



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES DE EPS
POR TENÉBRIOS GIGANTES (*Zophobas atratus*)

Maria Anunciada dos Santos Chaves

Recife-PE

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES DE EPS POR
TENÉBRIOS GIGANTES (*Zophobas atratus*)

Maria Anunciada dos Santos Chaves
(Graduanda)

Prof. Dr. Fernando de Figueiredo Porto Neto
(Orientador)

Recife - PE
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

C512e Chaves, Maria Anunciada dos Santos.

Estudo da degradação de diferentes densidades de EPS por tenébrios gigantes
(*Zophobas atratus*) / Maria Anunciada dos Santos Chaves. – Recife, 2025.
33 f.; il.

Orientador(a): Fernando de Figueiredo Porto Neto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Bacharelado em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Isopor. 2. Polietileno. 3. Resíduos biodegradáveis

4. Sustentabilidade 5. Besouro. I. Porto Neto, Fernando de Figueiredo, orient. II.

Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MARIA ANUNCIADA DOS SANTOS CHAVES

Graduanda

Monografia submetida ao curso de Zootecnia como requisito para obtenção do grau de bacharel em Zootecnia.

Aprovado em 17/12/2025

EXAMINADORES

Prof. Dr. Fernando de Figueiredo Porto Neto
(Orientador)

Prof.(a) Dra. Darclet Teresinha Malerbo de Souza
(UFRPE)

Prof. Dr. André Carlos Silva Pimentel
(SENAR)

Zootecnista Carlos Frederico Silva da Costa
(UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e equilíbrio em cada etapa desta caminhada acadêmica. Expresso também minha profunda gratidão à minha família, pelo apoio constante, pelo incentivo diário e pela compreensão nos momentos de maior desafio, que foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Registro meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Fernando de Figueirêdo Porto Neto, por toda dedicação, paciência, disponibilidade e pelas orientações fundamentais que contribuíram diretamente para a construção e aprimoramento deste trabalho. À Universidade Federal Rural de Pernambuco, agradeço pelos ensinamentos, pela estrutura disponibilizada e por todo suporte que proporcionou meu crescimento pessoal e profissional ao longo da formação. Agradeço ainda aos professores, que compartilharam conhecimento e experiências valiosas, e aos meus amigos, que tornaram essa jornada mais leve, especial e inesquecível. Por fim, deixo minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste TCC. Meu sincero agradecimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspectos das caixas de cultivo usadas neste experimento.

Figura 2 – Representação esquemática do desenho experimental.

Figura 3 – Aspectos da destruição dos copos particulados de EPS pelos tenébrios gigantes (A: caixa 1; B: caixa 2).

Figura 4 – Aspectos da destruição dos copos particulados de EPS (mais densos) pelos tenébrios gigantes (A: pedaços que ficaram maiores - maioria 1; B: pedaços extremamente fragmentados e fragilizados).

Figura 5 - Aspectos da destruição do EPS pelos tenébrios gigantes, produzindo microplásticos (pontos brancos), que se misturam as fezes (pontos marrons)

Figura 6 – Aspectos da perfuração entre faces do EPS em placa (isopor), e a quantidade de pó branco

Figura 7 – Aspectos da erosão/redução de volume da EPS em placa (isopor). A: caixa 1; B: caixa 2

Figura 8 – Aspectos da erosão/redução de volume da EPS em placa (isopor). A esquerda a placa antes da degradação, e a direita após a redução por larvas de tenébrios.

Figura 9 – Aspectos dos resíduos do cultivo de tenébrios: fezes e microplásticos.

Figura 10 – Aspectos da continuação do ciclo de vida das larvas (A: pupas de tenébrios; B: pupas e besouro claro – juvenil; C: besouros de cores claras, juvenis, e escuro, mais velho).

SUMÁRIO

RESUMO.....	05
ABSTRACT.....	06
1. INTRODUÇÃO.....	07
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Geral.....	10
2.2. Específico.....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1. Produção em aquacultura e coisa tal	10
3.2. Carga de nutrientes e coisa e tal	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
5. RESULTADOS.....	15
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

RESUMO

A poluição por resíduos plásticos é uma realidade que assombra a humanidade. Alguns insetos podem consumir este tipo de material, principalmente em seus estágios larvais, como é o caso do grupo dos tenébrios. A biodegradação de plásticos pode ser uma opção promissora para redução destes tipos de resíduos no meio ambiente. Na literatura científica, foi demonstrada a capacidade de diversos organismos para consumir plásticos, como as larvas de tenébrios. Assim, o presente experimento visa investigar o consumo de EPS (isopor) em forma de placas, e EPS em forma de copos descartáveis, menos densos, por larvas de tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*). Os resultados apontam para maior facilidade de biorredução para EPS (isopor) em placas, e com resultados menos promissores para EPS mais denso. A biorredução resultou em fezes sem pedaços de plástico, mostrando a eficiência deste tipo de larva. As placas de EPS (isopor) foram degradadas de forma satisfatória, mas este estudo aponta para a necessidade de maior densidade de larvas para a biorredução mais rápida de EPS em forma mais densa.

Palavras-chave: isopor; poliestireno expandido; sustentabilidade;
Zophobas atratus

ABSTRACT

Plastic waste pollution is a reality that plagues humanity. Some insects can consume this type of material, mainly in their larval stages, as is the case with mealworms. The biodegradation of plastics can be a promising option for reducing this type of waste in the environment. Recently, the ability of various organisms to consume plastics, such as mealworm larvae, has been demonstrated. Thus, this experiment aims to investigate the consumption of EPS (styrofoam) in the form of sheets, and EPS in the form of less dense disposable cups, by giant mealworm larvae (*Zophobas atratus*). The results indicate greater ease of bio-reduction for EPS (styrofoam) sheets, and less promising results for denser EPS. Bio-reduction resulted in feces without plastic pieces, showing the efficiency of this type of larva. The EPS (styrofoam) sheets were satisfactorily degraded, but this study points to the need for a higher density of larvae for faster bio-reduction of denser EPS.

Keywords: Expanded polystyrene ;Sustainability; Styrofoam; *Zophobas atratus*

1. INTRODUÇÃO

A poluição provocada por resíduos sólidos é uma das maiores preocupações globais, em especial em relação aos diferentes tipos de plásticos. 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 (EDUARDO, 2021).

O petróleo sofre um processo industrial de destilação fracionada, onde é aquecido em uma coluna de destilação, o que resulta em frações de diversos subprodutos (VASCONCELOS, 2019). Posteriormente, acontece o craqueamento térmico, do qual são formados os subprodutos usados para a produção do plástico (EDUARDO, 2021).

Observaram que estes materiais estão presentes em diversos ecossistemas, persistindo por centenas de anos, devido à resistência desses materiais, representado por sua baixa taxa de degradação natural (HEMAIS, 2003; JAMBECK et al., 2015; KURNIAWAN et al., 2021).

Estima-se que cerca de 80% do lixo presente nos ecossistemas aquáticos seja composto por plásticos, resultado do consumo excessivo e da falta de políticas eficazes de gestão e reciclagem (QUIRINO; SANTOS, 2020). A fragmentação desses resíduos gera microplásticos, que entram na cadeia trófica e, conseqüentemente, alcançam a cadeia alimentar humana, representando riscos ambientais à biodiversidade e à saúde pública (SILVA et al., 2020).

Assim, um dos maiores desafios da humanidade é a destinação final dos resíduos sólidos, especialmente plásticos e seus derivados, uma vez que eles apresentam alta durabilidade, devido aos seus componentes químicos (SILVA et al., 2020). Além disso, são responsáveis pela poluição do ar quando ocorrem queimadas, e contaminam o solo e os rios (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

Os plásticos sintéticos mais comuns, e presentes em diversas atividades humanas, são o poliestireno expandido (EPS), o polietileno (PE) e o polipropileno (PP), que são amplamente utilizados em embalagens e produtos descartáveis (JAMBECK et al., 2015).

Apesar de suas vantagens econômicas e funcionais, apresentam uma decomposição extremamente lenta, podendo levar séculos para se degradarem completamente (COSTA; OLIVEIRA, 2022).

Desta forma, torna-se urgente desenvolver estratégias sustentáveis para a redução e o manejo destes tipos de resíduos, considerados não biodegradáveis. Pesquisas prévias têm explorado soluções biotecnológicas que utilizam microrganismos e insetos como agentes biodegradadores, capazes de acelerar processos de decomposição e transformar resíduos complexos em compostos menos nocivos.

A biodegradação de plásticos pode ser uma opção promissora para redução destes tipos de resíduos no meio ambiente. Em estudos anteriores, 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).

Nesse contexto, as larvas de *Zophobas atratus*, conhecidas como tenébrios gigantes, têm se destacado por sua capacidade de se alimentar de materiais orgânicos e plásticos, como o poliestireno expandido (EPS) e o etileno acetato de vinila (EVA), promovendo alterações químicas que indicam biodegradação (BOZEK et al., 2017; ABDULHAY, 2020; BULAK, 2021;). Essa habilidade está relacionada à ação de enzimas digestivas e de microrganismos intestinais que quebram as cadeias poliméricas em compostos mais simples.

Além disso, as larvas apresentam alta taxa de sobrevivência e podem completar seu ciclo de vida mesmo quando alimentadas com resíduos sintéticos, ampliando sua viabilidade em estudos experimentais (PEREIRA, 2023). Essa característica possibilita o aproveitamento da biomassa gerada durante os experimentos de biodegradação, transformando um agente ambiental em um recurso econômico e sustentável (LOU et al., 2021).

Dessa forma, o estudo do comportamento alimentar dessas larvas frente a resíduos como EPS, em suas diversas densidades ou formas como se apresentam no mercado consumidor, contribui para o desenvolvimento de soluções biotecnológicas voltadas à gestão de resíduos e à redução da poluição ambiental, agregando valor ecológico e socioeconômico (PEREIRA, 2023).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar e avaliar o sistema produção de tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*) como agente biorredutor de diferentes densidades de EPS, encontrados comercialmente no mercado.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a taxa de redução de EPSs, mais especificamente isopor e copos.
- Determinar se há seletividade em relação a esses produtos.
- Determinar se esses animais conseguem fechar o ciclo de vida (produção de besouros), mesmo após expostos a esses agentes poluentes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Poliestireno Expandido (EPS)

O poliestireno expandido (EPS) destaca-se como um dos polímeros mais utilizados mundialmente em embalagens, isolamento térmico e aplicações industriais. Sua leveza, capacidade de amortecimento e relativa resistência mecânica fazem dele um material economicamente vantajoso para diversos setores produtivos. No entanto, essas mesmas características funcionais tornam o EPS um dos plásticos mais críticos para o meio ambiente, já que sua estrutura química é altamente resistente à degradação natural. De acordo com Tahroudi et al. (2025), a composição do EPS impede processos eficientes de decomposição por agentes ambientais comuns, resultando em sua permanência no solo e na água por décadas.

O acúmulo de EPS no ambiente está diretamente relacionado à sua fragmentação em microplásticos, partículas menores que são facilmente transportadas pelo vento e pela água. Essa fragmentação representa um problema crescente, pois microplásticos têm maior capacidade de dispersão e podem ser ingeridos por organismos aquáticos e terrestres, afetando a fauna e a flora. Xu et al. (2023) destacam que o EPS possui uma das menores taxas de reciclagem do mundo, principalmente devido ao seu grande volume e baixo peso, características que elevam os custos logísticos de coleta e transporte.

Além de problemas ambientais, o EPS também apresenta desafios tecnológicos relacionados à sua reciclagem. No Brasil, o material é reciclado em percentuais muito baixos, em grande parte devido à ausência de infraestrutura adequada para recebê-lo e processá-lo. Mumbach, Bolzan e Machado (2020) argumentam que, embora existam técnicas promissoras de dissolução do EPS em solventes naturais, o investimento necessário ainda é alto, o que dificulta a adoção dessas alternativas em larga escala.

Nesse contexto, pesquisas globais buscaram alternativas, como processos de reciclagem química e térmica. Myint et al. (2010) demonstraram que o EPS triturado pode ser reaproveitado na formulação de tintas, reduzindo a demanda por

matérias-primas virgens. Outras abordagens utilizam o material reprocessado em novos produtos, como painéis estruturais leves, conforme apontado por Assaad, Mikhael e Hanna (2022). Tais alternativas mostram potencial, mas dependem de políticas públicas, incentivos fiscais e conscientização social para serem incorporadas efetivamente no ciclo de produção.

Um tema que ganhou atenção ao longo do tempo é a possível biodegradação do EPS por insetos, principalmente por larvas de coleópteros. Estudos de Tahroudi et al. (2026) mostraram que larvas de *Tenebrio molitor* fragmentam o material, mas sem alterar sua estrutura química. Gutierrez-Velasquez, Monteiro e Colorado (2021) identificaram alterações metabólicas, mas concluíram que a degradação é parcial e insuficiente para considerar o processo como solução sustentável. Portanto, tais iniciativas ainda se encontram em fase experimental e não substituem métodos convencionais de reciclagem.

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 anteriores mostraram que o poliestireno (PS) pode ser degradado em compostos de menor peso molecular pelo bicho da farinha *T. 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).

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 anteriores têm demonstrado a capacidade do *Tenébrio molitor* e *Zophobas atratus* de biodegradar o PS, bem como a possibilidade de utilizar a farinha dessas espécies para alimentar peixes.

Dessa forma, observa-se que o gerenciamento do EPS exige soluções combinadas envolvendo reciclagem mecânica, química e políticas públicas consistentes, evidenciando que sua complexidade demanda abordagens multidisciplinares.

3.2 Tenébrios (*Zophobas atratus*)

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. Em estudos já conduzidos mostraram que o poliestireno (PS) pode ser degradado em compostos de menor peso molecular pelo bicho da farinha *T. molitor*, (YANG et al., 2015), e que o polietileno (PE) pode ser degradado pelo bicho de cera grande, *P. interpunctella* (BOMBELLI et al., 2017) e pelo bicho de cera pequeno, *A. grisella*, (KUNDUNGAL et al., 2019).

Larvas de coleópteros, como *T. molitor* e *Z. atratus*, atuam como agentes de biorredução de resíduos plásticos e têm despertado grande interesse científico. Lopes et al. (2020) destacam que essas larvas conseguem ingerir poliestireno expandido (EPS), quebrando sua estrutura física e reduzindo o tamanho dos fragmentos. Essa capacidade gerou expectativas sobre possíveis aplicações biotecnológicas.

Ao longo do tempo, *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-ELORDU, 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.

Estudos mais aprofundados mostram limitações importantes. Tahroudi et al. (2025) demonstraram que, apesar da fragmentação, não ocorre degradação química significativa do EPS, indicando que o processo não resolve o problema ambiental. Tsochatzis et al. (2023) afirmam que dietas compostas exclusivamente por EPS prejudicam a microbiota intestinal das larvas e comprometem seu desenvolvimento biológico, o que limita sua viabilidade para processos industriais.

Além disso, Gutierrez-Velasquez, Monteiro e Colorado (2021) relataram modificações metabólicas nas larvas durante a ingestão do EPS, mas observaram que a degradação resultante é parcial. Em outras palavras, embora *Z. atratus* apresenta potencial como ferramenta complementar na redução volumétrica de

resíduos plásticos, essa estratégia não substitui processos de reciclagem consolidados.

Larvas de *Z. 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).

3.3 Sustentabilidade e Biorredução

A sustentabilidade no manejo de resíduos plásticos requer estratégias integradas que combinem tecnologia, legislação e conscientização social. Segundo Carvalho e Batista Neto (2016), o aumento na produção de plásticos contribui para a intensificação da poluição e exige ações coordenadas para mitigar seus impactos. Monteiro et al. (2020) apontam que a economia circular surge como um modelo eficiente, no qual materiais são reutilizados e reinseridos na cadeia produtiva, reduzindo a demanda por recursos naturais.

Além disso, Xu et al. (2024) afirmam que técnicas avançadas de reciclagem, como reciclagem química, pirólise e processos de despolimerização, representam alternativas promissoras para o tratamento de plásticos complexos. No entanto, essas tecnologias ainda carecem de investimentos públicos e privados para se tornarem amplamente acessíveis. Mumbach, Bolzan e Machado (2020) reforçam que a biorredução por insetos e microrganismos, embora experimental, oferece caminhos complementares para minimizar o impacto dos resíduos plásticos.

Programas de educação ambiental contribuem para reduzir o descarte inadequado e fortalecer práticas sustentáveis de consumo. A gestão pública, por sua vez, desempenha papel essencial na formulação de políticas que estimulem a redução de resíduos, a responsabilidade compartilhada e o desenvolvimento tecnológico.

Assim, a sustentabilidade aplicada aos resíduos plásticos depende da articulação entre ciência, políticas públicas e participação social, sendo fundamental o desenvolvimento de práticas integradas capazes de reduzir impactos ambientais e promover modelos de consumo mais responsáveis.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquacultura e Sustentabilidade do Departamento de Zootecnia da UFRPE, entre os dias 07 de outubro e 15 de novembro de 2025.

Para tal, seis caixas organizadoras semitransparentes (cinza), com 10 litros de volume cada, foram empregadas. Cada caixa tinha suas tampas perfuradas, para manutenção do equilíbrio da temperatura com o meio externo, e trocas gasosas com a atmosfera da sala de cultivos (Figura 01 e 02).

Em cada caixa, 100 larvas de tenébrios foram introduzidas, sendo:

- Duas caixas (repetições) consideradas “**Controle**” (alimentação normal - ração);
- Duas caixas (repetições) com copos de EPS, com 2 milímetros de espessura, comumente encontrados nos mercados, em pedaços/particulados (**Tratamento 1**);
- Duas caixas (repetições) com um pedaço de 10 cm² x 1 cm de EPS em placa (comumente chamado de isopor), e meio copo de EPS (**Tratamento 2**) – assim é possível também estimar se há seletividade entre esses dois materiais.

Como fonte de umidade foram utilizadas fatias de batatas, que eram trocadas a cada dois dias, ou quando havia pequenas moscas sobre as batatas. Nenhuma outra forma de adição de umidade foi utilizada (por borrifamento, como visto em outros tipos de cultivos de larvas de tenébrios), e isto visou manter a integridade dos resíduos utilizados, e evitar a formação de lama no fundo das caixas de cultivo, pela mistura das fezes dos tenébrios com a umidade.

Após o período amostral, as larvas foram transferidas para uma caixa preta, não translúcida, e continuaram seu ciclo de vida em cultivo normal, em cama de ração, onde posteriormente se tornaram pupas, e em seguida houve a metamorfose para insetos voadores.

Em seguida foi estimado, após limpeza simples do material (retirada de fezes), o peso final de copos plásticos particulados, a placa de EPS e do meio copo.

Paralelamente, a medição da temperatura interna da sala de cultivo foi tomada, bem como umidade relativa do ar, e temperatura do ponto de orvalho, visando a manutenção de padrões ambientais ótimos para o cultivo das larvas.

As caixas de cultivo não foram expostas ao sol, ou à luz direta de janelas. Este inseto (assim como o *Tenébrio molitor*) possui hábitos preferencialmente noturnos e exige, para sua maior produtividade, ambientes secos e temperaturas em torno de 26 a 32 °C.

Sua dieta normal consiste basicamente em farelo de trigo, excelente fonte de proteína, e por esse motivo também é popularmente conhecida como larva da farinha. Porém, para redução dos custos com alimentação, muitos produtores de inseto utilizam o farelo de milho como cama de alimentação - ração (JUNIOR, FERREIRA, PEDERIVA, 2018).



Figura 1: Aspectos das caixas de cultivo usadas neste experimento.

Caixas experimentais



Figura 2: Representação esquemática do desenho experimental.

5. Resultados e discussão

Como resultado, primeiramente, foi observado um consumo normal de alimento na caixa controle.

Com relação aos copos de EPS em pedaços, o consumo foi semelhante aos resultados encontrados por Santos, (2025), sob condições semelhantes de cultivo. Também, houve uma mortalidade de 34% na caixa 1, e na caixa 2 a mortalidade foi de 14%, o que se encontra em uma faixa considerada tolerável. Esta mortalidade mais alta em uma das caixas pode ter acontecido em função da presença de larvas de moscas, que possivelmente foram atraídas pelas fatias de batatas. No caso das caixas com EPS em placa, a mortalidade foi de 7% (caixa 1) e 8% (caixa 2).

Analisando-se os resultados obtidos de Yang et al. (2018), a sobrevivência das larvas de *Tenébrios molitor*, quando alimentadas somente por EPS, se encontra na faixa de 90%, valor que não difere tanto quando alimentados somente por farelo de trigo. Esse resultado evidencia que estas larvas podem sobreviver e chegar ao estado adulto (besouro) com uma dieta somente de material polimérico, durante 32 dias, como registrado neste experimento.

Foi notado que os copos particulados foram consumidos mais pelas bordas de cada fragmento, e em nenhum dos fragmentos houve perfuração dentre as faces (Figuras 3 e 4).

Também, notou-se que a maioria dos pedaços (cerca de 90%) se mantiveram em tamanhos semelhantes aos do início do experimento, e poucos apresentaram-se ao final do experimento de forma mais “triturada”, ou mais consumidos, indicando que os tenébrios precisam de mais de duas semanas para agir mais intensamente na degradação dos copos em EPS mais densos (Figura 4), ou sendo necessária uma quantidade significativamente maior de larvas no processo.

Do ponto de vista visual, e em relação à coloração, os pedaços de EPS mais densos ficam com coloração mais escura, uma vez que ficaram em contato com as fezes dos tenébrios. As placas de isopor se mantiveram mais limpas ao final do processo.

Os resultados obtidos por Bozek et al. (2017), mostraram que, com uma dieta restrita a EPS, houve sinais de canibalismo entre as larvas, com sumiço parcial ou total de algumas larvas. Estes sinais também podem ser resultado de condições de baixa umidade advindas de sua alimentação. Em nosso experimento não houve sinais de canibalismo.

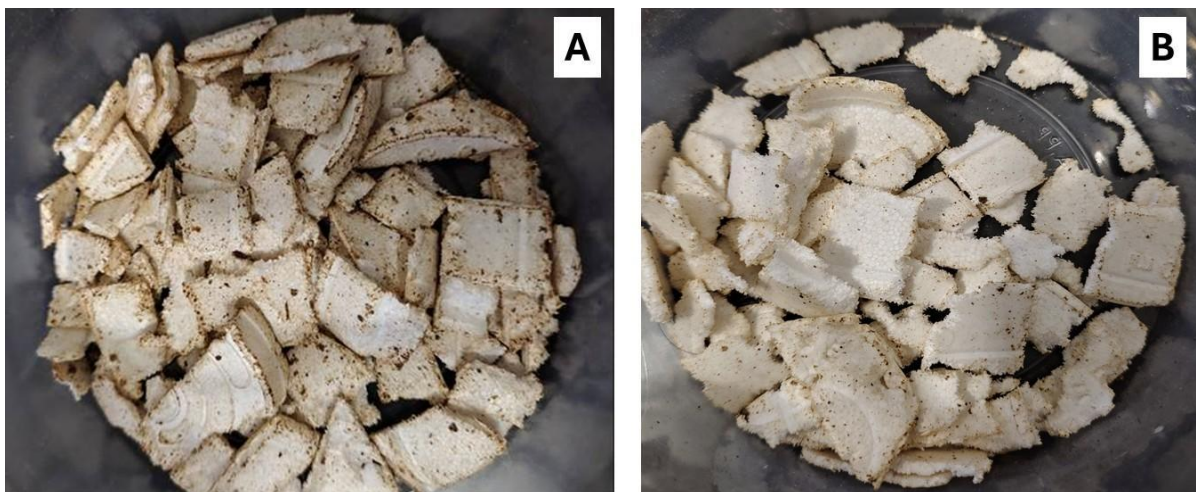


Figura 3: Aspectos da destruição dos copos particulados de EPS pelos tenébrios gigantes (A: caixa 1; B: caixa 2).

Em relação ao EPS em placas de isopor, o ataque das larvas foi intenso. Houve mistura das fezes com o material particulado (Figura 05). Nos primeiros dias deste experimento, a quantidade de resíduos “farelados” (microplásticos) na placa de isopor, menos densa, eram muitos mais substanciais, no fundo da caixa de cultivo, como observado ao fundo da Figura 06.

É possível verificar também pequenos pontos brancos no recipiente, excretas dos insetos e/ou partículas menores de poliestireno expandido devido a trituração do plástico, ponto importante a ser analisado futuramente para verificar possíveis problemas envolvendo microplásticos, conforme mostrado na Figura 05.

O material foi atacado nos primeiros dias de forma superficial, e ainda na primeira semana os tenébrios começaram a perfurar as placas, transpassando-as (Figura 06).

Ao final da segunda semana, a placa de EPS, menos densa, tinha sido bastante atacada e erodida pelas larvas, que fizeram “galerias” dentro dela. A Figura 07 mostra o aspecto final da placa de EPS, completamente degradada, e bastante

reduzida em volume específico. A Figura 08 mostra a comparação entre o produto inicial e o produto degradado.



Figura 5: Aspectos da destruição do EPS pelos tenébrios gigantes, produzindo microplásticos (pontos brancos), que se misturam as fezes (pontos marrons).

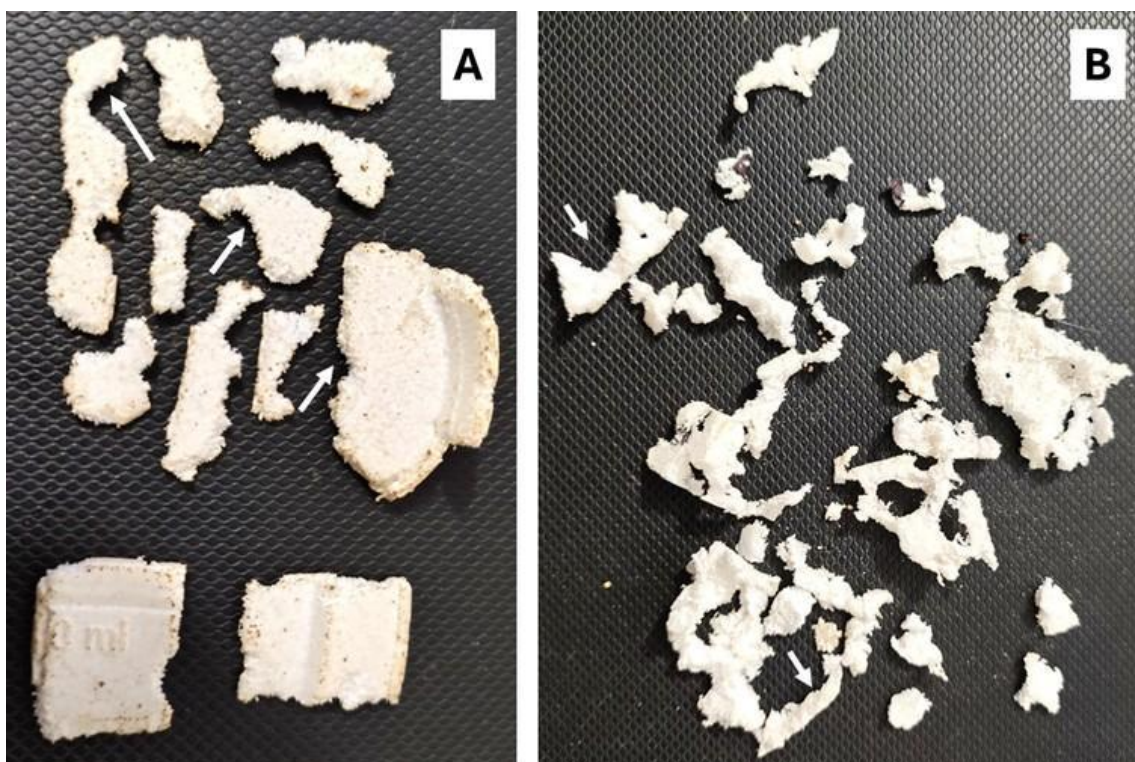


Figura 4: Aspectos da destruição dos copos particulados de EPS (mais densos) pelos tenébrios gigantes (A: pedaços que ficaram maiores - maioria 1; B: pedaços extremamente fragmentados e fragilizados).

Estudos mostram que as larvas do besouro *T. molitor* e dos "supervermes" (*Zophobas atratus*) são capazes de consumir e digerir poliestireno expandido (isopor), de acordo com Pai (2020) e Galileu (2024). A biodegradação ocorre devido a bactérias presentes no intestino das larvas, que possuem enzimas capazes de quebrar as longas cadeias poliméricas do plástico em moléculas menores e menos prejudiciais.

Estudos em desenvolvimentos tecnológicos vêm tentando auxiliar os problemas gerados por estes, e achados anteriores indicam que as larvas do inseto *T. molitor* possuem a capacidade de biodegradar certos plásticos, como poliestireno, Policloreto de Vinila (PVC) e Políácido Láctico (PLA).

De acordo com os estudos analisados, as larvas de *T. molitor* possuem em seus sistemas digestivos bactérias que têm a capacidade de decompor plástico; e assim, as larvas conseguem consumir polímeros como: Poliestireno, Policloreto de Vinila (PVC) e Políácido Láctico (PLA) (; BOZEK, HANUS-LORENZ, RYBAK, 2017;

PENG et al., 2020). Não foram encontrados artigos na literatura científica que evidenciem o potencial de Tenébrios gigantes na biorredução de plásticos.

Outro ponto a ser considerado é o fato dos plásticos serem ou não biodegradados, ou se são excretados pelos insetos em forma de microplásticos. Visto que a maioria dos plásticos utilizados hoje são aditivados com outros produtos, como retardante de chamas, plastificantes etc., como seria a digestão e a excreção dos poliestirenos com aditivos pelos insetos?

Nesta pesquisa, e sob microscopia, as fezes dos tenébrios que consumiram plásticos foram analisadas, e não foram observados microplásticos nas fezes, porém, raspas de EPS microscópicas estão visíveis em microscopia, o que indica que o ato de mastigação, ou o ato de locomoção das patas, ao tentar se aderirem aos copos do experimento, desprendem microplásticos, que se misturam às fezes, fato também registrado por Santos (2025).

Sob microscopia, as fezes dos tenébrios foram verificadas, e por maceramento, não foi possível detectar, visualmente, microplásticos em sua composição. A Figura 09 mostra a diferença na composição da “sujeira” produzida pelos tenébrios, onde as setas azuis apontam para pelotas fecais (pelotas escuras), e as setas vermelhas apontam para microplástico residual do processo (pedaços claros).



Figura 06: Aspectos da perfuração entre faces do EPS em placa (isopor), e a quantidade de pó branco (microplásticos) produzidos.

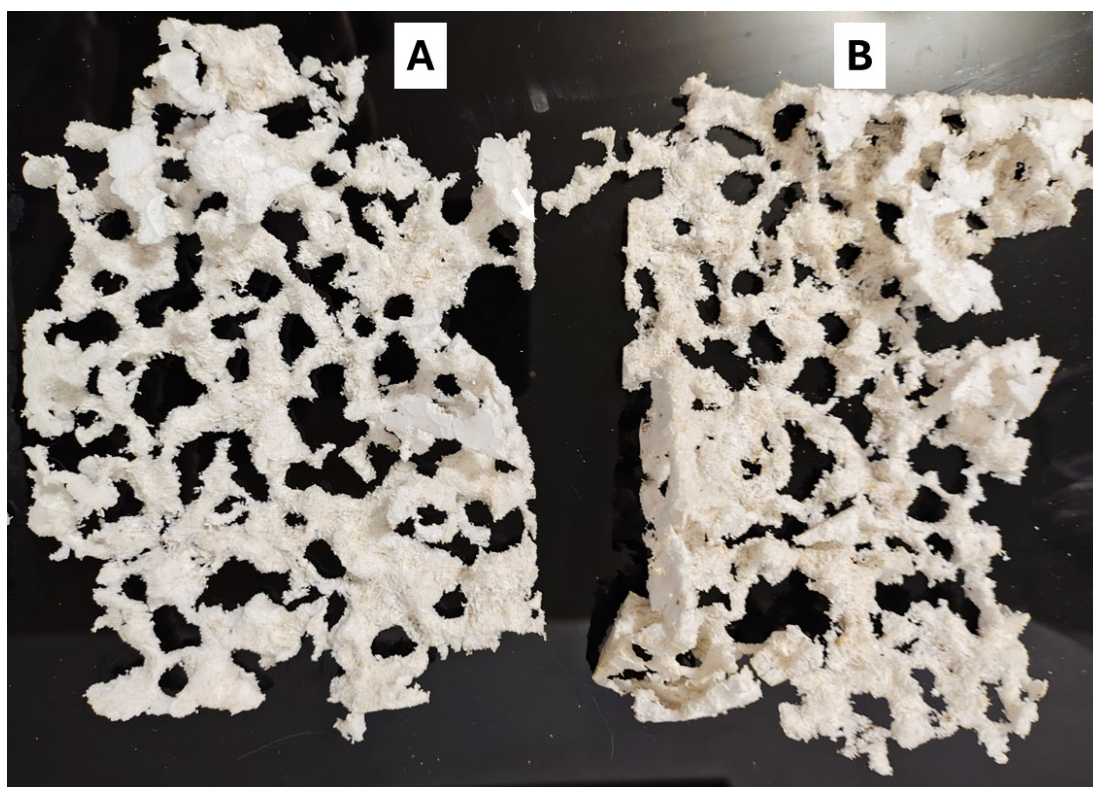


Figura 07: Aspectos da erosão/redução de volume da EPS em placa (isopor). A: caixa 1; B: caixa 2.

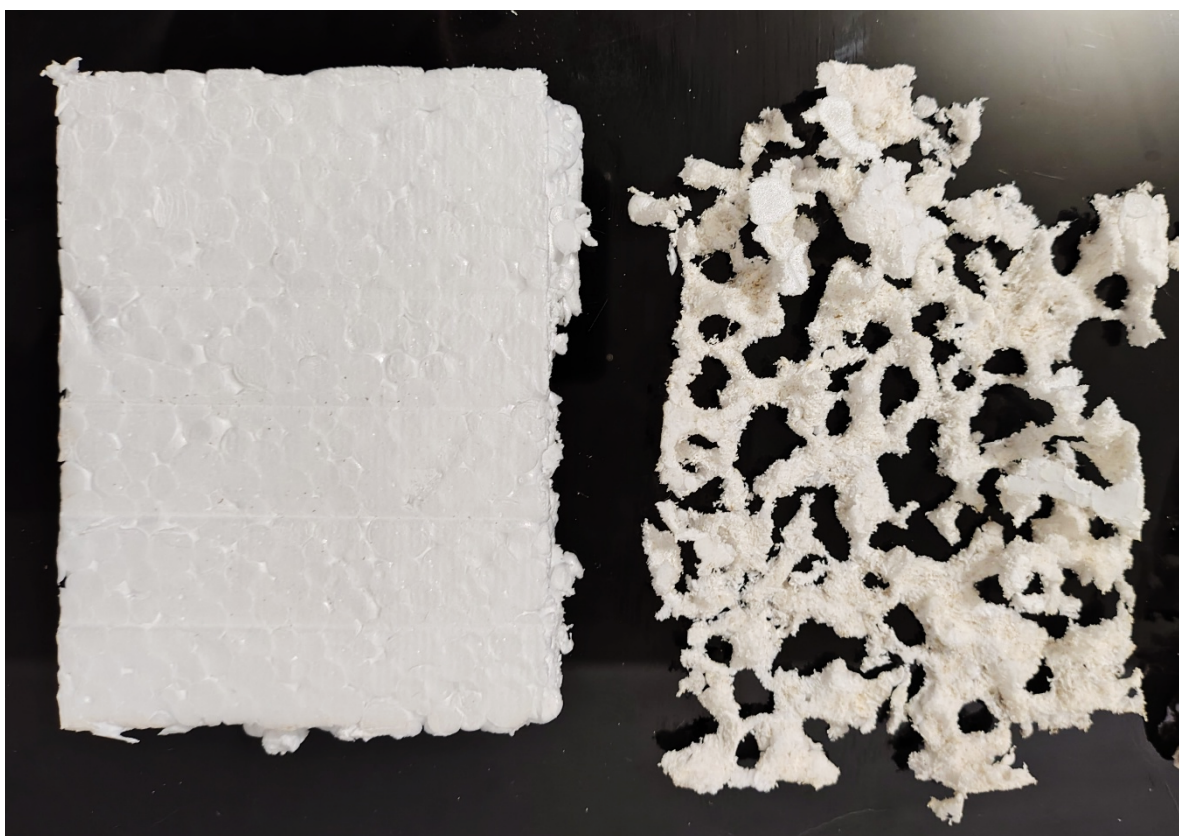


Figura 08: Aspectos da erosão/redução de volume da EPS em placa (isopor). A esquerda a placa antes da degradação, e a direita após a redução por larvas de tenébrios.

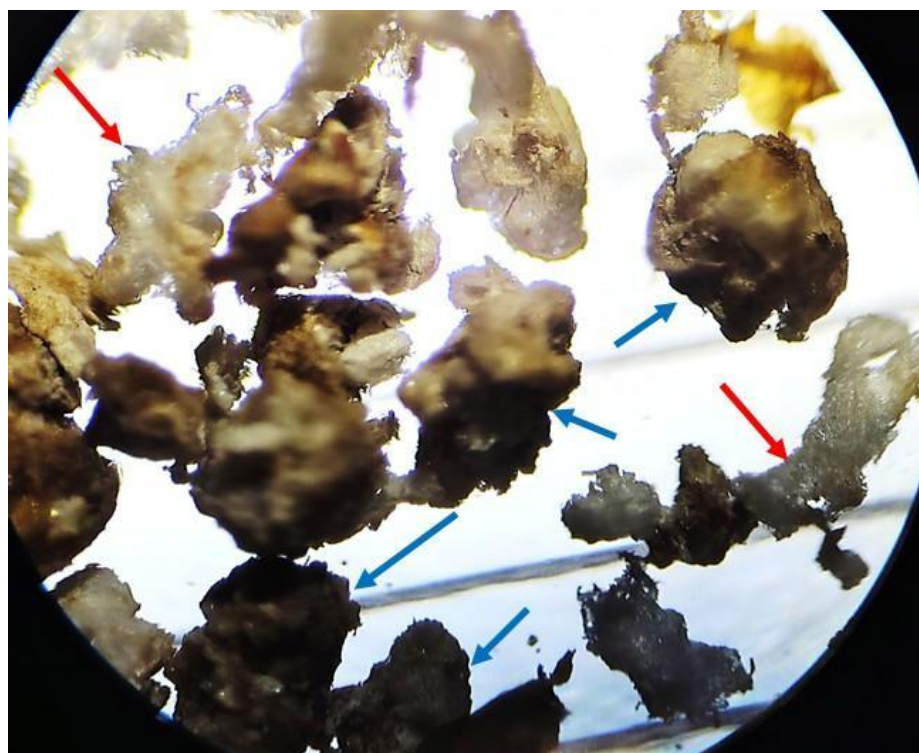


Figura 09: Aspectos dos resíduos do cultivo de tenébrios: fezes e microplásticos.

Após o experimento, as larvas foram guardadas em uma caixa de 20 litros, preta, não translúcida, apresentando a continuidade do processo de ciclo de vida, reduzindo a sua mobilidade, convertendo-se em pupas, e em seguida surgiram besouros voadores (Figura 10).

A utilização de tenébrios para reduzir a poluição plástica ainda é objeto de pesquisa em laboratório, e não é uma solução industrial ou doméstica amplamente disponível. Cientistas buscam entender o processo para desenvolver soluções biotecnológicas em larga escala, como a produção das enzimas responsáveis pela digestão do plástico.

Portanto, embora o potencial exista, os tenébrios não são uma solução prática e imediata para o descarte de sacos plásticos domésticos no momento. A melhor prática continua sendo a redução do uso de plásticos e o encaminhamento correto para a reciclagem, bem como o descarte responsável.



Figura 10: Aspectos da continuação do ciclo de vida das larvas (A: pupas de tenébrios; B: pupas e besouro claro – juvenil; C: besouros de cores claras, juvenis, e escuro, mais velho).

6. CONCLUSÕES

Após o período do experimento, podemos concluir que os tenébrios são melhores redutores de isopor (EPS) menos denso, em placas. Eles conseguem degradar e consumir, produzindo pouco resíduo, e este em formato de microplástico. Suas fezes estão íntegras, sem sinais de excreção de microplásticos.

A degradação do EPS mais denso, como os copos descartáveis, leva mais tempo, e necessita mais um número significativo de larvas.

Mesmo após expostos a esses resíduos, o tenébrios seguiram o processo de ciclo de vida, tornando-se pupas, e em seguida seguiram com a metamorfose para adultos (voadores).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULHAY, H.S. (2012). Insecticidal Activity of Aqueous and Methanol Extracts of Apricot *Prunus armeniaca* L. Kernels in the Control of *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera: Tenebrionidae). *Al-Mustansiriyah J. Sci.* 23: 7- 18

ASSAAD, JOSEPH J.; MIKHAEL, CHARBEL; HANNA, RALPH. Reciclagem de concreto de poliestireno expandido residual em painéis sanduíche leves e aplicações estruturais. *Cleaner Materials*, v. 4, p. 100095, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100095>

BOMBELLI P, HOWE CJ, BERTOCCHINI F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Curr Biol.* 2017 Apr 24;27(8):R292-R293. doi: 10.1016/j.cub.2017.02.060. PMID: 28441558.

BOZEK, Ma.; HANUS-LORENZ, B.; RYBAK, J.. The studies on waste biodegradation by *Tenebrio Molitor*. *E3S Web of Conferences, Wroclaw*, v. 17, n. 00011, p. 1-7, mai./2017.

BULAK, P.; PROC, K.; PYTLAK, A.; PUSZKA, A.; GAWDZIK, B.; BIEGANOWSKI, A. Biodegradation of Different Types of Plastics by *Tenebrio molitor* Insect. *Polymers (Basel)*. 2021 Oct 13;13(20):3508. doi: 10.3390/polym13203508. PMID: 34685267; PMCID: PMC8537651.

CARVALHO, D.G.; BAPTISTA NETO, J.A. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management*, v. 128, p. 10-17, 2016.

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.

GALILEU (2024). Larvas que se alimentam de isopor podem ajudar a preservar o meio ambiente. *Revista Galileu*. Online. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2015/10/larvas-que-se-alimentam-de-isopor-podem-ajudar-preservar-o-meio-ambiente.html>. Acesso em: 04 dez. 2025.

ELKIN I. GUTIERREZ-VELASQUEZ, SERGIO NEVES MONTEIRO, HENRY A. COLORADO, Characterization of expanded polystyrene waste as binder and coating material, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 16, 2022, e00804, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00804>.

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

JUNIOR, J. C. L., FERREIRA, L. C. F., & PEDERIVA, K. DE A. (2018). ESENVOLVIMENTO DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* L. EM DIFERENTES DIETAS VISANDO A PRODUÇÃO

DE INSETOS PARA CONSUMO HUMAN. CONNECTION LINE - REVISTA ELETRÔNICA DO UNIVAG, (18). <https://doi.org/10.18312/connectionline.v0i18.822>

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

JAMBECK, Jenna R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015. DOI: 10.1126/science.1260352.

JUNIOR, J. C. L; FERREIRA, L. C. F; PEDERIVA, K. D. A. Desenvolvimento de larvas de *Tenebrio molitor* L. em diferentes dietas visando a produção de insetos para consumo humano. *Connectionline, Mato Grosso*, v. 18, n. 18, p. 93-101, jun./2018.

KUNDUNGAL H, GANGARAPU M, SARANGAPANI S, PATCHAIYAPPAN A, DEVIPRIYA SP. Efficient biodegradation of polyethylene (HDPE) waste by the plastic-eating lesser waxworm (*Achroia grisella*). *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019 Jun;26(18):18509-18519. doi: 10.1007/s11356-019-05038-9. Epub 2019 May 2. PMID: 31049864.

KURNIAWAN S. B., ABDULLAH S. R. S., IMRON M. F., AND ISMAIL N. I. (2021). Current state of marine plastic pollution and its technology for more eminent evidence: A review. *J. Cleaner Production* 278, 123537. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123537

LOPES, K. S. R. et al. Estudo sobre a poluição plástica e análise de micropartículas na água tratada de Porto Alegre/RS. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, p. 570-587, fev. 2020.

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.

MOERMAN, J. *Not Just an Eyesore: Analysis of Metals Leached from Smoked 26 Cigarette Litter*. 2009. Disponível em: <http://www.tennessean.com/assets/pdf/DN14664411_13.PDF>. Acesso em: 15 novembro de 2025.

MONTEIRO, R.C.P., IVAR DO SUL, J.A., COSTA, M.F. 2020. Small microplastics on beaches of Fernando de Noronha island, tropical Atlantic Ocean. *Ocean and Coastal Research*, 68. <https://doi.org/10.1590/S2675-28242020068235>

MUMBACH, G. D.; BOLZAN, A.; MACHADO, R. A. F. A closed-loop process design for recycling expanded polystyrene waste by dissolution and polymerization.

Department of Chemical Engineering and Food Engineering, Federal University of Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 2020.

MYINT S, ZAKARIA MSB, AHMED KR (2010) Paints based on waste expanded polystyrene. Prog RubberPlast Recycl Technol 26:21–30

PAI, D. H. Y. Investigação da biodegradação de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*. Trabalho de Conclusão de Curso, USP-SP, 2020. Online. Disponível em https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/6fb326fe-6ac1-4dcb-b10a-3f7021a5eeca/Pai_Daniel_tcc.pdf#:~:text=inseto%20Tenebrio%20molitor%20possuem%20a%20capacidade%20de,EPS%2C%20foram%20levantados%20e%20analisados%20trabalhos%20nacionais. Acesso em: 01 dez. 2025.

PENG, B.; CHEN, Z.; CHEN, J.; YU, H.; ZHOU, X.; CRIDDLE, C. S.; WU, W. M.; ZHANG, Y., Biodegradation of Polyvinyl Chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae, Environment International, *Califórnia*, v. 145, n. 106106, p. 1-11, set./2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106106>.

QUIRINO, C.A.S; SANTOS, V.M.L. Ações sustentáveis e suas implicações no trabalho: uma análise acerca do uso de copos descartáveis no colegiado de engenharia elétrica na UNIVASF. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. v. 9, n. 3, p. 3-28, 2020

RAMOS-ELORDUY, J., E. AVILA GONZÁLEZ, A. ROCHA HERNÁNDEZ, AND J. M. PINO. 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. J. Econ. Entomol. 95: 214–220

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, E. T.; OLIVEIRA, I. D.; CARVALHO, E. F. Insetos como alternativa alimentar: artigo de revisão. Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade Vol. 4 no 1 – setembro de 2015, São Paulo: Centro Universitário Senac.

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

SANTOS, A. M. S. O cultivo de larvas de tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*) para a redução de plástico poliestireno expandido (EPS). UFRPE, Trabalho de conclusão de curso. 2025.

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, 2020.

Z.M. TAHROUDI, *et al.* Expanded polystyrene is not chemically degraded by mealworms RSC Sustain., 3 (1) (2025), pp. 383-394

TSOCHATZIS, E.D.; LOPES, J.A.; KAPPENSTEIN, O. Study of the Ionic Strength Effect on the Migration of Polyamide 6 and 66 Oligomers into Liquid Simulants by a LC-QTOF-MS Method. *Food Packag. Shelf Life* 2023, 35, 101015.

ZAHRA MOHAMMADIZADEH TAHOUDI, SINU SUNNY, GAVIN R. FLEMATTI, GEORG FRITZ, ROB ATKIN, Mealworms and superworms fail to biodegrade PVC despite consumption, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 206, 2026, 106191, ISSN 0964-8305,
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2025.106191>.

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

XU, Q.; PENG, X.; GUO, Y.; HAO, Q.; HOU, Y.; YANG, C. Effects of polystyrene microplastics on dechlorane plus bioaccumulation in the thick-shell mussel. *Front. Environ. Sci.* 2023, 11, 604.

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.