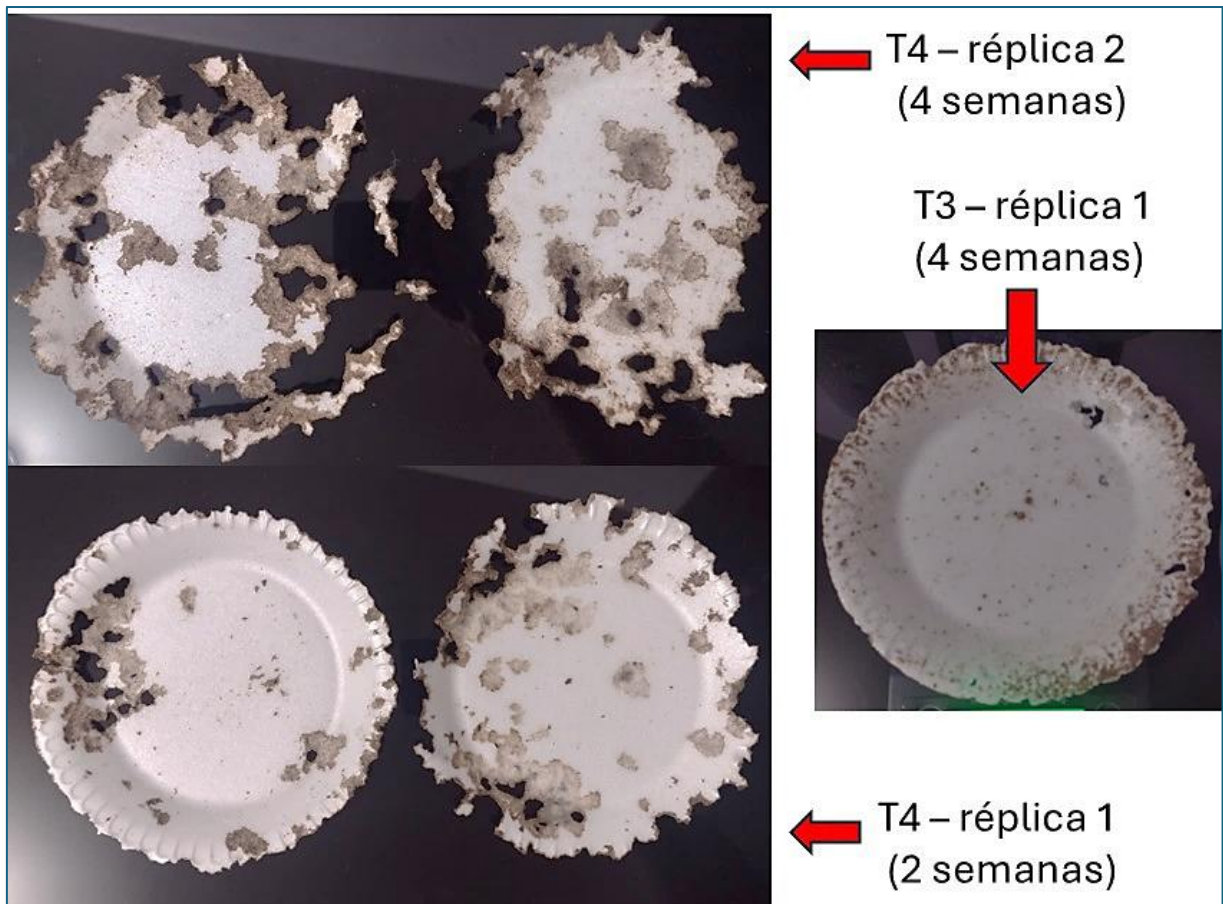


Figura 14. Pratos do tratamento 4, mostrando o nível de consumo, perfurando os pratos e consumindo de forma voraz; Acima réplica 2 (4 semanas), abaixo réplica 1 (duas semanas).

Isto indica que o microplástico encontrado nas amostras de fezes podem ter sido resultado da erosão do plástico e ou mastigar das larvas, quando se alimentando do plástico, sendo este microplástico considerado residual da atividade alimentar, não processado em metabolismo. Outra hipótese, é que o microplástico se desprende de pedaços já fragilizados dos pratos plásticos, ou no manuseio deles.

A Figura 16 mostra pequenos pedaços soltos de microplásticos, soltos na amostra e não aderidos às fezes, não pigmentados no mesmo tom das fezes, reforçando a tese que estes pedaços se soltaram dos pratos, ou foram erodidos nos processos de mastigação ou raspagem das larvas.

Na Figura 17 fica visível o aspecto das fezes dos tenébrios, sem pedaços de plástico aderidos. Esta imagem reforça que as pelotas fecais, íntegras, sem pedaços de plástico comprovam que apesar do consumo de plástico, o metabolismo destas larvas reduziu de forma substancial a poluição por plástico.

No trato digestivo do inseto *T. molitor*, ocorre a decomposição biológica, onde as bactérias conseguem decompor o poliestileno transformando em dióxido de carbono e a outra metade em excremento (Yang et al., 2015).

Recentemente, foi relatado que as larvas do bicho das farinhas (*Tenebrio molitor* Linnaeus 1758; Coleoptera: Tenebrionidae), através de bactérias como *Exiguobacterium* sp. presente no intestino das larvas, biodegradam material de poliestileno expandido (EPS) como isopores (PS), transformando parte do material em dióxido de carbono (CO₂), e a outra metade em lipídios eliminando em forma de excremento decomposto (YANG et al., 2018). Entretanto, não há nenhum estudo que relate o consumo de polietileno de alta densidade (PEAD) como sacolas plásticas e copos descartáveis por larvas da espécie.

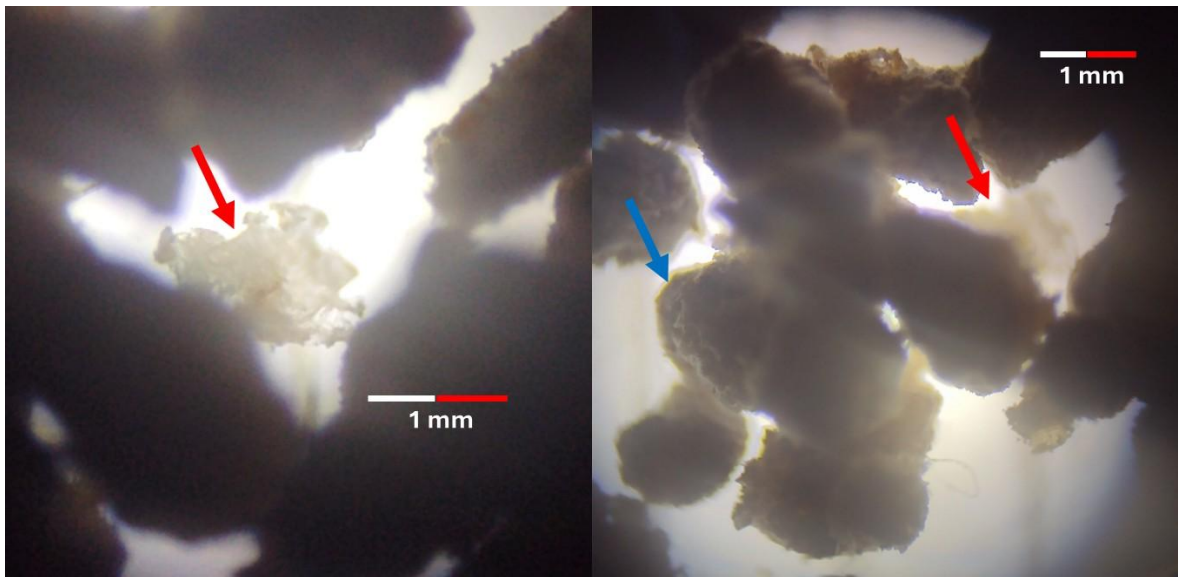


Figura 15. Fezes de tenébrios vistas em microscopia. A esquerda, um pedaço de microplástico sedimentado na placa de vidro, em foco. A direita, um pedaço de microplástico por baixo das fezes (seta vermelha), e o aspecto límpido, seco e semi arredondado das pelotas.

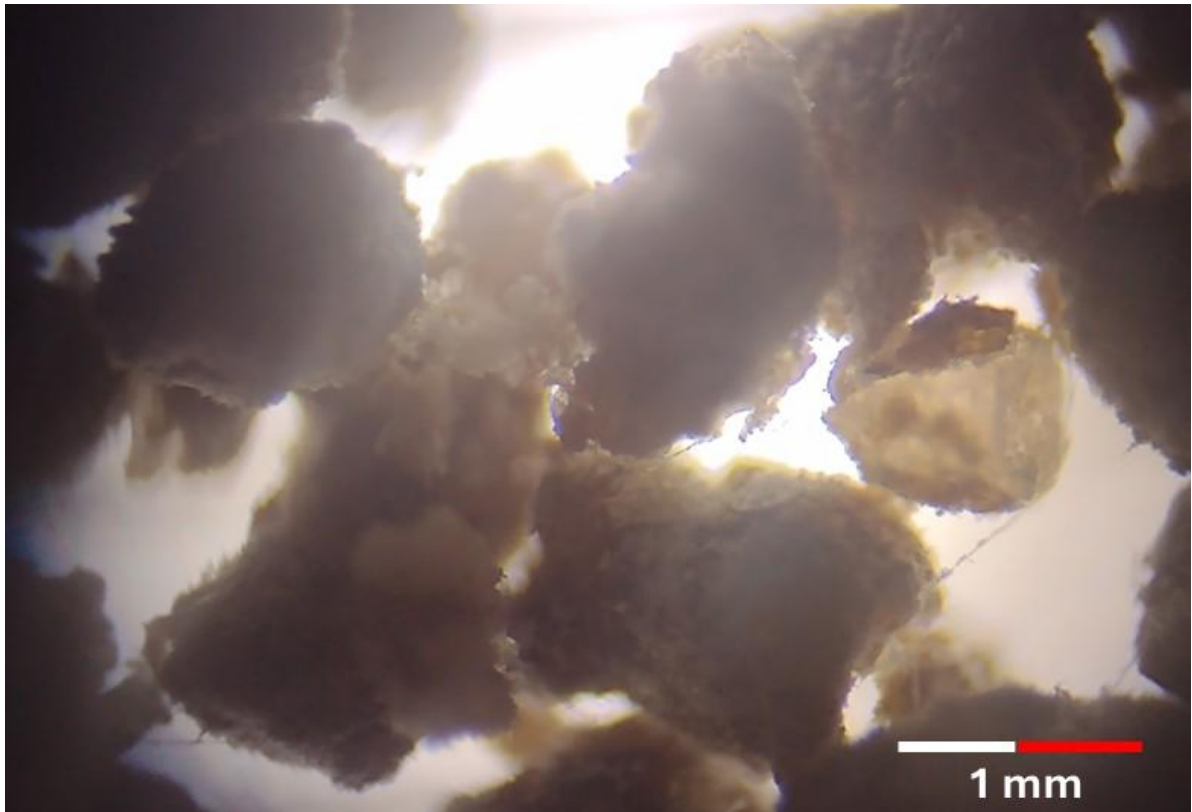


Figura 16. Fezes de tenébrios vistas em microscopia, mostrando o aspecto límpido em relação a pedaços de plástico, com coloração homogênea.

Até o presente momento, os resultados obtidos foram relevantes e abrem caminhos para a continuidade e esclarecimentos dos dados ainda não compreendidos, como estudos que avaliem a interferência das colorações no consumo e degradação por esses insetos, assim como estudos que promova isolamento da bactéria e teste em ambientes naturais para avaliar a eficiência de decomposição.

Com base nos resultados obtidos, a utilização das larvas da espécie de tenébrios gigantes, assim como *T. molitor*, como agentes biodegradadores traria grande diferencial para implementar estratégias sustentáveis. Na literatura, não foram encontrados relatos e experiências para a degradação do tipo de plástico utilizado neste trabalho, para fins de biodegradação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível constatar que as larvas de tenébrios gigantes demonstram capacidade efetiva de consumir o poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor. Esse comportamento reforça o potencial dessas larvas como uma alternativa biológica promissora para a redução de resíduos plásticos no meio ambiente. O cultivo controlado em laboratório mostrou que, em condições adequadas, é viável manter essas larvas em ambientes de biodegradação, oferecendo uma solução de baixo custo e com viés sustentável para o tratamento de resíduos sólidos.

Observou-se que a taxa de consumo do plástico aumenta em ambientes com menor incidência de luz e quando o material é oferecido em pedaços maiores, o que sugere influência direta da luminosidade e da forma física do plástico no comportamento alimentar das larvas. Por outro lado, a ausência de uma fonte nutricional adequada, como a ração, resultou em maior mortalidade, evidenciando a limitação do plástico como único substrato alimentar. A batata, nesse contexto, demonstrou-se útil tanto como fonte de umidade quanto como suporte nutricional auxiliar.

As variações de temperatura durante o experimento, especialmente no mês de junho, revelaram possíveis interferências no metabolismo das larvas, sendo recomendável que estudos futuros sejam realizados em períodos mais estáveis, como o verão. Outro ponto relevante diz respeito à necessidade de manter o cultivo em ambientes fechados, evitando contaminações e interferência de outros insetos.

Além disso, é essencial que futuras pesquisas avancem no entendimento dos efeitos da ingestão de plástico sobre o metabolismo das larvas, especialmente no que se refere à presença de resíduos químicos em seus tecidos. Tal conhecimento é crucial para a definição de estratégias seguras de descarte, a fim de evitar possíveis contaminações indiretas de ecossistemas. Também se destaca a importância de investigar a influência de diferentes tipos de plásticos, com variações de densidade e forma, bem como avaliar se a pulverização do plástico pode tornar sua ingestão ainda mais eficiente.

Por fim, a observação de pelotas fecais inteiras e isentas de fragmentos plásticos indica que o metabolismo das larvas foi capaz de degradar significativamente o material ingerido, fortalecendo a ideia de que esses organismos podem ser aliados valiosos no enfrentamento da poluição plástica.

Seria importante também maiores estudos para determinar a quantidade ideal de larvas por cm³, para que não acabe ocorrendo a sobrecarga nos recipientes.

É necessária também a realização de novos estudos para verificar se as larvas podem se alimentar de embalagens de EPS contaminados por alimentos e gorduras, visto que o armazenamento de alimentos é uma das principais formas de utilização deste polímero. Caso viável, isso reduziria os custos relacionados à higienização do EPS e às etapas de processamento.

Uma maneira de utilizar essa metodologia em fazendas do setor agropecuário, seria dar às larvas do *Zophobas atratus* restos de alimentos ou bioprodutos agrícolas para consumir junto com o poliestireno. Esta poderia ser uma forma de melhorar a saúde das larvas e de lidar com a grande quantidade de desperdício de alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE. *O lixo em nossos mares*. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2014/em-analise/o-lixo-nos-nossos-mares>. Acesso em: 15 jun. 2025.

BOMBELLI, P.; HOWE, C. J.; BERTOCCHINI, F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, v. 27, n. 8, p. R292–R293, 2017.

BOŹEK, M.; HANUS-LORENZ, B.; RYBAK, J. The studies on waste biodegradation by *Tenebrio molitor*. *E3S Web of Conferences*, v. 17, p. 000- 11, 2017.

CHAGAS, F. H. C.; BERRETTA-HURTADO, A. L.; GOUVÊA, C. A. K. Logística reversa: destinação dos resíduos de poliestireno expandido (Isopor®) pós-consumo de uma indústria catarinense. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION*, 3., 2011, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: [s. n.], 2011. p. 1–11.

COSTA LIMA, A. M. *Insetos do Brasil: coleópteros*. Rio de Janeiro: *Escola Nacional de Agronomia*, v. 7–10, 1952. 1.^a e 2.^a partes.

EDUARDO, L. A. P. *Educação ambiental: o impacto do plástico no meio ambiente*. 2021. Dissertação (Mestrado em Projetos Educacionais de Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2021.

FISCHER, L. M.; WANTO, M. M.; PAULA, M. C. A. Interações entre *Gnatocerus cornutus* (Linnaeus, 1758) e *Tenebrio molitor* (Fabricius, 1798) (Coleoptera, Tenebrionidae). *Revista Agrarian*, v.6, n.22, p.519-523, 2013.

HEMAIS, C. A. Polímeros e a indústria automobilística. *Polímeros*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 107–114, fev. 2003.

LOU, Y. et al. Bio-degradation of polyethylene and polystyrene by greater wax moth larvae (*Galleria mellonella* L.) and the effect of codiet supplementation on the core gut microbiome. *Environmental Science & Technology*, v. 54, n. 5, p. 2821–2831, 2020. DOI: 10.1021/acs.est.9b07044.

LOU, Y. et al. Response of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) gut microbiome to diet shifts during polystyrene and polyethylene biodegradation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 416, 2021. Art. 126222. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126222.

PEÑA-PASCAGAZA, P. M.; LÓPEZ-RAMÍREZ, N. A.; BALLEEN-SEGURA, M. A. *Tenebrio molitor* and its gut bacteria growth in polystyrene (PS) presence as the sole source carbon. *Journal of the Faculty of Sciences*, Bogotá, v. 25, n. 1, p. 37–53, fev. 2020.

RAMOS-ELORDUY, J.; GONZÁLEZ, E. A.; HERNÁNDEZ, A. R.; PINO, J. M. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology*, v. 95, p. 214–220, 2002.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2010.

ROMEIRO, T. T.; OLIVEIRA, I. D.; CARVALHO, F. E. Insetos como alternativa alimentar: artigo de revisão. *Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, v. 4, p. 1–21, 2015.

SANGALE, M. K., SHAHNAWAZ, M.; ADE, A. B. Potential of fungi isolated from the dumping sites mangrove rhizosphere soil to degrade polythene. *Scientific Reports*, v.9, n.1, 2019.

SHAH, A. A. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology Advances*, Islamabad, v. 26, n. 1, p. 246–265, jan. 2008.

SILVA, C. O.; SANTOS, G. M.; SILVA, L. N. A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 13, n. 13, p. 2683–2689, 2013.

VASCONCELOS, Y. Planeta plástico. *Pesquisa FAPESP*, São Paulo, n. 281, p. 18–24, 2019.

WARD, C. P. Sunlight converts polystyrene to carbon dioxide and dissolved organic carbon. *Environmental Science & Technology Letters*, v. 6, p. 669–674, 2019.

YANG, Y.; ANDREW F, J. C.; YANG, J.; Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental Science & Technology*, v. 49, n. 20, p. 12080–12086, out. 2015.

YANG, S. S.; BRANDON, A. M.; ANDREW F, J. C.; YANG, J.; NING, D.; CAI, S. Y.; WU, W. M. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, v.191, p.979–989, 2018.

YIN PAI, D. H. Investigação da biodegradação de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS. Monografia de Graduação. 2020