

POR DENTRO DA COMPOSTAGEM: CANAL ALIMENTAR DE *Hermetia illucens* (LINNAEUS, 1758) (DIPTERA: STRATIOMYIDAE) E AS VANTAGENS ECONOMICASDOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.I-003>

Stefany Rodrigues de Oliveira (*), Ronaldo Tait Caleffe, Hélio Conte

* Órgão Regulador do Consórcio Intermunicipal de Saneamento do Paraná - ORCISPAR

RESUMO

O descarte inadequado de resíduos orgânicos vem causando poluição e prejuízos ao meio ambiente, no entanto diversas alternativas vêm sendo criadas para remediar e diminuir estes impactos, e uma delas é a compostagem por bioconversão utilizando imaturos de *Hermetia illucens*, estes são insetos generalistas com um grande potencial biotecnológico, como fonte de peptídeos antimicrobianos, na entomologia forense, nutrição animal e na bioconversão de resíduos orgânicos, dessa forma o trabalho teve como objetivo descrever o canal alimentar das larvas de *Hermetia illucens*, e identificar sua função na decomposição de resíduos orgânicos. Os ovos de *H. illucens* foram obtidos comercialmente da Protin Biotech Ltda (Itapevi – SP – Brasil) e mantidos a 25 ± 2 °C, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e fotoperíodo de 12:12 h (luz: escuro). As larvas foram alimentadas com dieta artificial para dípteros dez larvas foram crioanestizadas a 4 °C por 5 minutos e o canal alimentar dissecado em solução salina para insetos (0,1M NaCl; 0,2M Na₂HPO₄; 0,2M KH₂PO₄). O canal alimentar foi transferido para uma parafina banhada e fotografada usando o estereomicroscópio Zeiss (Carl Zeiss, Alemanha). O canal alimentar das larvas de BSF é um tubo longo dividido em três regiões, intestino anterior, intestino médio e intestino posterior. O intestino anterior é o menor e composto por esôfago e cárdia, sem um papo. O intestino médio é o maior órgão, em forma tubular, com dobras na cavidade corporal e sem suco gástrico. O intestino posterior tem forma tubular, com músculos longitudinais e se prolonga até o reto. O canal alimentar das larvas de BSF possui diversas estruturas que favorecem a decomposição de resíduos, o intestino é dividido em três partes, onde cada parte apresenta sua função de forma fundamental na compostagem. Durante a bioconversão ocorrem dois produtos sendo um desses o fertilizante, rico em nutrientes muito importantes na fertilização vegetal, e as próprias larvas que representam grande fonte de gordura e proteína, que pode ser utilizado na indústria de nutrição animal.

PALAVRAS-CHAVE: Bioconversão, Sistema digestivo, Resíduos orgânicos, Morfologia**ABSTRACT**

The improper disposal of organic waste has been causing pollution and damage to the environment, however several alternatives have been created to remedy and reduce these impacts, and one of them is composting by bioconversion using immature *Hermetia illucens*, these are generalist insects with great biotechnological potential, as a source of antimicrobial peptides, in forensic entomology, In this way, the work aimed to describe the feeding channel of *Hermetia illucens* larvae, and to identify its function in the decomposition of organic waste. *H. illucens* eggs were commercially obtained from Protin Biotech Ltda (Itapevi – SP – Brazil) and kept at 25 ± 2 °C, $70 \pm 10\%$ relative humidity and photoperiod of 12:12 h (light: dark). Ten larvae were cryoanesthetized at 4 °C for 5 minutes and the alimentary canal was dissected in saline solution for insects (0.1M NaCl; 0.2M Na₂HPO₄; 0.2M KH₂PO₄). The alimentary canal was transferred to a plated paraffin and photographed using the Zeiss stereomicroscope (Carl Zeiss, Germany). The alimentary canal of BSF larvae is a long tube divided into three regions, foregut, midgut, and hindgut. The foregut is the smallest and is made up of the esophagus and cardia, without a crop. The midgut is the largest organ, tubular in shape, with folds in the body cavity and no gastric juice. The posterior intestine is tubular in shape, with longitudinal muscles and extends to the rectum. The food channel of BSF larvae has several structures that favor the decomposition of waste, the intestine is divided into three parts, where each part has its function in a fundamental way in composting. During bioconversion, two products occur, one of which is fertilizer, rich in nutrients that are very important in plant fertilization, and the larvae themselves, which represent a great source of fat and protein, which can be used in the animal nutrition industry.

KEY WORDS: Bioconversion, Digestive System, Organic Waste, Morphology

INTRODUÇÃO

As larvas da mosca soldado negro (BSF) (*Hermetia illucens*) são detritívoros terrestres generalistas com aplicação biotecnológica. Isso inclui entomologia forense, ração animal, reciclagem de nutrientes e fonte de peptídeos antimicrobianos (Xia et al., 2021). São conhecidas por converter uma gama de substratos orgânicos em alta biomassa larval, proteínas e lipídios (Barragan-Fonseca et al., 2017). A distribuição nativa das BSF é no Novo Mundo e atualmente sua distribuição é global, no entanto toda a população dessa espécie encontrada no Velho Mundo foi introduzida (Kaya et al., 2021).

O canal alimentar dos insetos é dividido em três regiões I – anterior; II – médio e III – posterior (Snodgrass, 2018). Foram analisados o trato digestivo de diversos insetos como os Neuroptera, Díptera, Coleóptera, Hemíptera e Lepidoptera. Embora a morfologia de diversas espécies está descrita, é necessária uma descrição detalhada do canal alimentar de *H. illucens* para melhor compreensão da sua biologia e seu potencial biotecnológico.

O descarte inadequado de resíduos orgânicos causa prejuízo e poluição ao meio ambiente. A grande maioria desses resíduos podem ser reaproveitados, e bioconvertidos como cascas e restos de comida, que são frequentemente descartados. Na bioconversão por BSF, é possível utilizar diversos resíduos orgânicos, que colaboram com a minimização dos impactos ambientais, com a produção de fertilizantes orgânicos, que se mostra uma alternativa viável e sustentável (Silva, 2022), elas também são capazes de transformar restos de comida em proteínas e gorduras de alta qualidade, se tornando uma opção para a nutrição, sendo substitutos favoráveis na nutrição de alguns animais de consumo (Diener et al., 2011).

Pesquisas com os aspectos morfológicos do trato digestivo são cruciais para entender a organização de cada organismo e o conhecimento de sua fisiologia é possível otimizar o processo e obter melhores produtos (Fernandes et al., 2023). O objetivo desse trabalho descrever o canal alimentar das larvas de *Hermetia illucens*, e identificar sua função na decomposição de resíduos orgânicos.

OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivo descrever o canal alimentar das larvas de *Hermetia illucens*, e identificar sua função na decomposição de resíduos orgânicos.

METODOLOGIAS

Os ovos de *H. illucens* foram obtidos comercialmente da Protin Biotech Ltda (Itapevi – SP – Brasil) e mantidos a 25 ± 2 °C, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e fotoperíodo de 12:12 h (luz: escuro). As larvas foram alimentadas com dieta artificial para dípteros.

Anatomia

Dez larvas foram crioanestezizadas a 4 °C por 5 minutos e o canal alimentar dissecado em solução salina para insetos (0,1M NaCl; 0,2M Na₂HPO₄; 0,2M KH₂PO₄). O canal alimentar foi transferido para uma parafina banhada e fotografada usando o estereomicroscópio Zeiss (Carl Zeiss, Alemanha)

Microscopia de luz

Dez larvas foram crioanestezizadas a 4 °C por 5 minutos e o canal alimentar dissecado em solução salina para insetos. As amostras foram transferidas para Bouin alcoólico (7,5 mL de formaldeído, 2,5 mL de ácido pícrico e 0,5 mL de ácido acético) por 24 horas. Posteriormente, eles foram desidratados em uma série de etanol graduado (70, 80, 90, 100), diafanizados em xilol e incorporados em parafina. Eles foram seccionados com um micrótomo Leica RM 2250 (6 seções µm), lâminas manchadas com hematoxilina e eosina (H/E) e documentadas sob um microscópio Omicron Medical.

Microscopia eletrônica de varredura

Dez larvas foram crioanestezizadas a 4 °C por 5 minutos e o canal alimentar dissecado em solução salina para insetos. As amostras foram transferidas para o Bouin alcoólico por 24 horas. Posteriormente, eles foram desidratados em uma série de etanol graduado, secos em um secador de ponto crítico (Leica CPD 030-BALTEC), cobertos de ouro (metalizador Shimadzu IC-50) e analisados com microscópio eletrônico de varredura (QUANTA 250-FEI).

Revisão Bibliográfica

Ocorreu buscas nas plataformas científicas, IEEE, Scielo, Science direct, Scopus, Google Scholar e Web of science, foram buscados artigos de 2020 a 2025, e foram selecionados 10 artigos que mais se adequavam ao tema

RESULTADOS

O canal alimentar das larvas de BSF é um tubo longo dividido em três regiões, intestino anterior, intestino médio e intestino posterior (Fig. 1). O intestino anterior é o menor e é composto pelo esôfago e cárdia. Na porção final do intestino anterior, a cárdia apresenta formato de bulbo e numerosas inserções de traqueia (Fig. 2A – B). O intestino médio possui a maior porção, e tem forma tubular com dobras na cavidade corporal e sem suco gástrica. Possui também numerosas inserções de traqueias e feixes de músculos longitudinais e horizontais (Fig. 2C – D). Na porção final do intestino médio, há uma bifurcação onde ocorrem os túbulos de Malpighi (Fig. 2E). O intestino grosso também tem forma tubular, com músculos longitudinais e prolonga-se até o reto (Fig. 2F).

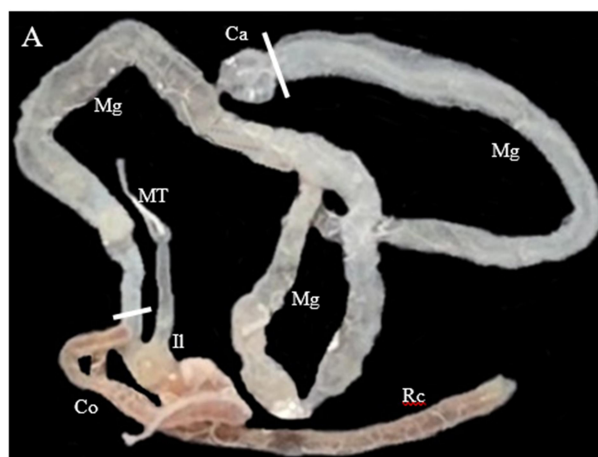


Figura 1. Canal alimentar de larvas de *Hermetia illucens* observadas em estereomicroscópio. Ca=cardia; Mg=intestino médio; Mt=tubos Malpighi; Il=íleo; Co=cólon; Rc=reto; barras indicam a delimitação dos intestinos.

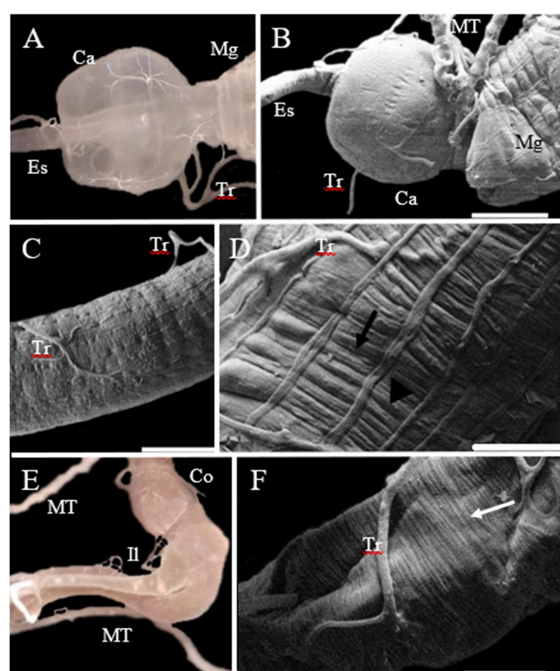


Figura 2. Canal alimentar de larvas de *Hermetia illucens* observadas em estereomicroscópio (A e E) e microscópio eletrônico de varredura (B, C, D e F). (A e B) Conexão do intestino anterior com o intestino médio, Ca = cárdia; Es=esôfago; Tr=traqueia; Mg=intestino médio; MT=Túbulos de Malpighi. (C e D) intestino médio, tr=traqueia; Seta=músculos longitudinais; Cabeça de seta = músculos horizontais. (E) Conexão do intestino médio com o intestino grosso, com uma bifurcação do intestino médio onde ocorrem os túbulos de Malpighi, MT=Tubulos de Malpighi; Hg = intestino grosso; Mg = intestino médio. (F) Intestino Grosso, Tr=traqueias; Seta = músculos longitudinais.

A nível histológico, o epitélio do esôfago possui uma única camada de células achatadas revestidas pela íntima. Na conexão do intestino anterior com o intestino médio, a cárdia apresenta uma estrutura mais complexa. A invaginação do esôfago forma a válvula cardíaca (Fig. 4A), e externamente existem células proventriculares, que são colunares, núcleo central (Fig. 4B) e apresentam matriz peritrófica no lúmen (Fig. 4E e F). O intestino médio é um epitélio de camada única e pode ser dividido em três regiões de acordo com a morfologia celular (Fig. 4). A parte inicial compreende células colunares com bordas em escova (Fig. 4C). Em seguida, há uma ligeira redução do intestino médio e a presença de células de cobre (Fig. 4D) e, posteriormente, uma dilatação onde células achatadas com borda em escova estão presentes (Fig. 4E). A parte final é caracterizada por células colunares, também com borda em escova (Fig. 4F). O epitélio assenta em feixes de músculos horizontais e longitudinais (Fig. 4F) e apresenta células regenerativas em todas as regiões. A matriz peritrófica se estende do interior da cárdia ao piloro, formando múltiplas camadas (Fig. 4E e F).

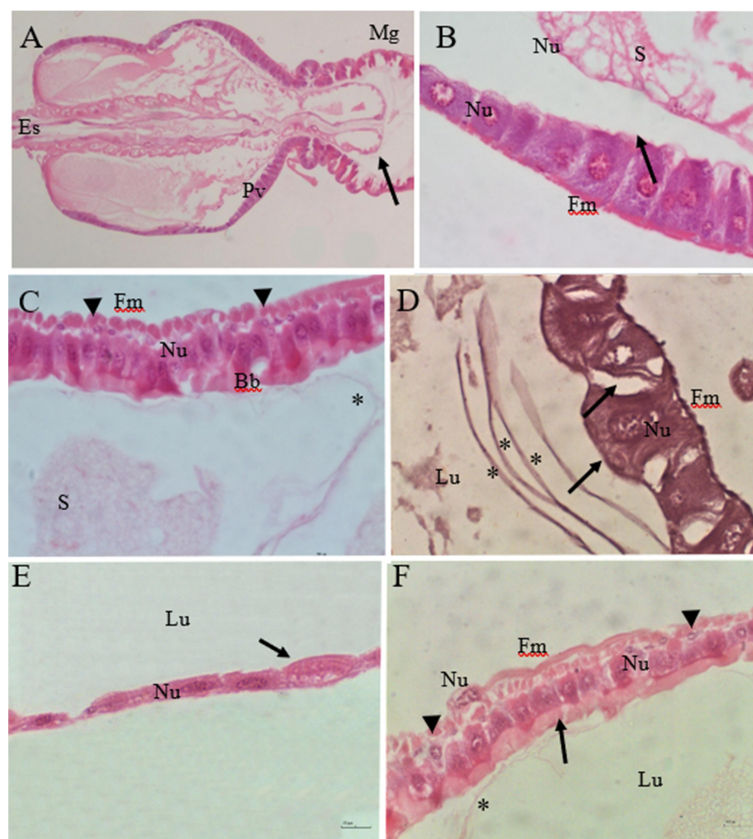


Figura 3. Intestino anterior e médio de larvas de *Hermetia illucens* observadas em microscópio óptico coradas com hematoxilina / eosina. (A) Corte longitudinal da cárdia, Es = esôfago; Pv=células proventriculares; Mg=intestino médio; Seta = invaginação do esôfago. (B) Células do proventriculo, Fm = fibra do músculo; Nu=núcleo; Seta=matriz peritrófica; S = secreção. (C) Células colunares da primeira parte do intestino médio, Fm = fibra do músculo; Cabeça de seta = células regenerativas; Bb=borda em escova; Nu=núcleo; S=secreção; *=matriz peritrófica. (D) Células taça, Fm = fibra dos músculos; Seta = bordas do pincel; Lu=lúmen; *=matriz peritrófica. (E) Parte média do intestino médio, Nu = núcleo; Lu = lúmen, Seta = borda do pincel. (F) Parte final do intestino médio, Fm = fibra dos músculos; Nu=núcleo; Lu=lúmen; *=matriz peritrófica; Seta = borda do pincel; Cabeça de seta = células regenerativas.

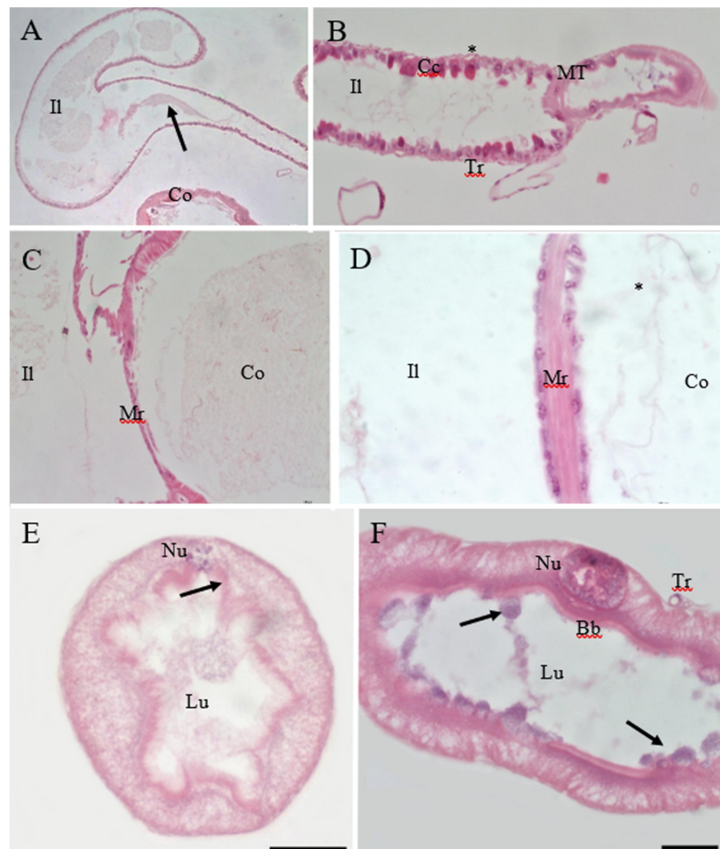


Figura 4. Intestino posterior de larvas de *Hermetia illucens* observadas em microscópio óptico coradas com hematoxilina/eosina. (A) Bifurcação do íleo, Il=íleo; co=colon; A seta indica o conteúdo do lúmen. (B) Fixação dos túbulos de Malpighi no íleo, Il = íleo, * = fibra do músculo; Tr=traqueia; Cc=células colunares; MT=Túbulos de Malpighi. (C) Anel muscular entre o íleo e o cólon, Mr=anel muscular; Il=íleo; Co=dois pontos. (D) Ampliação do anel muscular, Mr=anel muscular; Il=íleo; Co=dois pontos. (E) Vista transversal dos túbulos de Malpighi, Lu = lúmen; Seta = borda do pincel; Nu=núcleo. (F) Visão longitudinal dos túbulos de Malpighi, Nu = núcleo; Tr=traqueia; Bb=borda do pincel; as setas indicam vesículas no lúmen; Lu=lúmen

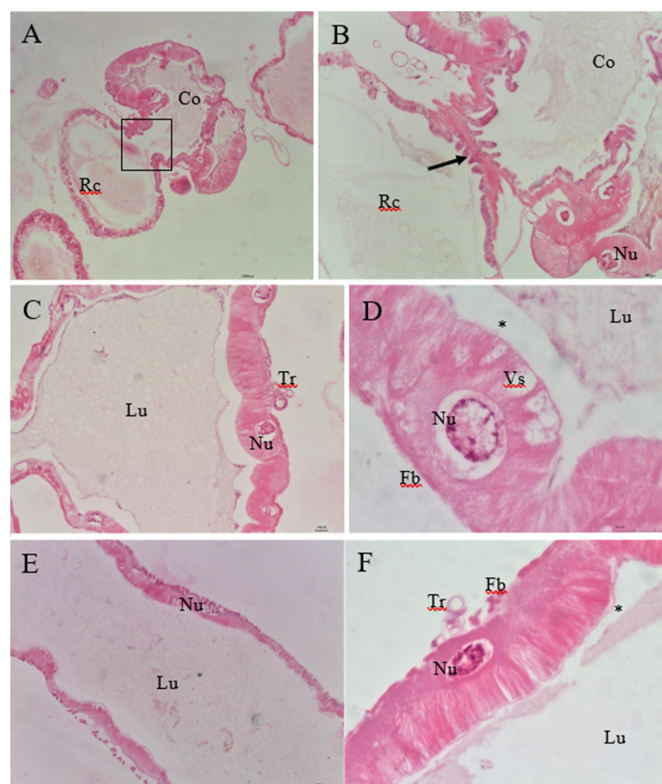
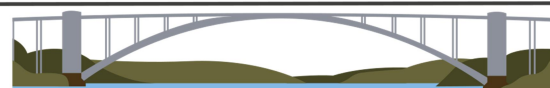


Figura 5. Intestino posterior de larvas de *Hermetia illucens* observadas em microscópio óptico coradas com hematoxilina/eosina. (A) Válvula retal, Rc = reto; Co=cólon. (B) Ampliação da válvula retal, Seta = válvula retal; Nu=núcleo; Co=cólon; Rc = reto. (C) Cólon, Lu = lúmen; Nu=núcleo; Tr=traqueia. (D) Célula cubóide do cólon, Fb = fibra do músculo; Nu=núcleo; Lu=lúmen; Vs = vesícula; *=intimação. (E) Reto, Lu = lúmen; Nu=núcleo. (F) Célula cubóide do reto, Nu = núcleo; Lu=lúmen; Fb=fibra do músculo; Tr=traqueia.

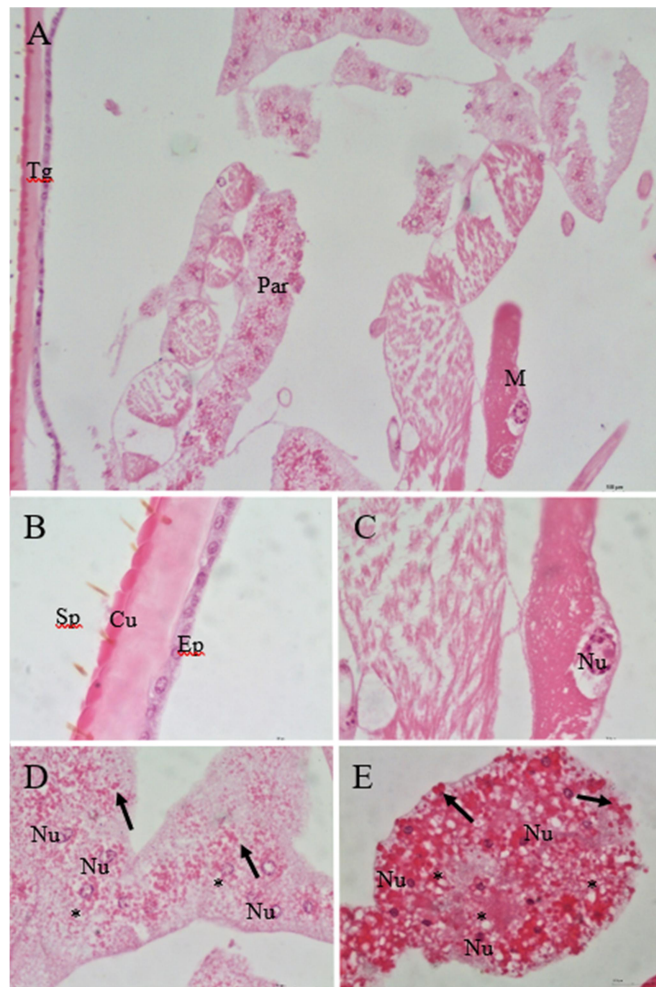


Figura 6. Corpo gorduroso de larvas de *Hermetia illucens* observadas em microscópio óptico coradas com hematoxilina/eosina. (A) Corpo adiposo parietal, Tg = tegumento; Par=corpo gorduroso parietal; M = músculos intersegmentares. (B) Tegumento, Sp = espinhos; Cu=cutícula; Ep=epiderme. (C) Músculo intersegmentar, Nu = núcleo. (D) Corpo adiposo parietal, * = gotícula lipídica; Nu=núcleo; as setas indicam grânulos no citoplasma. (E) Corpo adiposo perivisceral, Nu=núcleo; as setas indicam grânulos no citoplasma; *=gotícula lipídica.

O intestino médio foi descrito tanto morfológicamente quanto bioquimicamente por Bonelli et al. (2019). Eles analisaram a caracterização estrutural e funcional do mesmo e dividiram o órgão em três regiões: anterior (AMG), média (MMG) e posterior (PMG). O AMG apresenta pH 6,0 e é caracterizado pela secreção de enzimas digestivas, como α -amilase e lipases. Esta porção é responsável pela digestão dos polissacarídeos ingeridos. Na primeira porção da MMG, existem células taça, que atuam por acidificação do lúmen (pH 2,0) e na porção final da MMG as células colunares secretam lisozimas, responsáveis pela destruição de microrganismos. O PMG apresenta pH 8,5 e na primeira porção secreta endopeptidases e a porção final secreta endopeptidases, exopeptidases e lipases, importantes para a digestão de proteínas. O tamanho do intestino médio permite a regionalização, que está relacionada ao seu hábito alimentar e conversão de substratos orgânicos. Em nossos dados, observamos as três regiões indicadas por Bonelli et al. (2019), caracterizadas pela morfologia das células. Não observamos células endócrinas, pois esse tipo de célula só é indicado por microscopia eletrônica de transmissão, o que não foi realizado por nós. Além disso, os corpos gordurosos das larvas de dípteros liberam peptídeos antimicrobianos na hemolinfa, atuando na resposta imune da mesma (Xia et al., 2021; Perez et al., 2021). A presença de fatores antimicrobianos, tanto do intestino médio quanto do corpo gorduroso, desempenha um papel fundamental na capacidade das larvas de se alimentarem de matéria orgânica com presença de microrganismos. Várias pesquisas utilizam essas moléculas para prospectar novos antibióticos, a fim de substituir as moléculas utilizadas, que certas bactérias demonstraram resistência desde o século passado.

O esôfago compreende células achatadas revestidas pela íntima, semelhantes a várias ordens de insetos (Snodgrass, 2018). Os túbulos de Malpighi de larvas de BSF são apresentados em número igual a outros imaturos de dípteros e sua função é homeostase, remoção de produtos nitrogenados, defesas imunológicas e desintoxicação (Caleffe et al., 2022; Ospina-Perez et al., 2019; Rigoni et al., 2014). Sua posição na conexão do intestino médio e do intestino posterior é comum entre os insetos (Snodgrass, 2018; Chapman, 2014). Embora a semelhança na posição, a extremidade distal deles está ligada a uma bifurcação presente no íleo. Os resíduos alimentares do intestino médio passam para o intestino grosso e se misturam com produtos das trompas de Malpighi. As células do epitélio do intestino grosso reabsorvem água e íons e liberam para a hemolinfa (Chapman, 2014).

Diversos autores descrevem a eficiência das larvas *H. illucens* na decomposição de resíduos orgânicos (Silva et al., 2017; Oliveira et al., 2023). Cascas de alimentos podem ser usadas para a compostagem, por serem ricas em nutrientes, é possível utilizar a borra de café, bagaço de milho, tomate, restos de alimentos, esterco de animais e vários outros. Dessa forma, percebe-se que todos os tipos de alimentos ou cascas que seriam descartados podem ser reaproveitados e transformados em adubo orgânico, ajudando no desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, reduzindo as perdas de matéria orgânica no dia a dia (Fernandes et al., 2023). As larvas de *H. illucens*, se destacam por ser uma opção sustentável. Elas são capazes de transformar restos de comida em proteínas e gorduras de alta qualidade, se tornando uma opção para a nutrição, sendo substitutos favoráveis na nutrição de alguns animais de consumo (Diener et al., 2011). Durante a bioconversão as larvas produzem também um fertilizante natural é rico em matéria orgânica e nitrogênio. Ele é um excelente adubo que fornece nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Oliveira et al., 2023).

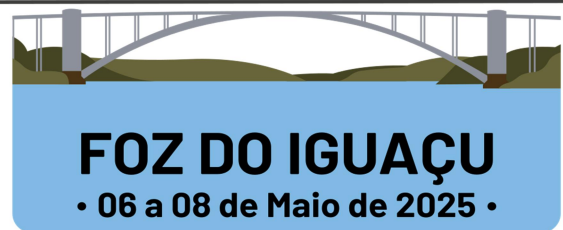
CONCLUSÕES

O canal alimentar das larvas de BSF possui diversas estruturas que favorecem a decomposição de resíduos, o intestino é dividido em tres partes, onde cada parte apresenta sua função de forma fundamental na compostagem. Durante a bioconversão ocorrem dois produtos sendo um desses o fertilizante, rico em nutrientes muito importantes na fertilização vegetal, e as próprias larvas que representam grande fonte de gordura e proteína, que pode ser utilizado na industria de nutrição animal.

Sendo assim, esse inseto apresenta uma grande vantagem no tratamento de resíduos orgânicos, e os produtos originários desse processo são também de alto valor, contribuindo diretamente na sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M., Van Loon, J.J. **Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review.** Journal of Insects as Food and Feed, 3, 2, 105-120, 2017.
2. Bonelli, M., Bruno, D., Caccia, S., Sgambetterra, G., Cappellozza, S., Jucker, C., Tettamanti, G., Casartelli, M. **Structural and functional characterization of *Hermetia illucens* larval midgut.** Frontiers in Physiology, 10, p. 204, 2019.
3. Caleffe, R. R. T., de Oliveira, S. R., Amat, E., Gomez-Piñerez, L. M., Daquila, B. V., Ruvulo-Takasusuki, M. C. C., Conte, H. **Larval internal morphology of the introduced blowfly *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) (Diptera: Calliphoridae).** Zoologischer Anzeiger, 310, 23-33, 2024.
4. Chapman, R. F. **The insects: structure and function.** Cambridge university press 2014.
5. Diener, S., Zurbrugg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. **Black soldier fly larvae for organic waste treatment-prospects and constraints.** Proceedings of the WasteSafe, 2, 13-15, 2011.
6. Fernandes, A. C. D. S., Ribeiro, I. B., Luizato, P. A. S. A., Almeida, W. D. S. **Comparação do desenvolvimento das plantas através do uso de biofertilizantes oriundos da compostagem de resíduos orgânicos,** 2023.
7. Kaya, C., Generalovic, T. N., Ståhls, G., Hauser, M., Samayoa, A. C., Nunes-Silva, C. G., ... & Sandrock, C. **Global population genetic structure and demographic trajectories of the black soldier fly, *Hermetia illucens*.** BMC biology, 19, 1, 94, 2021.
8. Oliveira, K. J. P., Viana, M. L., da Silva Rodrigueiro, M. M., Neto, M. M., Oliveira, K. S. M., de Oliveira Moraes, F. J., ... & dos Santos, P. S. B. **UTILIZAÇÃO de resíduos na alimentação das larvas de moscas soldado negro (*Hermetia illucens*): revisão sistemática da literatura.** RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, 4(5), e452989-e452989, 2023.
9. Ospina-Pérez, E. M., Campeón-Morales, O. I., Richardi, V. S., & Rivera-Páez, F. A. **Histological description of immature *Chironomus columbiensis* (Diptera: Chironomidae): A potential contribution to environmental monitoring.** Microscopy Research and Technique, 82, 8, 1277-1289, 2019.



10. Pérez, C., Díaz-Roa, A., Bernal, Y., Arenas, N. E., Kalume, D. E., Côrtes, L. M. D. C., ... & Bello, F. J. **Characterising four *Sarconesiopsis magellanica* (Diptera: Calliphoridae) larval fat body-derived antimicrobial peptides.** Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 116, e200587, 2021.
11. Rigoni, G. M., & Conte, H. **Malpighian tubules in larvae of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera; Crambidae): A morphological comparison between non-parasitized and parasitized by *Cotesia flavipes* (Hymenoptera; Braconidae).** Advances in Entomology, 2, 04, 202, 2014.
12. Silva, K. R. D., Costa, C. D. A., Oliveira, I. V. D., & Cruz, W. P. D. **Criação de larvas da mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) e compostagem de resíduos orgânicos.** Cadernos de Agroecologia, 13, 1, 2018.
13. Snodgrass, R. E. **Principles of insect morphology.** Cornell University Press, 2018.
14. Xia, J., Ge, C., & Yao, H. **Antimicrobial peptides from black soldier fly (*Hermetia illucens*) as potential antimicrobial factors representing an alternative to antibiotics in livestock farming.** Animals, 11, 7, 1937, 2021.