

Análise comparativa utilizando *Tenébrio molitor* e *Zophobas morio*: degradação de diferentes tipos de plástico

Izabella Aline Ferreira¹, Alessandra Arissa Numai¹, Lucas Cunha Foster¹, Maria Aline Martinez¹, Marcilene Ferrari Barriquello Consolin², Nelson Consolin Filho^{2*}, José Hilton Bernardino de Araújo³

¹Discente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Ambiental, Campo Mourão, Paraná, Brasil. ²Professor(a) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), Campo Mourão, Paraná, Brasil. ³Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Ambiental, Campo Mourão, Paraná, Brasil. *consolin@utfpr.edu.br

Recebido em: 23/03/2023

Aceito em: 19/10/2023

Publicado em: 30/12/2023

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.5.2-10>

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa da degradação causada em quatro tipos de plástico pelas larvas de duas espécies de besouro, a saber, foram utilizadas *Tenébrio molitor* e *Zophobas morio*. Quanto aos tipos de plástico, foram utilizados polietileno tereftalato (PET), Polietileno de baixa densidade (PEBD), poliestireno expandido (EPS) e polipropileno (PP). Para a avaliação da biodegradação, 10 larvas de *Tenébrio molitor* e *Zophobas morio* foram colocadas em diferentes potes contendo um tipo de plástico (4 potes com o *Tenébrio molitor* e 4 com *Zophobas morio*, e 4 potes contendo cada tipo de plástico e 10g de batata, como fonte de umidade). As amostras de plásticos e as larvas eram pesadas semanalmente durante o período do experimento (7 semanas). Essas espécies ajudaram no processo de decomposição dos plásticos, principalmente no caso do EPS e PEBD sem a presença de batata. Para a espécie *Zophobas morio*, o índice de degradação do EPS foi 21,75% e para a espécie *Tenébrio molitor*, o foi 2,91%. Quanto ao índice de degradação de PEBD, foi de 0,15% utilizando a espécie *Zophobas morio* e 2,93% com a espécie *Tenébrio molitor*.

Palavras-chave: Besouro. Degradação. Plástico.

Comparative analysis using *Tenébrus molitor* and *Zophobas morio*: degradation of different types of plastic

ABSTRACT

This work aimed to carry out a comparative analysis of the degradation caused in four types of plastic by the larvae of two beetle species, namely, *Tenébrio molitor* and *Zophobas morio*. As for the types of plastic, polyethylene terephthalate (PET), low density polyethylene (LDPE), expanded polystyrene (EPS) and polypropylene (PP) were used. To evaluate biodegradation, 10 larvae of *Tenébrio molitor* and *Zophobas morio* were placed in different pots containing a type of plastic (4 pots with *Tenébrio molitor* and 4 with *Zophobas morio*, and 4 pots containing each type of plastic and 10g of potato, as a source of moisture). Plastic samples and larvae were weighed weekly during the experimental period (7 weeks). These species helped in the decomposition process, especially in the case of EPS and LDPE without the presence of potatoes. For the species *Zophobas morio*, the EPS degradation rate was 21.75% and for the species *Tenébrio molitor*, it was 2.91%. As for the LDPE degradation rate, it was 0.15% using the *Zophobas morio* and 2.93% with the *Tenébrio molitor* species.

Keywords: Beetle. Degradation. Plastic.

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).

Após a criação e desenvolvimento dos variados tipos de plásticos, esses produtos passaram a fazer parte da vida da maioria das pessoas, pois estão presentes em todos os setores da economia, incluindo medicina, transporte, tecnologia, embalagem, construção civil, esporte e lazer, agricultura e manufatura (MAGRINI, 2012).

Por outro lado, como consequência dessas atividades econômicas, o consumo e descarte inadequado de resíduos aumentou drasticamente. Dentre esses, o plástico é um dos mais problemáticos, visto que é um material novo na natureza, 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 (EDUARDO, 2021).

A partir disso, um dos grandes desafios da população atual é destinar adequadamente os resíduos sólidos, especialmente os feitos à base de plástico, uma vez que os mesmos apresentam durabilidade no ambiente devido aos seus componentes químicos (SILVA et al., 2013).

Quando esses resíduos são descartados de forma inadequada, ocorrem diversos problemas sanitários e ambientais. Os problemas sanitários são causados por animais que são atraídos pelos resíduos, ocasionando o aparecimento de vetores de diversas doenças que podem atingir a população próxima. 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).

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, 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 morio*, também conhecida como tenébrio gigante, super verme ou zophobas. É uma espécie comumente utilizada para alimentar animais de criação.

Apesar de possuírem uma aparência similar, os zophobas são, aproximadamente, 3 vezes maiores que os tenébrios. Outra diferença é a coloração mais escura nas extremidades de seu corpo.

O objetivo deste trabalho é analisar e comparar a degradação de quatro diferentes tipos de plásticos pelas larvas de besouros *Tenébrio molitor* e *Zophobas morio*, verificando seus ganhos ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram adquiridas 80 larvas do besouro *Tenébrio molitor* e 80 larvas do besouro *Zophobas morio* (Figura 1) de um criadouro comercial localizado em Marília - SP. Já as análises do experimento foram realizadas no município de Campo Mourão - PR, no laboratório de processos industriais localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Figura 1 - Larva do besouro *Tenébrio molitor* e *Zophobas morio*.



Fonte: Autoria própria (2022).

Tanto para a espécie *Tenébrio molitor*, quanto para a *Zophobas Morio*, as larvas foram mantidas e divididas em 16 recipientes de plástico rígido com volume de 2 L cada, sendo 8 recipientes para a espécie *Tenébrio molitor* e 8 recipientes para a espécie *Zophobas morio*, utilizando 10 indivíduos para cada recipiente (Quadro 1).

Quadro 1 - Quantidade de indivíduos de cada espécie por recipiente.

		<i>Tenébrio molitor</i>							
Recipiente		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Indivíduos (un.)		10	10	10	10	10	10	10	10
		<i>Zophobas morio</i>							
Recipiente		IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
Indivíduos (un.)		10	10	10	10	10	10	10	10

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a realização do experimento, as larvas foram mantidas dentro dos recipientes junto com os diferentes tipos de plásticos (PEBD, EPS, PP e PET) (Figura 2), sendo que em 4 dos 8 recipientes de cada espécie, foram adicionados pedaços de batata, que é fonte de umidade e alimento para as larvas, dessa forma, esses recipientes serviram como grupo de controle para a pesquisa (Quadro 2).

Figura 2 - Plásticos PEBD, EPS, PP e PET, utilizados no experimento.



Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 2 - Separação dos diferentes tipos de plásticos para cada recipiente.

		<i>Tenébrio molitor</i>							
Plásticos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
		PET	PEBD	EPS	PP	PET + Batata	PEBD + Batata	EPS + Batata	PP + Batata
		<i>Zophobas morio</i>							
Plásticos	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	
	PET	PEBD	EPS	PP	PET + Batata	PEBD + Batata	EPS + Batata	PP + Batata	

Fonte: Autoria própria (2022).

Primeiramente, foi definido o valor de 10 g como valor inicial para cada quantidade de plástico inserida em cada recipiente, e, as larvas, foram pesadas a cada 10 indivíduos por espécie em uma balança analítica, para o valor do peso inicial. Após este procedimento, os indivíduos e os plásticos foram pesados 1 vez na semana por um período de 2 meses, a fim de analisar e comparar a degradação dos diferentes tipos de plásticos com e sem batata, pelos diferentes tipos de larvas de besouros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos resultados obtidos durante a pesquisa realizada, foram contabilizados a pesagem dos insetos e a pesagem dos plásticos em estudo. Também, foram observados

os estágios de desenvolvimento (larval, pupal e adulto) dos insetos inseridos no experimento.

No pote experimental I, onde se encontrava o plástico do tipo PET, foi observado o não consumo do plástico inserido para a biodegradação, havendo uma mortalidade de 30% dos insetos inseridos nesta amostra (Tabela 1).

Tabela 1 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental I.

Pote experimental I (<i>Tenebrio molitor</i> + PET)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,697	10,069	10 larvas
15/09	0,688	10,076	10 larvas
22/09	0,645	10,060	9 larvas
29/09	0,642	10,060	8 larvas; 1 pupa
06/10	0,590	10,039	8 larvas; 1 pupa
20/10	0,538	10,039	7 larvas
03/11	0,541	10,039	7 larvas

Fonte: Autoria própria (2022).

No pote experimental II, contendo plástico do tipo PEBD, foi demonstrado um consumo pouco expressivo do plástico ofertado para os tenébrios, cerca de 0,15% do total (Tabela 2).

No pote experimental III, com a presença de EPS, foi observado um consumo de aproximadamente 2,91% dos plásticos ofertados. Também foi realizada uma pesagem dos resíduos observados no fundo do pote, obtendo o resultado de 0,267 g (Tabela 3).

Tabela 2 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental II.

Pote experimental II (<i>Tenebrio molitor</i> + PEBD)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,804	10,168	10 larvas
15/09	0,786	10,162	10 larvas
22/09	0,761	10,162	10 larvas

29/09	0,728	10,156	2 pupas; 2 besouros; 6 larvas;
06/10	0,685	10,152	2 pupas; 2 besouros; 6 larvas
20/10	0,607	10,152	6 larvas; 2 besouros
03/11	0,514	10,152	6 larvas; 2 besouros

Fonte: Aatoria própria (2022).

Tabela 3 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental III.

Pote experimental III (<i>Tenébrio molitor</i> + EPS)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,926	10,616	10 larvas
15/09	0,887	10,314	10 larvas
22/09	0,830	10,314	9 larvas
29/09	0,661	10,307	4 larva; 2 besouros
06/10	0,628	10,307	4 larva; 2 besouros
20/10	0,491	10,307	1 besouro; 3 larvas
03/11	0,415	10,307	2 larvas; 1 pupa

Fonte: Aatoria própria (2022).

No pote experimental IV, que continha PP, foi observado uma pequena redução no peso dos plásticos ofertados, podendo ser interpretado por uma descalibração da balança utilizada para a pesagem do mesmo, já que neste experimento não foi contabilizado e nem observado o consumo dos plásticos por parte das larvas (Tabela 4).

Tabela 4 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental III.

Pote experimental IV (<i>Tenébrio molitor</i> + PP)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,790	10,441	10 larvas
15/09	0,761	10,431	10 larvas
22/09	0,743	10,428	10 larvas

29/09	0,732	10,428	9 larvas; 1 pupa
06/10	0,703	10,428	9 larvas; 1 pupa
20/10	0,657	10,426	8 larvas; 1 besouro
03/11	0,528	10,426	6 larvas

Fonte: Autoria própria (2022).

No pote experimental V, onde estava presente PET e batata, foi observado o desenvolvimento dos insetos, porém não houve um consumo do plástico ofertado (Tabela 5). Este desenvolvimento pode ser interpretado pela oferta da batata além do PET.

Tabela 5 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental V.

Pote experimental V (<i>Tenebrio molitor</i> + PET + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,968	10,881	10 larvas
15/09	0,909	10,881	10 larvas
22/09	0,883	10,881	10 larvas
29/09	0,801	10,881	7 besouros; 3 pupas
06/10	0,728	10,881	7 besouros; 3 pupas
20/10	0,393	10,881	5 besouros
03/11	0,131	10,881	5 besouros, todos mortos

Fonte: Autoria própria (2022).

No pote experimental VI, onde se encontrava PEBD e batata, foi demonstrado o consumo de aproximadamente 0,58% dos plásticos ofertados até 06 de novembro de 2022, após este período, foi observado uma ocorrência de estabilidade, que pode ser explicada através da diminuição dos agentes biodegradadores (Tabela 6).

Tabela 6 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental VI.

Pote experimental VI (<i>Tenébrio molitor</i> + PEBD + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,997	9,930	10 larvas
15/09	0,946	9,923	10 larvas
22/09	0,791	9,913	4 besouros; 2 pupas; 4 larvas
29/09	0,479	9,881	3 besouros; 3 larvas
06/10	0,307	9,872	3 besouros; 3 larvas
20/10	0,251	9,872	2 pupas; 1 larvas
03/11	0,106	9,872	1 pupa

Fonte: Autoria própria (2022).

No pote experimental VII, que continha EPS e batata, foi demonstrado o consumo de 2,19% dos plásticos ofertados juntamente com a batata (Tabela 7). Já no resíduo de fundo, foi apresentado o peso de 0,281 g.

Tabela 7 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental VII.

Pote experimental VII (<i>Tenébrio molitor</i> + EPS + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,935	10,040	10 larvas
15/09	0,917	9,998	10 larvas
22/09	0,899	9,965	10 larvas
29/09	0,890	9,952	10 larvas
06/10	0,870	9,823	10 larvas
20/10	0,910	9,823	10 larvas
03/11	0,980	9,820	9 larvas; 1 pupa

Fonte: Autoria própria (2022).

No pote experimental VIII, onde se encontrava PP e batata, não houve consumo dos plásticos ofertados e apenas 50% dos insetos chegaram ao estágio final do experimento (Tabela 8).

Tabela 8 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental VIII.

Pote experimental VIII (<i>Tenébrio molitor</i> + PP + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	0,9482	10,748	10 larvas
15/09	0,948	10,748	10 larvas
22/09	0,852	10,748	9 larvas
29/09	0,817	10,748	2 besouros; 2 pupas; 6 larvas
06/10	0,705	10,748	2 besouros; 2 pupas; 6 larvas
20/10	0,534	10,748	3 besouros; 3 larvas
03/11	0,478	10,748	2 larvas; 3 besouros; 1 pupa

Fonte: Aatoria própria (2022).

No pote experimental IX, onde foi colocado PET, não foi demonstrado o consumo do plástico ofertado e constatou-se uma queda de 30% dos insetos. Também foi observado nesta análise que houve canibalismo entre as larvas do besouro, já que foram encontrados restos dos insetos consumidos (Tabela 9).

Tabela 9 - Pesagens com estágios evolutivos pote experimental IX.

Pote experimental IX (<i>Zophobas morio</i> + PET)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	5,878	9,698	10 larvas
15/09	5,720	9,698	10 larvas
22/09	5,584	9,698	10 larvas
29/09	5,436	9,698	10 larvas

06/10	5,389	9,698	10 larvas
20/10	5,112	9,698	9 larvas
03/11	4,352	9,698	7 larvas

Fonte: Aatoria própria (2022).

No pote experimental X, onde se encontrava PEBD, foi apresentado o consumo de 2,93% dos plásticos ofertados, sendo comprovados também pelos cortes observados neste plástico (Tabela 10).

Tabela 10 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental X.

Pote experimental X (<i>Zophobas morio</i> + PEBD)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	6,329	9,899	10 larvas
15/09	6,073	9,861	10 larvas
22/09	5,304	9,861	10 larvas
29/09	5,774	9,842	3 pupas; 7 larvas
06/10	5,672	9,800	4 pupa; 6 larvas
20/10	5,046	9,641	6 pupa; 1 larvas; 3 besouros
03/11	3,317	9,608	1 larva; 4 besouros; 2 pupas

Fonte: Aatoria própria (2022).

No pote experimental XI, que continha EPS, houve um consumo de, aproximadamente, 21,75% do plástico ofertado, apresentando um bom desenvolvimento dos insetos utilizados para o estudo (Tabela 11).

Tabela 11 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental XI.

Pote experimental XI (<i>Zophobas morio</i> + EPS)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	6,650	9,874	10 larvas
15/09	6,442	9,828	10 larvas

22/09	6,350	9,610	10 larvas
29/09	6,193	9,597	3 pupas; 7 larvas
06/10	6,174	9,381	3 pupas; 7 larvas
20/10	5,656	8,487	6 larvas; 1 pupa; 2 besouros
03/11	5,237	7,726	2 pupas; 4 larvas; 3 besouros

Fonte: A autoria própria (2022).

No pote experimental XII, não houve consumo do polipropileno por parte das larvas dos besouros, entretanto, podem ter se alimentado da pupa observada no período de 06 de novembro a 20 de novembro de 2022 (Tabela 12).

Tabela 12 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental XII.

Pote experimental XII (<i>Zophobas morio</i> + PP)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	5,861	10,042	10 larvas
15/09	5,706	10,042	10 larvas
22/09	5,628	10,042	10 larvas
29/09	5,515	10,042	10 larvas
06/10	5,504	10,042	9 larvas; 1 pupa
20/10	5,273	10,042	9 larvas; 1 pupa
03/11	4,502	10,042	9 larvas

Fonte: A autoria própria (2022).

No pote experimental XIII não houve consumo do plástico do tipo PET por parte das larvas, entretanto, também foi observado uma diminuição na quantidade de larvas, podendo ser interpretada como canibalismo (Tabela 13).

Tabela 13 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental XIII.

Pote experimental XIII (<i>Zophobas morio</i> + PET + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	6,446	10,113	10 larvas
15/09	6,228	10,113	8 larvas
22/09	6,089	10,113	8 larvas
29/09	6,105	10,113	8 larvas
06/10	6,231	10,113	8 larvas
20/10	6,391	10,113	7 larvas; 1 pupa
03/11	6,055	10,113	2 pupas; 1 besouro; 5 larvas

Fonte: Autoria própria (2022).

No pote experimental XIV, foi observado o consumo dos plásticos PEBD por parte das larvas e uma queda do consumo do mesmo durante o período de 22 de setembro a 6 de outubro de 2022. Também foi observado o recomeço da biodegradação em 20 de outubro de 2022, onde o consumo do plástico foi de aproximadamente 3,87% (Tabela 14).

Tabela 14 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental XIV.

Pote experimental XIV (<i>Zophobas morio</i> + PEBD + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	6,592	9,081	10 larvas
15/09	6,099	8,859	10 larvas
22/09	6,247	8,772	9 larvas
29/09	6,009	8,772	9 larvas
06/10	6,013	8,772	8 larvas; 1 pupa
20/10	5,547	8,735	5 larvas; 3 pupa
03/11	5,236	8,730	2 pupa; 3 larvas; 2 besouros

Fonte: Autoria própria (2022)

Já no experimento XV, contendo EPS e batata, houve uma degradação de 7,61% dos plásticos ofertados para as larvas, sendo que 100% delas chegaram ao final do experimento em algum estágio do seu desenvolvimento (Tabela 15).

Tabela 15 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental XV.

Pote experimental XV (<i>Zophobas morio</i> + EPS + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	6,293	9,412	10 larvas
15/09	6,270	9,046	10 larvas
22/09	6,512	8,903	10 larvas
29/09	6,450	8,843	1 pupa; 9 larvas
06/10	6,450	8,830	8 larvas; 2 pupas
20/10	6,674	8,800	8 larvas; 1 besouro; 1 pupa
03/11	6,9563	8,695	2 besouros; 8 larvas

Fonte: Autoria própria (2022)

No pote experimental XVI, com a presença de PP e batata, não foi apresentado consumo dos plásticos por parte das larvas, entretanto foi observado no final do experimento uma redução na quantidade de animais dispostos para análise em contrapartida ao no início do experimento (Tabela 16).

Tabela 16 - Pesagens com estágios evolutivos do pote experimental XVI.

Pote experimental XVI (<i>Zophobas morio</i> + PP + BATATA)			
Data	Peso dos insetos (g)	Peso dos plásticos (g)	Estágios de desenvolvimento
08/09	6,677	10,105	10 larvas
15/09	6,744	10,105	10 larvas
22/09	6,599	10,105	9 larvas
29/09	6,420	10,105	9 larvas
06/10	6,699	10,105	9 larvas
20/10	6,570	10,105	9 larvas

Fonte: Aatoria própria (2022)

Logo, durante todo o período do experimento, foi observado o consumo de dois tipos de plásticos, o EPS (Poliestireno expandido) e o PEBD (Polipropileno de baixa densidade) por parte de ambas as espécies utilizadas (Figura 3).

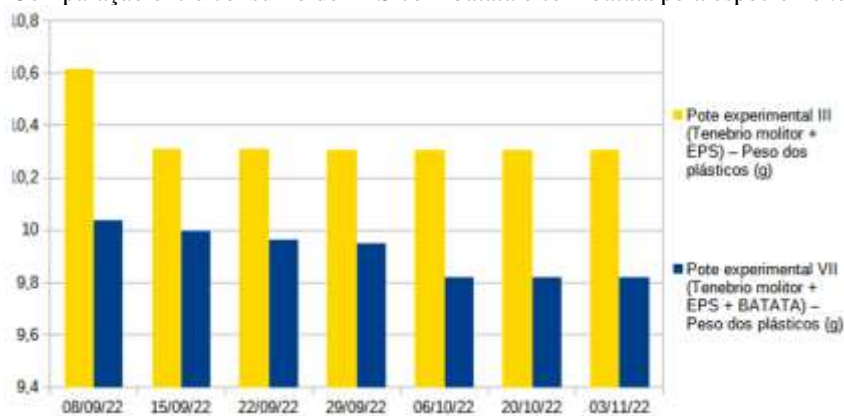
Figura 3 - Exemplos de plásticos PEBD e EPS que foram consumidos pelas larvas de besouro.



Fonte: Aatoria própria (2022)

No experimento III com a espécie *Tenebrio molitor*, foi verificado um consumo maior dos plásticos, em 0,72%, quando não havia a oferta da batata juntamente com o plástico. Entretanto, no experimento VII utilizando a batata, foi observado um consumo gradativo e não imediato do plástico (Gráfico 1).

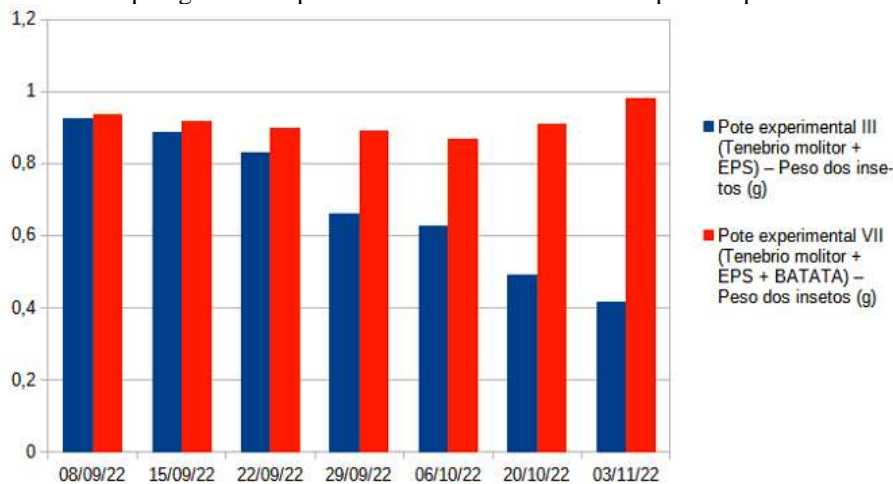
Gráfico 1 - Comparação entre consumo de EPS com batata e sem batata pela espécie *Tenebrio molitor*.



Fonte: Aatoria própria (2022).

Também foi demonstrada uma mortalidade maior no experimento III em relação ao experimento VII, o que pode explicar o consumo gradativo dos plásticos, podendo ser afirmado pela pesagem dos plásticos e da quantidade de espécimes observadas (Gráfico 2).

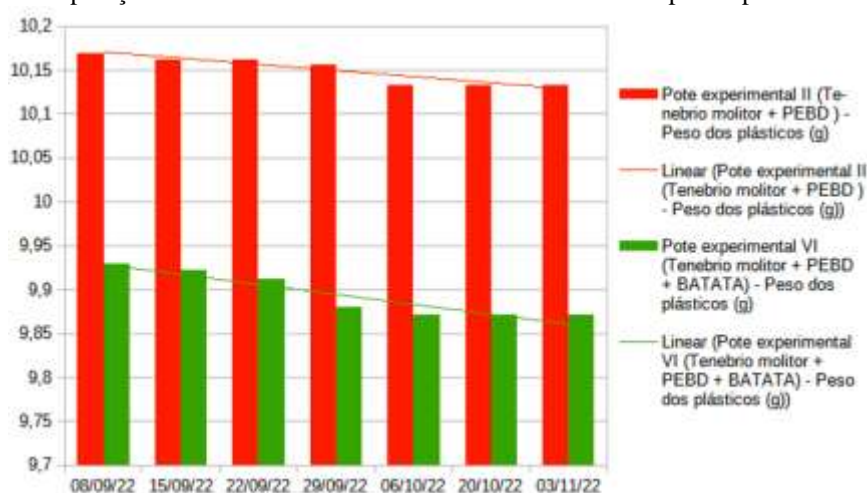
Gráfico 2 - Gráfico da pesagem dos espécimes de *Tenebrio molitor* dos potes experimentais III e VIII.



Fonte: Autoria própria (2022).

Já para o PEBD, foi demonstrado um comportamento degradador parecido com o EPS por parte da espécie *Tenebrio molitor* nos potes experimentais II e VI (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Comparação entre consumo de EPS com batata e sem batata pela espécie *Tenebrio molitor*.



Fonte: Autoria própria (2022).

Ainda, foi observado uma maior mortalidade dos insetos no pote experimental VI com batata, onde foi demonstrado através da quantificação do peso dos animais. Já no caso do pote experimental II sem a batata, foi obtido uma perda de peso dos indivíduos

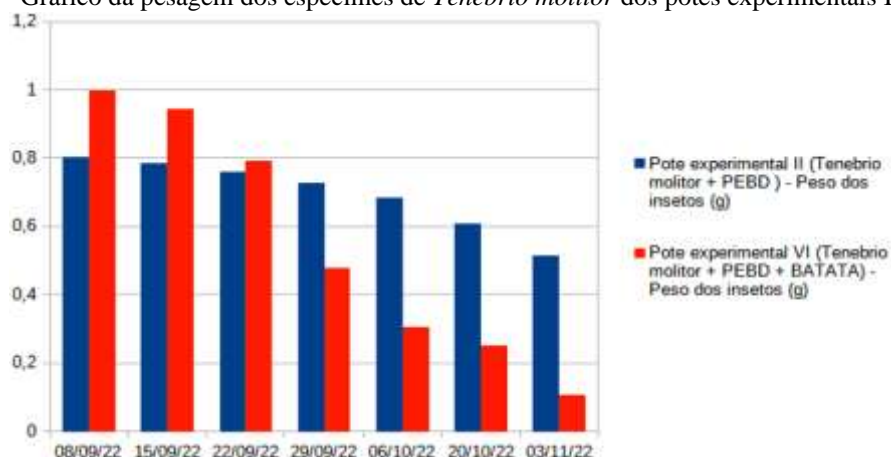
na semana seguinte do início do experimento, mantendo esta perda até a terceira pesagem na qual ainda residiam 10 insetos em estado larval.

A partir do dia 29 de novembro de 2022 foi observada uma transformação de duas larvas para seu estágio de pupa e dois indivíduos em estágio adulto, onde novamente, foi apresentada uma perda de peso nos insetos.

Nos dois últimos dias de pesagem foi observado o desaparecimento dos indivíduos em estágio de pupa e foram encontrados dois indivíduos em estágio adulto e seis em estágio larval, podendo ter ocorrido por dois motivos: o canibalismo dos indivíduos ou a fuga dos insetos adultos dos potes juntamente com o desenvolvimento das pupas para adultos.

Assim sendo, foi possível demonstrar a pesagem dos indivíduos da mesma espécie com e sem batata, utilizando o mesmo tipo de plástico (PEBD), durante todas as semanas de observação do experimento (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Gráfico da pesagem dos espécimes de *Tenebrio molitor* dos potes experimentais II e VI.



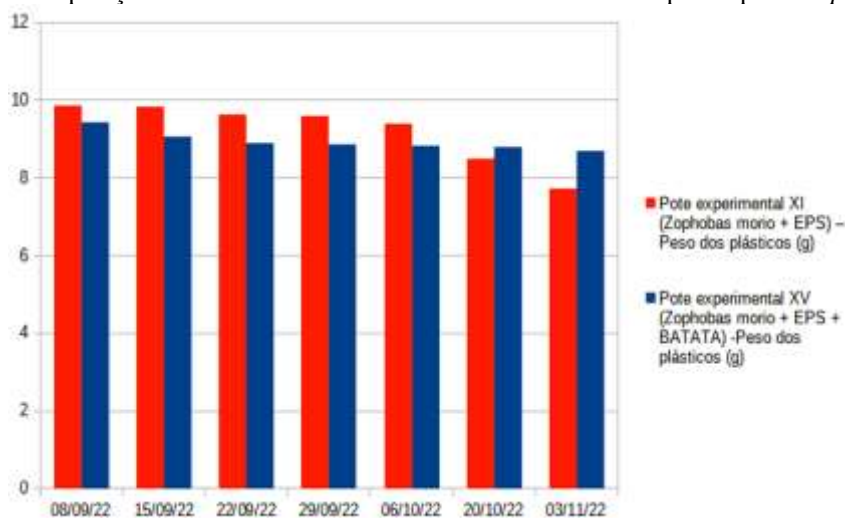
Fonte: Autoria própria (2022).

Nos experimentos com os indivíduos da espécie *Zophobas morio*, foi obtido o maior índice de degradação do EPS dentre os 4 experimentos utilizando este tipo de material. Como relatado anteriormente, houve um consumo de 21,75% do material ofertado, e mesmo o experimento com a oferta de batata obtendo um índice de degradação de aproximadamente 7,61%, foi demonstrando um melhor desempenho que os da espécie *Tenebrio molitor* quando comparados nas mesmas atribuições.

Foi possível observar também o consumo dos indivíduos *Zophobas morio* dos potes experimentais XI e XV (Gráfico 5), onde houve uma pequena variação no peso de indivíduos introduzidos no pote experimental XI, sendo que esta diminuição pode ter sido

atribuída ao desaparecimento de um indivíduo a partir do dia 20 de outubro de 2022, além do aparecimento de 3 insetos adultos na última pesagem e 2 pupas.

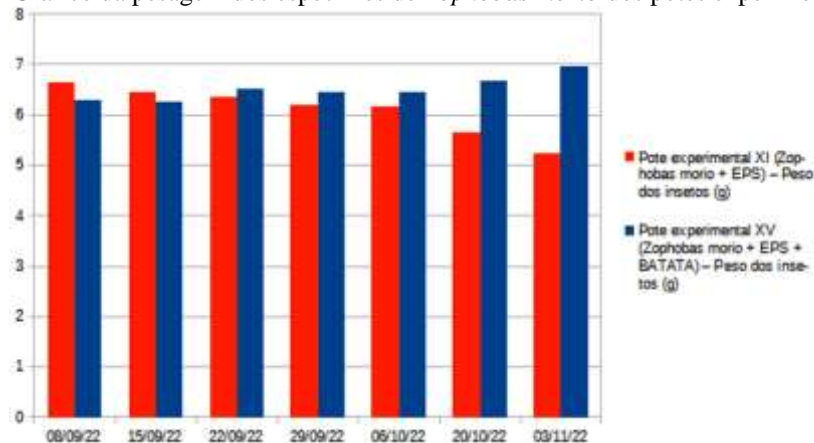
Gráfico 5 - Comparação entre consumo de EPS com batata e sem batata pela espécie *Zophobas morio*



Fonte: Autoria própria (2022).

Já no pote experimental XV houve um ganho de peso por parte dos insetos, isto pode ser atribuído ao consumo do tubérculo ofertado neste, além do consumo de uma parte do EPS (Gráfico 6).

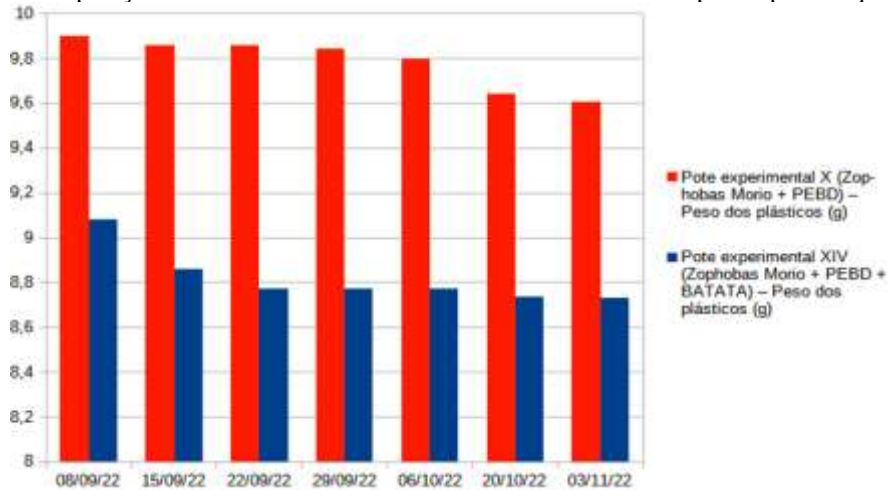
Gráfico 6 - Gráfico da pesagem dos espécimes de *Zophobas morio* dos potes experimentais XI e XV.



Fonte: Autoria própria (2022).

No caso do PEBD houve uma redução menor nas pesagens dos plásticos ofertados para a mesma espécie. Quando ofertada com a batata houve uma degradação de 3,86% do material, já sem o consumo, foi de 2,93%, podendo ser observada a variação do peso dos plásticos (Gráfico 7).

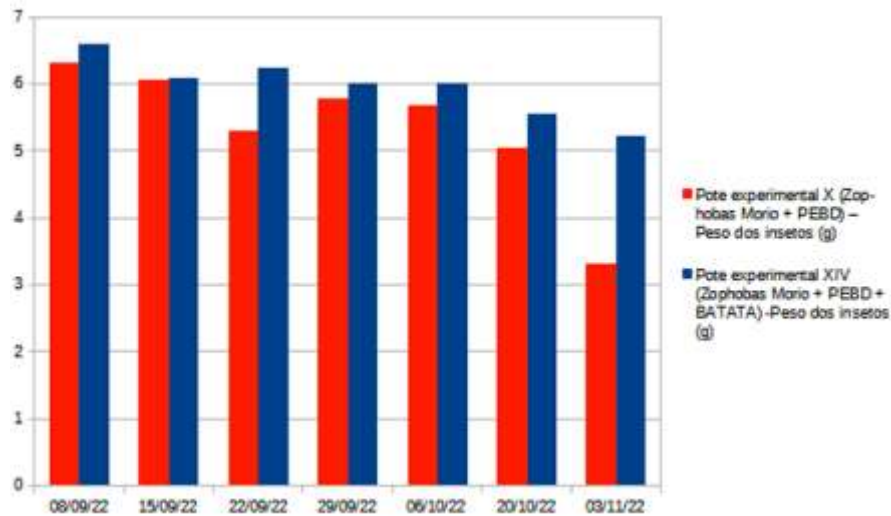
Gráfico 7 - Comparação entre consumo de PEBD com batata e sem batata pela espécie *Zophobas morio*.



Fonte: Autoria própria (2022).

Foi observado uma menor perda de peso nos insetos do pote experimental XIV, já os indivíduos do pote experimental X tiveram seu peso reduzido pela metade (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Gráfico da pesagem dos espécimes de *Zophobas morio* dos potes experimentais XI e XIV.



Fonte: Autoria própria (2022)

Medeiros et al., (2018) concluiu em um experimento realizado com as mesmas espécies e material utilizado, uma redução dos EPS em 3,62% pelo *Tenebrio molitor* e 3,01% pelo *Zophobas morio*. Quando comparados os dados do experimento realizado com o do autor citado, a espécie *Tenebrio molitor* teve um resultado similar, resultando em 2,91% o consumo de EPS. Já para a espécie *Zophobas morio* foi observada uma diferença relevante, resultando em 21,75% o consumo do EPS. Portanto, foi tido um

melhor desempenho da biodegradação do plástico neste experimento pelo *Zophobas morio* do que no estudo de Medeiros et al., (2018).

Quanto a um estudo realizado por Yang et al., (2015), é afirmado que em uma massa de 5,8g de EPS e cerca de 500 indivíduos de *Tenebrio molitor* pode ser consumido 29,7% a 31,7% do material em 30 dias. Para este estudo, o valor obtido no mesmo período foi de 2,91%, utilizando somente 10 indivíduos da mesma espécie e ofertando o mesmo tipo de plástico em questão, ou seja, proporcionalmente falando, as larvas deste estudo apresentaram um maior potencial quanto ao consumo do plástico do que no trabalho realizado por Yang et al., (2015).

Ainda, as espécies das larvas poderiam ser consideradas como biodegradadoras dos plásticos EPS e PEBD se não houvesse microplásticos apresentados em alguns experimentos após a digestão dos materiais. Portanto, as larvas podem não ser uma solução ambiental para a degradação destes plásticos na natureza visando sua cadeia trófica com a problemática apresentada.

CONCLUSÃO

Através do estudo realizado foi possível verificar a preferência do consumo das larvas em plásticos mais maleáveis, como o EPS e o PEBD, apresentando um maior consumo de EPS.

Para a espécie *Zophobas morio*, o consumo de EPS foi de 21,75% e para a espécie *Tenebrio molitor*, o consumo do material foi de 2,91%. Quanto ao consumo de PEBD, o consumo foi de 0,15% utilizando a espécie *Zophobas morio* e 2,93% com a espécie *Tenebrio molitor*.

O não consumo dos plásticos PP e PET se deve ao fato destes materiais serem mais rígidos que os EPS e PEBD, o que levou a rejeição destes materiais por parte das larvas. Ainda, pelo fato dos plásticos PP e PET não serem digeridos pelas larvas, uma solução observada para o desenvolvimento da espécie por alguns indivíduos foi o mecanismo de canibalismo como forma de sobrevivência, visto que o alimento era limitado ou não existente.

Também vale ressaltar que, neste estudo, foi verificado material particulado no fundo dos potes de EPS, havendo a possibilidade de as larvas terem quebrado o plástico em microplástico, o que agravaria mais a problemática ambiental. Portanto, é

aconselhável estudos mais aprofundados, com análises desses resíduos degradados, para melhores conclusões quanto à possíveis benefícios ou malefícios ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo espaço concedido em seus laboratórios para a realização das análises, o Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) Projeto CAPES/ANA AUXPEN^o.2717/2015, bem como ao Departamento de Engenharia Ambiental (DAAMB).

REFERÊNCIAS

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

EDUARDO, L. A. de 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.

HAINES, C. P. (Ed.). Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification. 2. ed. Chatham, Kent: **Natural Resources Institute**, 1991.

MAGRINI, A. **Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos**. São Paulo: Editora E-papers, 2012.

MEDEIROS, A. S., ARAUJO, J. H. B.; GARBIN, B.; MATOS, I. V.; TOMOTO, A. L.; BRAGION, G. R.; CHERULLI, G. M. S. B. Biodegradação de Poliestireno Expandido Utilizando *Tenebrio Molitor Linnaeus*, 1758 (*Coleoptera: Tenebrionidae*) e *Zophobas Morio* Fabricius, 1776 (*Coleoptera: Tenebrionidae*). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 9, p. 271–279, 2018.

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.

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.

YANG, Y.; YANG, J.; WU, W.-M.; ZHAO, J.; SONG, Y.; GAO, L.; YANG, R.; JIANG, L. 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, Oct. 2015.