

Larva de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) na biodegradação do Poliestireno Expandido

Tenebrio molitor Larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in the biodegradation of expanded polystyrene

RAFAELA CAMILA BONTEMPO

Discente de Agronomia (UNIPAM)
rafaelabomtempo@unipam.edu.br

ELISA QUEIROZ GARCIA

Professora orientadora (UNIPAM)
elisaqg@unipam.edu.br

Resumo: A poluição plástica configura-se como um dos principais desafios ambientais contemporâneos, exigindo abordagens inovadoras para sua mitigação. Este estudo avaliou o potencial da larva L3 de *Tenebrio molitor* na degradação do poliestireno expandido (EPS), um dos plásticos mais utilizados e de difícil decomposição. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos: larvas alimentadas exclusivamente com EPS; larvas alimentadas com EPS e farelo de trigo; e um grupo controle alimentado apenas com farelo de trigo. Avaliaram-se a taxa de sobrevivência das larvas e o consumo de EPS ao longo do período experimental. Os resultados indicaram que as larvas de *T. molitor* foram capazes de consumir e degradar o EPS, com diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). A adição de farelo de trigo aumentou a taxa de sobrevivência das larvas, mas não influenciou significativamente a taxa de biodegradação do EPS. Conclui-se que *T. molitor* apresenta potencial biotecnológico para a degradação de plásticos, podendo ser empregado em estratégias sustentáveis de manejo de resíduos plásticos.

Palavras-chaves: biodegradação; poliestireno expandido; resíduos plásticos; sustentabilidade.

Abstract: Plastic pollution is one of the major contemporary environmental challenges, requiring innovative approaches for its mitigation. This study evaluated the biodegradation potential of L3 larvae of *Tenebrio molitor* in the decomposition of expanded polystyrene (EPS), one of the most commonly used and persistent plastics. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) with three treatments: larvae fed exclusively with EPS; larvae fed with EPS and wheat bran; and a control group fed only with wheat bran. Larval survival rate and EPS consumption were assessed throughout the experimental period. The results indicated that *T. molitor* larvae were capable of consuming and degrading EPS, with statistically significant differences between treatments ($p < 0.05$). The addition of wheat bran increased larval survival but did not significantly influence the EPS biodegradation rate. It is concluded that *T. molitor* presents biotechnological potential for plastic degradation and may be employed in sustainable plastic waste management strategies.

keywords: biodegradation; expanded polystyrene; plastic waste; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A poluição plástica configura-se como um dos principais desafios ambientais contemporâneos, em virtude de seu uso disseminado, elevada resistência à degradação e acúmulo progressivo nos ecossistemas (Oliveira, 2013; Machado Filho; Ferreira; Soares, 2011). Estima-se que milhões de toneladas de resíduos plásticos sejam descartadas anualmente, afetando ecossistemas terrestres e aquáticos e representando uma ameaça significativa à biodiversidade global (Golwala *et al.*, 2021). Dentre os polímeros sintéticos mais utilizados, o poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor, destaca-se por sua leveza, versatilidade e resistência mecânica. No entanto, sua baixa taxa de biodegradação o torna um dos resíduos mais persistentes no ambiente (Bradney *et al.*, 2019).

Nesse contexto, tem-se intensificado a busca por estratégias inovadoras voltadas à degradação de plásticos, com ênfase nas abordagens biotecnológicas. Estudos recentes indicam que certos organismos, como as larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae), possuem a capacidade de degradar polímeros sintéticos, incluindo o EPS, por meio de processos enzimáticos mediados pela microbiota presente em seu intestino (Yang, Y. *et al.*, 2015). A degradação ocorre, em parte, devido à ação da bactéria *Exiguobacterium* sp., integrante da microbiota intestinal desse inseto, a qual desempenha papel crucial na digestão dos polímeros (Yang, Y. *et al.*, 2015).

Embora estudos iniciais indiquem o potencial de *Tenebrio molitor* na biodegradação do EPS, ainda há lacunas no conhecimento a respeito dos fatores que modulam a eficiência desse processo, particularmente no que se refere à composição da dieta e suas implicações na taxa de consumo do polímero e na sobrevivência das larvas. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de *T. molitor* em degradar o EPS, analisando o efeito da dieta sobre a taxa de consumo do material e os índices de sobrevivência larval. Os dados obtidos podem subsidiar o desenvolvimento de estratégias ambientalmente sustentáveis para o manejo de resíduos plásticos, explorando o potencial biotecnológico desses insetos como agentes de biodegradação.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO E ORIGEM DO MATERIAL

O experimento foi conduzido no Laboratório de Biologia, Zoologia e Entomologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizado no segundo andar do Bloco H, sala 204. As larvas de *Tenebrio molitor* utilizadas no estudo foram provenientes da criação mantida no próprio laboratório. Para os ensaios, foram selecionados indivíduos no terceiro estágio larval (L3), os quais permaneceram na sala de criação sob temperatura ambiente. O poliestireno expandido (EPS) empregado nos experimentos também foi obtido do acervo do referido laboratório.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com três tratamentos e 10 repetições, totalizando 30 unidades amostrais. Cada unidade amostral foi composta por cinco larvas de *Tenebrio molitor* no terceiro estágio larval (L3), resultando em um total de 150 indivíduos utilizados no estudo (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio intitulado “Larva de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) na biodegradação do poliestireno expandido”. UNIPAM, Patos de Minas - MG, 2024

Tratamento	Dieta
Tratamento 1	38 gramas de farelo de trigo
Tratamento 2	8 blocos de EPS (poliestireno expandido)
Tratamento 3	38 g de farelo de trigo + 8 blocos de EPS

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

2.3 PROCEDIMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Inicialmente, as larvas e o poliestireno expandido foram pesados separadamente de acordo com os tratamentos. No Tratamento 1, foram inseridas cinco larvas e 38g de farelo de trigo em um recipiente de plástico de um litro, com tampa perfurada para ventilação adequada. No Tratamento 2, cinco larvas foram adicionadas a oito blocos de EPS de dimensões 5 x 5 x 1,80 cm e gramatura semelhante. No Tratamento 3, as larvas receberam 38g de farelo de trigo e oito blocos de isopor no mesmo recipiente. Após a montagem do experimento, todos os recipientes foram mantidos na sala de criação sob temperatura ambiente.

O experimento foi conduzido no período de 10 de abril a 20 de maio de 2024, totalizando 40 dias. Ao término do período experimental, as larvas, o EPS e o farelo de trigo foram novamente pesados. Para a análise estatística, foi calculada a diferença entre a massa inicial e a massa final dos tenébrios e das dietas. A comparação da massa dos tenébrios e a taxa de sobrevivência foi feita pelo teste Tukey, enquanto isso, a massa do EPS foi analisada pelo teste de Wilcoxon e a massa do farelo de trigo pelo teste T para amostras independentes. As análises estatísticas foram executadas no software RStudio (versão 1.3.1073, R Core Team, 2014).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

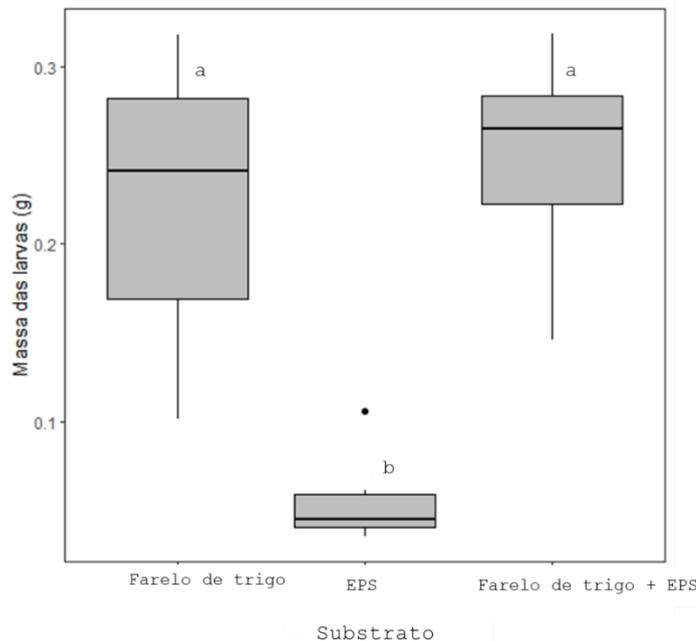
O presente estudo avaliou a capacidade das larvas de *Tenebrio molitor* na degradação do poliestireno expandido (EPS) e os efeitos da dieta na sobrevivência e no desenvolvimento dos indivíduos. Os resultados indicaram que as larvas alimentadas exclusivamente com EPS apresentaram maior taxa de mortalidade, enquanto aquelas

que receberam uma dieta combinada de farelo de trigo e EPS mostraram melhor desempenho em termos de crescimento e sobrevivência

Constatou-se que a massa das larvas de *Tenebrio molitor* no tratamento 2 foi menor que o tratamento 1 (GL= -0,16842; p= 0,0000011) e menor que o tratamento 3 (GL= 0,19752; p= 0,0000001) (Figura 1). Entretanto, quando comparamos os tratamentos 3 e 1, a massa foi igual (GL= 0,02910; p= 0,4929018). Em seguida, ao compararmos a sobrevivência dos tenébrios (Figura 2) verificou-se que o número de tenébrios sobreviventes no tratamento 2 foi menor que o tratamento 1 (GL= -1,6; p= 0,0250647) e menor que o tratamento 3 (GL= 1,8; p= 0,0110097). Entretanto, quando comparamos os tratamentos 1 e 3, o número de sobreviventes foi igual (GL= 0,2; p= 0,9353175).

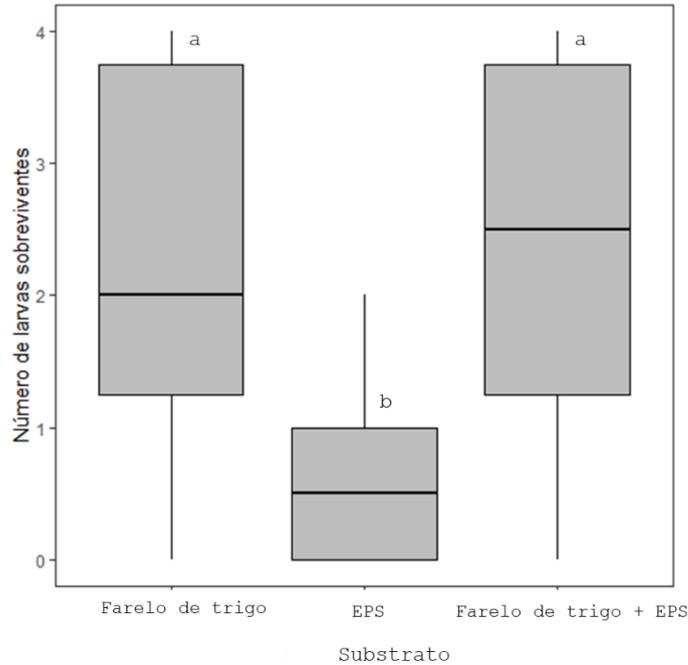
Em relação à massa residual do EPS (Figura 3), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos EPS e farelo de trigo + EPS (p= 0,3445). Da mesma forma, a avaliação da massa da farinha de trigo (Figura 4) também não apresentou diferença estatística (p= 0,3598), sugerindo que a taxa de consumo desses materiais EPS e farelo de trigo + EPS foi semelhante.

Figura 1: Variação da massa das larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) após 40 dias sob diferentes dietas: farelo de trigo, EPS (poliestireno expandido) e farelo de trigo+EPS. UNIPAM, Patos de Minas - MG, 2024. Cada caixa inclui os dados entre o 1º e 3º quartil, representados pelas linhas horizontais da lateral das caixas, e a mediana pela linha horizontal dentro da caixa. Caixas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05) considerando um intervalo de confiança de 95%



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

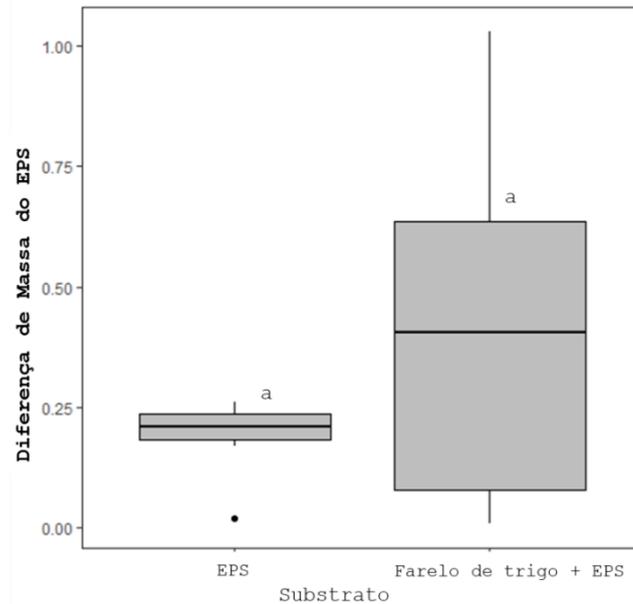
Figura 2. Variação da sobrevivência das larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) após 40 dias sob diferentes dietas: farelo de trigo, EPS e farelo de trigo + EPS. UNIPAM, Patos de Minas - MG, 2024. Cada caixa inclui os dados entre o 1º e 3º quartil, representados pelas linhas horizontais da lateral das caixas, e a mediana pela linha horizontal dentro da caixa. Caixas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) considerando um intervalo de confiança de 95%



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

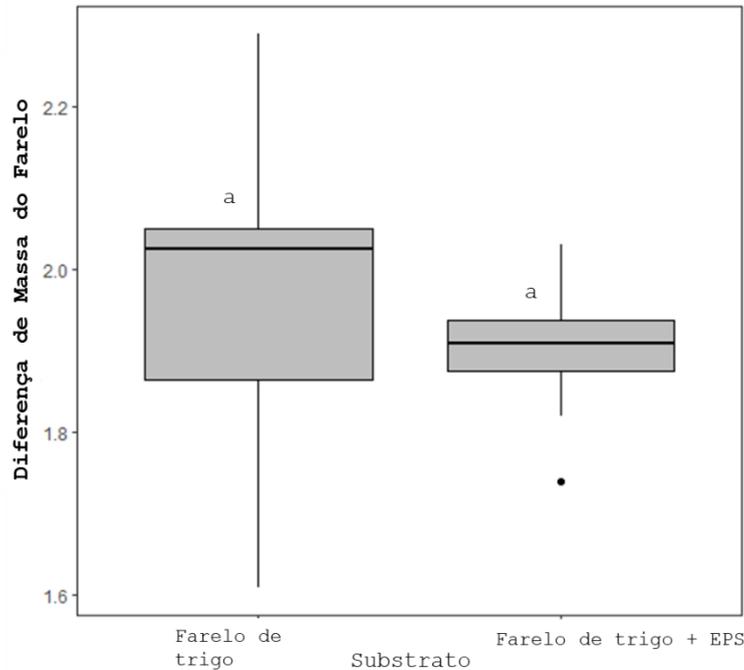
LARVA DE *TENEBRIO MOLITOR* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)
NA BIODEGRADAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO

Figura 3: Variação da Diferença de Massa do EPS após 40 dias, quando disponibilizado EPS e farelo de trigo + EPS como dieta para larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). UNIPAM, Patos de Minas - MG, 2024. Cada caixa inclui os dados entre o 1º e 3º quartil, representados pelas linhas horizontais da lateral das caixas, e a mediana pela linha horizontal dentro da caixa. Caixas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon ($p > 0,05$) considerando um intervalo de confiança de 95%.



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Figura 4: Variação da Diferença de Massa do farelo de trigo após 40 dias, quando disponibilizado farelo de trigo e farelo de trigo + EPS como dieta para larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). UNIPAM, Patos de Minas - MG, 2024. Cada caixa inclui os dados entre o 1º e 3º quartil, representados pelas linhas horizontais da lateral das caixas, e a mediana pela linha horizontal dentro da caixa. Caixas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste T ($p > 0,05$), considerando um intervalo de confiança de 95%.



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

O estudo de Yang, Y. *et al.* (2015) demonstrou que *Tenebrio molitor* converte aproximadamente metade do poliestireno expandido (EPS) consumido em dióxido de carbono, enquanto a outra metade é excretada sob a forma de fragmentos parcialmente decompostos, sem efeitos adversos aparentes à saúde das larvas. No entanto, investigações mais recentes, como as de Ndotono *et al.* (2024), indicam que a sobrevivência de larvas alimentadas exclusivamente com EPS diminui progressivamente, sugerindo que essa dieta é nutricionalmente inadequada e que a co-alimentação com farelo de trigo representa uma alternativa mais viável. Ademais, a diversidade microbiana intestinal parece ser significativamente influenciada pela dieta, sendo mais elevada em regimes alimentares mistos do que em dietas compostas exclusivamente por plástico. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram essa perspectiva, uma vez que as larvas mantidas unicamente com EPS apresentaram maior taxa de mortalidade.

Uma possível explicação para o aumento da mortalidade das larvas é a combinação de fatores nutricionais e fisiológicos. A nutrição desempenha um papel fundamental na sobrevivência dos insetos, fornecendo nutrientes essenciais para a manutenção metabólica, crescimento e reprodução (Behmer, 2008; Gullan; Cranston, 2017). Quando submetidas a uma dieta composta exclusivamente por poliestireno

expandido (EPS), observa-se redução significativa da massa corporal das larvas, uma vez que esse polímero não constitui uma fonte alimentar convencional, tampouco oferece um perfil nutricional balanceado.

Além disso, fatores fisiológicos podem intensificar os efeitos adversos decorrentes da alimentação com poliestireno expandido. Estudos recentes apontam o aumento da atividade de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo (Zhong *et al.*, 2024), bem como a ocorrência de toxicidade na hemolinfa e nas glândulas digestivas (Ventura *et al.*, 2024). Além disso, a elevação dos níveis de enzimas como álcool/aldeído desidrogenase (AADH) e lactato desidrogenase (LDH) nos tecidos pode comprometer severamente a saúde e a sobrevivência dos organismos expostos (Gagné *et al.*, 2023).

Outro fator relevante é o comportamento canibalístico observado entre as larvas, o qual está associado à atividade de quitinase presente em suas secreções digestivas, conforme descrito por Saxena e Sarin (1972). A interação entre esses três elementos, dieta nutricionalmente inadequada, alterações fisiológicas induzidas pelo estresse e comportamento canibalístico, oferece uma explicação plausível para a redução da massa corporal e o aumento da mortalidade em larvas mantidas sob dieta restrita ao EPS.

Os achados deste estudo diferem dos resultados apresentados por Cucini *et al.* (2020), que observaram que o consumo de EPS não interfere na sobrevivência das larvas de *T. molitor*. No entanto, é amplamente reconhecido que a dieta padrão dessa espécie é baseada em farelo de trigo, uma fonte rica em proteínas essenciais para o desenvolvimento larval (Menezes *et al.*, 2014). Isso explica o fato de as larvas alimentadas com farelo de trigo apresentarem maior taxa de sobrevivência e ganho de massa corporal, em comparação àquelas submetidas à dieta exclusiva de EPS.

O aumento da massa larval observado no tratamento que combinou farelo de trigo + EPS pode ser explicado pela plasticidade alimentar dos Coleópteros, que possuem grande capacidade de adaptação a diferentes fontes alimentares e colonizam diversos ecossistemas (Pereira; Salvadori, 2006). Além disso, Yang, S. *et al.* (2018) sugerem que a combinação de poliestireno com uma fonte adicional de energia e água pode aumentar a resistência fisiológica das larvas, reduzindo o estresse associado à ingestão de um alimento não natural.

Recomenda-se, para investigações futuras, a realização de estudos com amostras maiores, acompanhando o desenvolvimento das larvas ao longo do ciclo de vida e avaliando a influência de fatores ambientais, como temperatura e umidade, sobre a biodegradação. Ademais, novas pesquisas devem explorar a capacidade de *T. molitor* em degradar outros polímeros, como polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC), de modo a ampliar o entendimento sobre seu potencial biotecnológico na gestão de resíduos plásticos.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que *Tenebrio molitor* apresenta capacidade de consumir e degradar poliestireno expandido (EPS), reforçando seu potencial biotecnológico na biodegradação de plásticos. No entanto, observou-se que a sobrevivência e o crescimento das larvas foram significativamente influenciados pela

dieta, com maior mortalidade e menor ganho de massa no grupo alimentado exclusivamente com EPS. Esses resultados indicam que, embora *T. molitor* seja capaz de metabolizar poliestireno expandido, a ausência de uma fonte alimentar complementar pode comprometer seu desenvolvimento.

A adição de farelo de trigo na dieta das larvas proporcionou maior taxa de sobrevivência e maior crescimento corporal, sugerindo que a presença de uma fonte nutricional balanceada pode melhorar a eficiência da degradação do EPS. Esses achados corroboram estudos anteriores que apontam a plasticidade alimentar dos Coleópteros e sua capacidade de adaptação a diferentes substratos.

REFERÊNCIAS

BEHMER, S. T. Nutrition in Insects. *In: Nutrition in Insects. In: Encyclopedia of Entomology*. Springer, Dordrecht. Disponível em: https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7_2923

BRADNEY, L. *et al.* Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. **Environment International**, v. 131, p. 104937, out. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.104937>.

CUCINI, C. *et al.* Bacterial and fungal diversity in the gut of polystyrene-fed *Alphitobius diaperinus* (Insecta: coleoptera). **Animal Gene**, v. 17-18, p. 200109, set. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.angen.2020.200109>.

GAGNÉ, F. *et al.* Evidence of polystyrene nanoplastic contamination and potential impacts in *Mya arenaria* clams in the Saint-Lawrence estuary (Canada). **Comparative Biochemistry And Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 266, p. 109563, abr. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109563>.

GOLWALA, H. *et al.* Solid waste: an overlooked source of microplastics to the environment. **Science of The Total Environment**, v. 769, p. 144581, maio 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144581>.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Insetos: fundamentos da Entomologia**. 5. ed São Paulo: Roca, 2017.

MACHADO FILHO, H. de O.; FERREIRA, A. C. M.; SOARES, D. R. Replicação de fósseis de foraminifera utilizando reaproveitamento de “isopor” com alunos do IFPB-CG. **Holos**, v. 4, p. 159-170, 2011. DOI: 10.15628/holos.2011.624. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/624>.

MENEZES, C. W. G. *et al.* A dieta alimentar da presa *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pode afetar o desenvolvimento do predador *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae)? **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 3, p. 250-256, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657001212012>.

NDOTONO, E. W. *et al.* Mitogenomic profiling and gut microbial analysis of the newly identified polystyrene-consuming lesser mealworm in Kenya. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, 12 set. 2024. **Springer Science and Business Media LLC**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-72201-9>.

OLIVEIRA, L. S. de. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del-Rei, São João del Rei, 2013. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=122906

PEREIRA, P. R. V. DA S.; SALVADORI, J. R. **Identificação dos principais Coleoptera (Insecta) associados a produtos armazenados**. Embrapa, 2006. (Documentos Online)

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.

SAXENA, S. C.; SARIN, K. Chitinase in the Alimentary Tract of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (PANZER) (Coleoptera: tenebrionidae). **Applied Entomology And Zoology**, v. 7, n. 2, p. 94-94, 1972. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1303/aez.7.94>.

VENTURA, E. *et al.* Are mixtures of micro/nanoplastics more toxic than individual micro or nanoplastic contamination in the clam *Ruditapes decussatus*? **Marine Pollution Bulletin**, v. 206, p. 116697, set. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116697>.

YANG, S. S. *et al.* 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, jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>.

YANG, Y. *et al.* Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: part 2. role of gut microorganisms. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 20, p. 12087-12093, 1 out. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b02663>.

ZHONG, Z. *et al.* Bio-based microplastic polylactic acid exerts the similar toxic effects to traditional petroleum-based microplastic polystyrene in mussels. **Science of The Total Environment**, v. 946, p. 174386, out. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174386>.