UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

RAFAEL CASTELFRANCHI DE OLIVEIRA

Avaliação do reaproveitamento de diferentes resíduos orgânicos pela mosca-soldado-negro, *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), para produção de proteína de inseto e húmus

Piracicaba
2022

RAFAEL CASTELFRANCHI DE OLIVEIRA

Avaliação do reaproveitamento de diferentes resíduos orgânicos pela mosca-soldado-negro, *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), para produção de proteína de inseto e húmus

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Araújo Mastrangelo

Piracicaba

2022

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Oliveira, Rafael Castelfranchi de

Avaliação do reaproveitamento de diferentes resíduos orgânicos pela Mosca-Soldado-Negro, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), para produção de proteína de inseto e humus / Rafael Castelfranchi de Oliveira; orientador Thiago de Araújo Mastrangelo. - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

100 p.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Alimentação animal 2. Economia circular 3. Fertilizantes 4. Moscas 5. Resíduos orgânicos 6. Sustentabilidade I. Título

CDU 628.4.042 : 595.77

Elaborada por:

Marilia Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB Nº 184 de 29 de setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Sem dúvidas, para existir a possibilidade deste projeto ocorrer foi necessária uma construção de vida, que se iniciou em visitas à natureza. Às formações que participei, agradeço aos ensinadores e demais pessoas que contribuíram, em especial a meus pais, vó e também à Profa. Ana Carol da graduação, que sempre acreditou nas ideias que tive para os projetos que construímos.

Em especial para o início deste projeto, ao ex-sócio e Professor Casé Oliveira Bugs Cook, que em outubro de 2018 respondeu minhas mensagens sobre a BSF com entusiasmo, palavras e ações de incentivo a trilhar este caminho, chegando até a iniciarmos uma pequena produção de BSF, tenébrios molitor e gigante e baratas cinéreas, red runner e de madagasgar com o parceiro Gabriel, em São Paulo.

Aos Professores Fabiana e Eron da UNIFESP Diadema, por acreditarem no projeto em 2019 e me orientarem no que fosse necessário. A esta Universidade Federal por viabilizar minha participação no 1º INSETEC no mesmo ano, evento onde conheci pessoas movidas pelo potencial econômico e alimentar dos insetos.

Ao meu atual orientador, Prof. Thiago, que conheci neste evento, e concordou em iniciarmos o projeto em maio de 2020, início da pandemia; agradeço aos ensinamentos e esforços feitos para me ajudar a viabilizar o projeto durante este período ainda conturbado.

Ao João e Bruna Pisa, pelo incentivo ao projeto doando os ovos e pelas conversas e aprendizados ao longo da pesquisa.

Aos colegas de laboratório e à Lia e Luiz, sempre na retaguarda do laboratório e com boas conversas.

Ao Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia (LIARE), pela infraestrutura.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e à Comissão de Pós-Graduação (CPG) por toda disposição e auxílio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio na realização do presente trabalho.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) e professores, pelo excelente ambiente e conhecimentos ensinados.

À Universidade de São Paulo (USP).

Às equipes de limpeza e manutenção, pois sem o seu trabalho nenhuma pesquisa seria possível.

Aos amigos das antigas Heuler, Neto, João e Álvaro, por me auxiliarem durante os quase 12 meses de solidão em Piracicaba, e às novas amizades feitas na cidade após este período, pelo acolhimento e calor humano.

RESUMO

OLIVEIRA, R. C. de. **Avaliação do reaproveitamento de diferentes resíduos orgânicos pela mosca-soldado-negro, *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), para produção de proteína de inseto e húmus**. 2022. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

Na atualidade, insetos vêm sendo aliados da economia circular. Algumas características que estes organismos possuem podem auxiliar o ser humano em seus problemas cotidianos, como gestão de resíduos orgânicos, produção de ingredientes sustentáveis para alimentar a produção animal, bem como a produção de combustível e fertilizante agrícola. Entre estes invertebrados, está a mosca-soldado-negro (MSN), ou *black-soldier-fly* (BSF), Hermetia *illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). É uma espécie cosmopolita, cujas larvas apresentam capacidade de converter, em cerca de 14 dias, ampla gama de resíduos orgânicos em biomassa larval e *frass* (dejeto das larvas). Além do importante processo que diminui o peso/volume do resíduo coletado, as larvas e *frass* vêm sendo considerados como ingredientes alternativos à proteína e óleo na ração animal, bem como na adubação de plantas e produção de biodiesel. No presente trabalho, foram verificados os efeitosde diferentes densidades populacionais de larvas de MSN na conversão de quatro resíduos orgânicos, em unidades experimentais com 7kg de substrato em batelada: estercos bovino, ovinoe de galinha poedeira, e resíduo de pizzaria (bordas de pizza). Em geral, as maiores densidadesproduziram larvas menores, menores viabilidades ovo-larva, maiores taxas de redução do pesodo resíduo, bem como menores níveis de extrato etéreo larval. O teor de proteína larval varioucom a densidade nos estercos ovino e de galinhas poedeiras, sendo menores nas maiores densidades. O período larval não foi afetado pelas densidades nos estercos bovino, ovino e de galinha poedeira, apresentando médias de 13,5, 12 e 18 dias, respectivamente. O período larval no resíduo de pizzaria variou entre 12,8 e 14,8 dias, levando mais tempo nas maiores densidades.Os níveis de proteína bruta (PB) das larvas alimentadas com esterco bovino apresentaram médiade 44,43% e extrato etéreo (EE) entre 35,5-16,8%. Para larvas alimentadas com esterco ovino,a PB variou entre 44,4-40% e EE entre 14,0-3,56%. No esterco de galinha poedeira, o conteúdo de PB variou entre 38,9-31,9% e entre 15,3-2,05% de EE. Os níveis proteicos das larvas alimentadas com bordas de pizza apresentaram média de 34,64% para PB e EE de 49,42%. Os níveis deNPK dos *frass* obtidos variaram apenas quanto ao macronutriente K no esterco ovino. No restante dos resíduos, estes elementos não foram influenciados pelas densidades e estiveram acima do mínimo exigido pelo Ministério da Agricultura. Desta forma, as diferentes densidadeslarvais influenciaram mais os parâmetros biológicos do processo do que a composição nutricional dos produtos finais. Foi possível observar, na prática, o comportamento alimentar das diferentes populações de larvas em diferentes resíduos orgânicos. Informações valiosas foram geradas para o planejamento de sistemas de conversão com a MSN, podendo ser aplicados no gerenciamento de resíduos orgânicos enquanto se produz ração e fertilizante alternativos, fortalecendo, assim, a economia circular.

Palavras-chave: Mosca-soldado-negro. Gerenciamento de resíduos orgânicos. Proteína alternativa. *Frass*. Economia circular. Eficiência.

ABSTRACT

OLIVEIRA, R. C. de. **Evaluation of the reuse of different organic wastes by the Black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), for the production of insect protein and humus**. 2022. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

Currently, insects have been used as allies of circular economy. These organisms present desirable features and can help humans with some society problems, like organic waste management, sustainable livestock feeding and fuel production, as well as organic fertilizer. Among many invertebrates, one can mention the black soldier fly (BSF), *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). A species spread worldwide, whose larvae can convert, in 14 days on average, many organic waste streams into larvae and *frass* (larval humus). Besides the importance on waste weight/volume reduction, these products have been considered as an alternative protein and oil ingredients for animal feed, as well as *frass* being used in plant fertilization and the high lipid content for biodiesel production. In this work, the effects of different larval densities of BSF were verified in the conversion of four different organic wastes in experimental units with 7kg of substrate per batch: cow, sheep and laying hen manure, and pizza restaurant waste (leftover of pizza border). In overall, higher densities produced smaller larvae, egg-larvae viability and lipid content, and higher waste weight reduction rates. The different densities affected protein content on cow and sheep manure, being lower on higher populations. Larval period was not affected by density on cow, sheep and hen manure, with means of 13.5, 12 and 18 days, respectively. Larval period on pizza's waste varied between 12.8 and 14.8 days, with increased time on higher densities. The means of crude protein (CP) and lipid content (LC) on dry matter basis of cow manure were 44.43% and 35.5-16.8%, respectively. Larvae from sheep manure presented CP between 44.4-40% and LC of 14-3.56%From hen manure, protein was 34.63% and LC about 15.3-2.05%. Larvae from pizza waste presented CP ca. 34.64% and LC of 49.42%. Frass NPK levels varied only on K macronutrient on sheep manure. In the others, these elements were not affected by larval density and observed levels were above the minimum legislation required levels in Brazil by the Ministry of Agriculture. Therefore, most effects of larval density were observed on production biological parameters than in the final product composition parameters. It was possible to observe larval feeding behavior at different population levels on different organic wastes. Valuable information was generated for the planning of bioconversion systems with the BSF, and they can be applied in the management of organic wastes for the production of feed and alternate fertilizers, as well as promoting circular economy.

Key-words: Black Soldier Fly. Organic waste management. Alternative protein. *Frass*. Circular economy. Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mosca-soldado-negro adulta, Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae). 20
Figura 2. Ciclo de vida da mosca-soldado-negro. 21
Figura 3. Larvas de MSN em 20 dias de desenvolvimento. 22
Figura 4. Ovos de MSN. 22
Figura 5. Ambiente de criação das larvas de MSN. 28
Figura 6. Pesagem do resíduo borda de pizza. 29
Figura 7. Recipientes de dieta start prontos para receber os ovos. 30
Figura 8. Pesagem dos ovos. 31
Figura 9. Avaliação da viabilidade dos ovos. 32
Figura 10. Recipientes de dieta start no primeiro dia de alimentação (a); seleção de larvas para pesagem diária (b); monitoramento diário da temperatura (c); checagem eventual da atividade das larvas (d).. 33
Figura 11. Separação das larvas e do frass. 35
Figura 12. Frass congelado. 36
Figura 13. Larvas sendo abatidas (a); larvas dessecadas (b); larvas embaladas (c). 37
Figura 14. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades populacionais em esterco bovino. 39
Figura 15. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de MSN criadas em diferentes densidades em esterco bovino. 45
Figura 16. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades populacionais em esterco ovino. 46
Figura 17. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de Black Soldier Fly criadas em esterco ovino. 54
Figura 18. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de MSN criadas em diferentes densidades em esterco de galinha poedeira. 55
Figura 19. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades em esterco de galinhas poedeiras 62
Figura 20. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades em restos de pizzaria. 64
Figura 21. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades em resíduo de pizzaria. 70
Figura 22. Período larval (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 72
Figura 23. Viabilidade ovo-larva (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 72
Figura 24. Peso total (g) das larvas coletadas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas

da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 73
Figura 25. Peso total (g) das larvas desidratadas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 74
Figura 26. Matéria seca total (%) das larvas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 74
Figura 27. Ganho de peso individual (mg/dia) das larvas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 75
Figura 28. Índice de biomassa total no tempo (g/dia) das larvas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 75
Figura 29. Peso total de frass coletado (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). .. 76
Figura 30. Redução (%) em peso dos quatro tipos de resíduos (média±EP) após alimentação das larvas. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05). 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de proteína e gordura em função da dieta das larvas.....24
Tabela 2. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de MSN criadas em diferentes densidades larvais em esterco bovino ao longo do tempo. 40
Tabela 3. Médias (±EP) de parâmetros de produção e biológicos das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades populacionais em esterco bovino. 41
Tabela 4. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco bovino 42
Tabela 5. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de esterco bovino tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly. 44
Tabela 6. Temperaturas médias das densidades ao longo do tratamento 46
Tabela 7. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades larvais em esterco ovino ao longo do tempo. 47
Tabela 8. Médias (±EP) de parâmetros de produção e biológicos das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco ovino. 48
Tabela 9. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco ovino. 51
Tabela 10. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de esterco ovino tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly. 53
Tabela 11. Temperaturas médias das densidades ao longo do tratamento 55
Tabela 12. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de MSN criadas em diferentes densidades larvais em esterco de galinha poedeira ao longo do tempo. 56
Tabela 13. Médias (±EP) de parâmetros biológicos e de produção das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco de galinha poedeira. 57
Tabela 14. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco de galinha poedeira. 59
Tabela 15. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de esterco de galinha poedeira tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly.....61
Tabela 16. Temperaturas médias das densidades ao longo do período larval. 63
Tabela 17. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades larvais em restos de pizzaria ao longo do tempo. 65
Tabela 18. Médias (±EP) de parâmetros de produção e biológicos e das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em resíduos de pizzaria. 66

Tabela 19. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em resíduos de pizzaria. 67
Tabela 20. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de resto de pizzaria tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly. 69
Tabela 21. Temperaturas médias nas densidades ao longo do período larval. 71
Tabela 22. Temperaturas médias dos tratamentos. 87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **15**
2. OBJETIVO **19**
3. REVISÃO DE LITERATURA **20**
3.1. Biologia da mosca-soldado-negro, *Hermetia illucens* e seu ciclo de vida **20**
3.2. Característica da degradação e tipos de resíduos **23**
3.3. Produtos e subprodutos da criação da MSN **25**
4. MATERIAL E MÉTODOS **27**
4.1. Design experimental **27**
4.2. Dieta *start* **29**
4.3. Viabilidade dos ovos (%) **31**
4.4. Manejo **32**
4.5. Obtenção dos produtos finais **34**
4.5.1. *Frass* **35**
4.5.2. Larvas **37**
4.6. Análises Estatísticas **38**
5. RESULTADOS **39**
5.1. Efeitos das densidades larvais em Esterco Bovino **39**
5.2. Efeitos das densidades larvais em Esterco Ovino **46**
5.3. Efeitos das densidades larvais em Esterco de Galinha Poedeira **55**
5.4. Efeitos das densidades larvais em Resíduos de Pizzaria **64**
5.5. *Overview* dos efeitos das densidades larvais nos quatro resíduos **71**
6. DISCUSSÃO **78**
6.1. Efeito das densidades populacionais na produção e qualidade de larvas **79**
6.1.1. Composição corporal larval **80**
6.2. Efeito das densidades na produção, redução e qualidade do *frass* **82**
6.2.1. Produção e redução em peso dos resíduos **82**
6.2.2. Características nutricionais do *frass* obtido **84**
6.3. Qualidade do *frass* produzido em diferentes densidades – comparação com alegislação brasileira **86**
6.4. Temperaturas e umidades dos tratamentos **87**
7. CONCLUSÃO **89**
REFERÊNCIAS **91**

1. INTRODUÇÃO

Sendo temas relevantes à qualidade de vida humana, o desenvolvimento sustentável (DS) e a cadeia de produção para nossa alimentação podem se complementar para suprir a população atual e futura com alimentação de qualidade, ao mesmo tempo em que se preservao único ambiente existente para manter a continuidade da espécie humana. Nesse contexto, preocupações têm sido levantadas e discutidas por órgãos internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU), Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e Organização Mundial da Saúde (OMS), uma vez que a população humana é estimada em 9,7 bilhões de indivíduos até 2050 (ONU, 2022), o que pode interferir na nutrição e segurança alimentar no futuro (FAO, 2021). Segundo apontamento feito por Liu Zhenmin, subsecretário geral da ONU para assuntos econômicos e sociais, o desenvolvimento sustentável e crescimento populacional são inversamente proporcionais, pois o crescimento populacional acelerado dificulta a erradicação da pobreza, combate à fome e ampliação de sistemas de saúde e educação. Ao passo que, quanto mais as metas do DS em saúde, educação e igualdade de gêneros forem satisfeitas, maior a contribuição na redução da taxa de crescimento populacional (ONU, 2022), dessa forma, diminuindo a pressão aos produtores de alimento, ambiente e população atual por disponibilidade de alimentos.

Com a população aumentada em mais de 1/3 em 2050, Dijk et al. (2021) comentam que é esperado o aumento na demanda por alimentos entre 35% e 62% e a população em risco de fome entre 8% e 30%, frente a 10% da população atual com consumo insuficiente de alimentos (WFP, 2022). Esta maior população impacta a produção de alimentos, que precisará aumentar entre 60% e 70% para atender as necessidades nutricionais da população futura projetada pelo mesmo grupo. Entretanto, os métodos tradicionais de produção de alimentos ainda produzem altas quantidades de resíduos orgânicos, além de afetar fauna e flora por explorarem os recursos ambientais de maneira degradante (MUTAFELA, 2015).

Assim como a cadeia de produção de alimentos, as cidades produzem resíduos orgânicos em larga escala. Em 2019, no Brasil, foram gerados, por dia, aproximadamente 216.000 toneladas de resíduos residenciais, 17,4% a mais quando comparado a 2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE, 2010; 2021). Dados da mesma associação de 2020 revelam que cerca de 45,3% da massa total dos resíduos domiciliares, cerca de 100.000 toneladas, é composta por materiais orgânicos, como restos de comida residencial, de restaurantes e demais empreendimentos do setor alimentício, supermercados, hortifrutis etc. Destes, cerca de 1,5% tem como a destinação

a compostagem (IPEA, 2012), 60% tem destinação adequada em aterros sanitários, e o restante vai para aterros controlados ou lixões a céu aberto (ABRELPE, 2021). A destinação inadequada dos resíduos (40% do que é gerado no Brasil) possui alto risco de contaminação ambiental das águas, solo e ar, bem como à população, aumentando gastos públicos com saúde (GOUVEIA, 2012). De acordo com Dias (2017), as feiras livres da cidade de São Paulo desperdiçam cerca de 33.000 toneladas de alimentos por ano (90t/dia), entre frutas, legumes e verduras. O autor aponta que as perdas são equivalentes ao desperdício de 3,3 toneladas de carne bovina (649 kg/ano de proteína), áreas agricultáveis de 170 ha para frutas e 1.129 para legumes e verduras, bem como a energia de 433.912 L de diesel utilizados na logística destes alimentos/resíduos.

Em se tratando de geração de dejetos bovino e da avicultura no Brasil, levando em conta o rebanho bovino de 218 milhões de indivíduos estimados pelo IBGE em 2020, são gerados aproximadamente 2,7 milhões de toneladas de esterco por dia (994,6 milhões t/ano) desses animais, e cerca de 218.489,6 toneladas de esterco de aves por dia (79,4 milhões t/ano), entre as populações de 55,6 milhões de frangos de corte e 1,36 bilhões de galinhas poedeiras (EMBRAPA; SILVA et al., 2020). Quando este material não é bem armazenado ou tratado, danos ambientais podem ocorrer ao solo, ar e água, bem como a perda de nutrientes passíveis de serem reutilizados por lixiviação e volatilização (EMBRAPA, 2020). Independente de para onde vai o resíduo após ser gerado, os orgânicos possuem quantidade de nutrientes e energia passíveis de serem reaproveitadas (ALVAREZ, 2012). Dentre diversas tecnologias voltadas aotratamento de resíduos orgânicos, sejam das cidades ou do campo, bem como para a produção de alimentos, a utilização de insetos nestes dois âmbitos tem se mostrado promissora (NYAKERI, 2018; PARODI et al., 2020; SEYEDALMOOSAVI et al., 2022).

Entre eles, a mosca-soldado-negro (MSN), ou *black soldier fly* (BSF), *Hemetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), tem ganhado destaque por sua habilidade de decompor materiais orgânicos enquanto produz fonte alternativa de proteína para alimentação animal e um fertilizante orgânico a ser utilizadona agricultura (LIU et al., 2008; DIENER et al., 2009; BANKS et al., 2014; DOBERMANN, 2019).

Por exemplo, Beesigamukama et al. (2020) exploraram e compararam o uso do *frass* (dejeto das larvas desta espécie) com fertilizantes convencionais, na produção de milho. Os autores obtiveram as plantas mais altas e com maiores concentrações de clorofila com a utilização do *frass*, bem como 27% mais produção de grãos e 76% maior absorção de N pelas plantas, quando comparados ao uso equivalente dos fertilizantes comuns e à base de ureia.

Outra vantagem observada sobre esta espécie é em relação à eficiência que apresenta ao reaproveitarresíduos de diversas fontes, como resíduos domiciliares, agroindustriais ou de abatedouro, estercos bovino, de aves e suínos, bem como fezes humanas (SOLANO, 2010; ZHOU et al., 2013; LALANDER et al., 2016; JOLY, 2018; POLI, 2018). As larvas têm potencial para reduzir o peso de esterco bovino entre 48 e 60% (MIRANDA et al., 2019; FRANCO et al., 2022), até 75% esterco de galinhas (BORTOLONI et al., 2020) e 70% resíduos domiciliares (JOLY, 2019). Levando em conta as quantidades destes resíduos produzidos no Brasil, existe potencialde se obter cerca de 10,9, 397,8 e 19,8 milhões t/ano de *frass* oriundo de resíduos domiciliares,esterco bovino e da avicultura, respectivamente, com valores de NPK de entre 2-4, 0,5-1,5 e 0,2-1,8%, respectivamente, a se depender do resíduo consumido pelas larvas (LIU et al., 2019;BEESIGAMUKAMA et al., 2020; SONG et al., 2021).

Ao se alimentarem destes materiais, as larvas ganham peso e excretam o *frass*. As larvas podem alimentar animais como peixes, aves, suínos, bem como cachorros e gatos (WANG, 2017). A produção de larvas pode representar 4-11% do peso do resíduo com o qual se alimentaram (JOLY, 2019). Logo, existe potencial de se produzir até 11.000, 297.000 e 24.000t/dia de larvas de MSN com estes resíduos gerados no Brasil. Com quantidades de proteína e gordura expressivas entre 38-46% e 25-41% do peso seco, respectivamente, podem alimentar animais e melhorar o desempenho da produção. Ao substituir parcial ou totalmente outras fontesproteicas da ração dos frangos, Andrade (2022) observou ganho de peso de 3,8% nos animais testados com uma dieta contendo 2% de farinha de larvas de MSN. Atualmente, as proteínas convencionais das rações são oriundas da soja ou farinha de peixe. Essas fontes são conhecidaspor causarem impactos ambientais, como desmatamento e sobrepesca nos oceanos, o que, alémdo dano ambiental, promove a flutuação no preço destes ingredientes no mercado, que tendema aumentar a demanda. Dessa forma, se faz importante o desenvolvimento de ingredientes alternativos (ANIEBO, 2009; DIENER et al., 2011; RIDDICK, 2014; NYAKERI, 2018; HEUEL et al. 2021). A gordura contida nas larvas pode ainda ser extraída para a produção de biodiesel (WANG, 2017; LEE; YUN; GOO, 2021) e então aumentar o conteúdo proteico da farinha de larva para até 60% (SPRANGERS, 2016; WANG, 2017).

Logo, existe grande potencial de uso desta espécie na redução dos grandes volumes gerados destes resíduos no Brasil e reduzir possíveis impactos ambientais associados a estes resíduos, ao mesmo tempo em que se obtém produtos com maior valor agregado e passíveis de uso na produção animal, agrícola e energética. Essa biotecnologia pode ser considerada um eloentre cadeia produtiva e economia circular, que preza por revalorizar os subprodutos ou resíduos gerados anovos bens de consumo, reduzindo, portanto, a

pressão aos recursos naturaisna obtenção de produtos similares. Assim, visando observar os possíveis efeitos do fator densidade populacional na eficiência da produção de larvas da MSN e *frass*, o presente trabalhotestou diferentes populações larvais em quatro resíduos orgânicos comuns às atividades urbanase rurais.

2. OBJETIVO

Avaliar os efeitos de diferentes densidades larvais da mosca-soldado-negro (MSN), *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), sobre parâmetros biológicos e de produção, conteúdo nutricional das larvas e *frass* produzidos em quatro tipos de resíduos orgânicos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Biologia da mosca-soldado-negro, *Hermetia illucens* e seu ciclo de vida

A mosca-soldado-negro (MSN) pertence à família Stratiomydae, ordem Diptera. Sua origem se dá nas Américas, mas se dispersou pelo globo graças ao transporte de bens e migrações humanas. Tem bom desenvolvimento em áreas com temperaturas na faixa de 24 a 29ºC, regiões tropicais e subtropicais (MAKKAR et al., 2014; JOLY, 2018). Os adultos tendem a não se aproximar dos seres humanos, não mordem ou ferroam, como também não causam incômodo ou transmitem doenças. Sua longevidade corresponde a seu período fértil, em torno de 14 dias, e os adultos não se alimentam em função da reserva adquirida durante a fase larval (DORTMANS, 2015; WANG, 2017) (Figura 1).

Figura 1. Mosca-soldado-negro adulta, Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae).

Fonte – Acervo da internet.

As larvas da MSN são onívoras, consomem ampla variedade de alimentos e são adaptadas a passarem períodos sem se alimentar. A quantidade e tipo de alimentos disponíveis, assim como os fatores ambientais, como temperatura, umidade e pH do meio, têm capacidade de influenciar sua velocidade de desenvolvimento, que pode variar de duas semanas a quatro meses (DORTMANS, 2015). Segundo estudos conduzidos por Poli (2018) e Joly (2018),o tempo médio de desenvolvimento larval pode se dar em três semanas, à temperatura média de 26ºC. O ciclo de vida deste inseto tem duração média de seis semanas (Figura 2). Inicia-se no acasalamento e ocorre em cinco fases: ovos, larva, pré-pupa, pupa e adulto. No estágio larval, ocorrea alimentação e aumento da biomassa das larvas. Na pré-pupa, inicia-se a busca por um

local seco, escuro e protegido, para que se inicie a fase de pupa e então ocorra a metamorfose (JOLY,2018) (Figura 2).

Figura 2. Ciclo de vida da mosca-soldado-negro.

Fonte: adaptado de Joly (2018).

As fêmeas adultas têm capacidade de ovipositar de 300 a 1.000 ovos, colocando-os em local protegido e próximo a uma fonte potencial de alimento para as larvas recém-eclodidas (CARUSO, 2013). A oviposição pode ocorrer em material orgânico em decomposição, animal ou vegetal, mas sendo locais secos e de pequeno espaço, como orifícios, fendas e rachaduras, levando em média 30 minutos (SHEPPARD et al., 1984). Os ovos eclodem em cerca de quatro dias,dando origem a larvas com 0,6 mm de comprimento (SHEPPARD et al., 1984; CARUSO et al., 2013; DORTMANS et al., 2017). Estas, então, locomovem-se até a fonte de alimento (MUTAFELA, 2015).

Mutafela (2015) conclui que o período larval tem duração média de 14 dias, em uma faixa de temperatura de 26-35ºC. Essa fase tende a ser a de maior importância e cuidado com as larvas, que se alimentam de forma intensa e constante. Sendo tolerantes quanto à alta umidade presente no meio e graças a uma microbiota diversificada em seu trato intestinal, são capazes de consumir grande variedade de alimentos, como resíduos orgânicos domiciliares, agroindustriais e de abatedouros, estercos, fezes humanas, entre outros (SOLANO, 2010; CARUSO, ZHOU et al., 2013; JOLY, POLI, 2018).

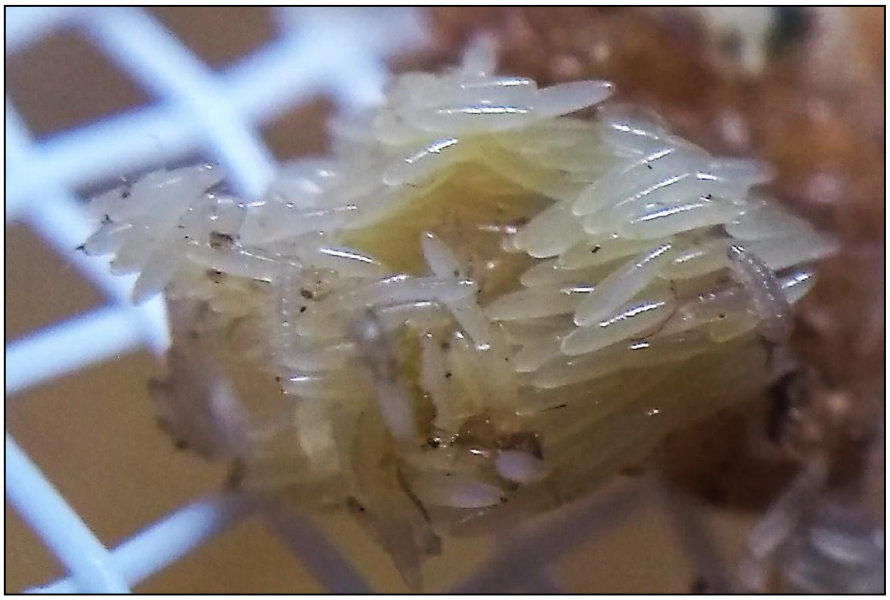
A fase seguinte ao desenvolvimento larval é chamada de pré-pupa. Nesta fase, as larvas iniciam a busca por um local propicio à metamorfose, podendo se deslocar por inclinações de 45º por até 100 m (BANKS, 2014). Neste deslocamento (chamado de “self-harvesting”), dá-se a possibilidade de direcionar seu caminho, usualmente através de uma rampa, a um ambiente específico para coletá-las para posterior processamento. Os insetos coletados podem ser utilizados para a manutenção da colônia, incorporação das larvas à farinha para ração animal, óleo ou extração de quitina, assim como seu uso como alimento *in natura* ou desidratado.

Após encontrarem local propício, inicia-se a fase de pupa, ocorrendo a metamorfose em cerca de 14 dias. Ao emergirem, os adultos levantam voo logo que suas asas se abrem e levam cerca de dois dias para iniciarem a reprodução. Dois dias após o acasalamento, inicia-se a posturados ovos. Como não se alimentam nessa fase, sua expectativa de vida é ditada pela energia acumulada durante as fases anteriores, como também pelo acesso à água (CARUSO et al., 2013; MUTAFELA, 2015). Na Figura 3 está ilustrado o desenvolvimento da fase de ovo até a de pré-pupa, e na Figura 4, um *cluster* de ovos de MSN.

Figura 3. Larvas de MSN em 20 dias de desenvolvimento.

Fonte: adaptado de Caruso et al. (2014).

Figura 4. Ovos de MSN.



Fonte: Do autor (2019).

3.2. Característica da degradação e tipos de resíduos

Os resíduos que alimentam as larvas podem ser urbanos (BRASIL, 2010), agroindustriais ou de abatedouros, além de estercos ou fezes humanas (SOLANO, 2010; ZHOU et al., 2013; LALANDER et al., 2016; JOLY, 2018; POLI, 2018). Nas unidades de tratamento, é possível destinar 60 kg de resíduos orgânicos por 1 m² para cerca de 40.000 larvas, a cada 12-14 dias (DORTMANS, 2017). Destes resíduos, é possível se obter taxas de até 20% de bioconversão em biomassa larval (DIENER, 2010; DORTMANS, 2015; POLI 2018; WONG, 2019), ou seja, há potencial para se obter até 200 kg de pré-pupas de 1 t de resíduos (DIENER, 2010; DORTMANS, 2015; WARKOMSKI, 2015). Além da bioconversão, as larvas diminuem o volume úmido inicial dos resíduos, podendo chegar a 80% (DIENER, 2010), a depender do tipo e umidade do resíduo (DIENER; SOLANO, 2011), desta forma se obtendo cerca de 200 kg de fertilizante orgânico.

Entretanto, as larvas de MSN têm dificuldade na digestão de certos materiais fibrosos, compostos por lignina e/ou hemicelulose. Isso se dá por conta de sua microbiota intestinal, não muito eficaz para esse tipo de material (WARKOMSKI, 2015).

Diener et al. (2011) conduziram um estudo de média-escala de criação empregando larvas de MSN para o aproveitamento de resíduos orgânicos gerados por uma escola de agricultura na Costa Rica. Concluíram que, dentro das condições do experimento, foi possível tratar cerca de 4,6 kg/dia/m² dos resíduos, com densidade populacional não revelada, mas que correspondeu a uma média de 286 g de pré-pupas coletadas por dia. Ainda, os autores relataram que há a possibilidade de se otimizar o processo e, portanto, aumentar a quantidade de resíduos degradados e larvas produzidas. Estudos semelhantes foram desenvolvidos e em sua maioria as conclusões para viabilidade do uso de MSN para tratamento dos resíduos orgânicosresidenciais foram favoráveis (DIENER et al., 2009; SOLANO, 2010; ALVAREZ, 2012; CICKOVÁ et al.; DORTMANS; MUTAFELA, 2015; LIN, 2016; NYAKERI, 2017; JOLY; NANA et al., 2018).

Gold et al. (2018) desenvolveram estudo comparativo da eficácia de degradação dos macronutrientes, inativação de microrganismos, agentes químicos e metais tóxicos presentes nos resíduos orgânicos, entre as larvas de MSN e larvas de moscas de outras famílias. Nessa revisão, com o intuito de avaliar a influência dos resíduos na dieta das larvas de MSN e sua performance, foi mostrado sobre seu desenvolvimento em dietas com diferentes proporções de proteínas e carboidratos, o que afetou a composição nutricional das larvas. Observaram também que há o potencial de desenvolvimento das larvas em ambientes contaminados com agentes químicos, inseticidas e *Escherichia coli*, e que elas podem contribuir para a degradação desses

compostos e na desaceleração do crescimento bacteriano, assim como possuem capacidade de reter metais tóxicos em seu corpo, tornando possível sua recuperação posterior.

A depender do tipo de resíduo orgânico ou alimento oferecido, as larvas apresentam composições nutricionais diferentes. Podem alcançar, em peso seco, 50% de proteína e 41% de gordura em média (MUTAFELA, 2015; WANG, 2017; LIU et al., 2018), sendo ainda passíveis de ter sua gordura retirada por processos de separação, aumentando assim o conteúdo proteico para cerca de 60% (SPRANGHERS et al., 2017; WANG, 2017). A Tabela 1 apresenta os variados tipos de resíduos consumidos pelas larvas e suas respectivas composições em termos de proteína e gordura.

Tabela 1. Valores de proteína e gordura em função da dieta das larvas.

Dieta	% Proteína	% Gordura	Fonte
Sangue bovino e farelo de trigo	47.6	25.3	Aniebo et al. (2009)
Esterco avícola	42.1	34.8	Newton et al. (2005)
Esterco avícola	37.9	18.73	Gutiérrez et al. (2004)
Esterco de cavalo	40.9	12.9	Mutafela (2015)
Esterco de porco	43.2	28	Newton et al. (2005)
Esterco de porco	43.2	33.1	St-Hilaire et al. (2007)
Mistura de resíduos de alimentos processados	38-46	21-35	Oonincx et al. (2015)
Resíduos orgânicos urbanos	39.8	30.1	Mutafela (2015)
Resíduos de frutas frescas	37.8	41.7	Mutafela (2015)
Resíduos de vegetais	39.9	37.1	Spranghers et al. (2017)
Resíduo de restaurante vegano	43.1	38.6	Spranghers et al. (2017)
Resíduo de cervejaria	49,9	33,7	Liu et al. (2018)
Grama semidigerida	46,4	5,5	Liu et al. (2018)

*Adaptado de Gold et al. (2018).

A densidade populacional das larvas também tem efeito sobre os índices de conversão dos resíduos e composição corporal das mesmas. Tschinder e Simon (2015) relataram obter larvas com menor conteúdo de gordura em função da maior densidade em que foram criadas, por conta da escassez e competição por alimento. Yakti et al. (2022) obtiveram maiores índices proteicos em menores densidades, bem como influência da densidade na concentração de micronutrientes e minerais retidos nos corpos das larvas, sendo menores nas menores densidades. Os mesmos autores relataram diferenças estatísticas entre os pesos individuaisfinais das larvas e o peso

total coletado, onde as larvas criadas em menores populações obtiveram maior peso individual final, e as maiores densidades os maiores pesos de biomassa larval. Ainda, observaram maiores taxas de conversão alimentar nas menores densidades testadas. Assim como para estes autores, Barragán-Fonseca (2018) observou larvas com maiores pesos individuais em densidades menores, e maiores pesos totais em maiores densidades. Outros estudos avaliativos quanto à influência de diferentes densidades, emdiferentes resíduos e em maiores escalas ainda são necessários a fim de se obter conhecimentosobre populações e quantidades ótimas de resíduo a se converter em larva e fertilizante.

3.3. Produtos e subprodutos da criação da MSN

As larvas de MSN são constituídas basicamente de proteínas, lipídeos, minerais e quitina, em quantidades médias de 32%, 37%, 19% e 9%, respectivamente (CALIGIANI et al., 2018). Com base em outros estudos, a composição corporal das larvas pode conter níveis de proteína, gordura e quitina, respectivamente, de 40%, 35% e até 19%, a depender da dieta e condições de criação (SHEPPARD, 1994; DIENER et al., 2009; GOBBI et al., 2013; DORTMANS, 2015).

Com métodos adequados, é possível a separação destes compostos para emprego em diversos fins. Devido ao elevado teor proteico, as larvas de MSN têm sido empregadas na fabricação de ração animal, para peixes, aves, porcos e animais de estimação (CALIGIANI et al., 2018), tendo mostrado resultados promissores com relação à nutrição e bem-estar animal (WANG, 2017). Através dos resultados obtidos, Zheng et al. (2012) consideraram a fração gordurosa das larvas apropriada para se produzir biodiesel e obtiveram um índice de conversão de 36%, isto é, cerca de 93% da fração lipídica do peso seco das larvas foi transformada em combustível. Em estudo semelhante, Li et al. (2015) obtiveram cerca de 22% da massa seca das larvas estudadas em biodiesel, obtendo aproximadamente 95% de aproveitamento do conteúdo gorduroso presente na matéria seca larval.

Outro produto obtido é o *frass* (*i.e.*, resíduos não totalmente degradados e excretas das larvas). Material rico em matéria orgânica e nitrogênio, pode ser empregado diretamente na agricultura como adubo orgânico, ou levado a um pós-tratamento, através da compostagem ou biodigestão, o que auxilia no aumento de seu grau de decomposição (CARUSO, 2013; LALANDER et al., 2018; WANG; SHELOMI, 2017). Este produto da decomposição pelas larvas de MSN apresenta níveis de nutrientes para as plantas que tornam possívelseu uso agrícola. *Frass* obtido do esterco bovino, esterco de galinhas e de porcos foram estudados por Liu et al. (2019), e obtiveram níveis de NPK da ordem de 1,9%, 1,0% e 0,2%, e

2,3%, 1,1%, 1,8%, e 2,4%, 2,1%, 1,0%, respectivamente. Já Klammsteiner et al. (2020), obtiveram apenas o nível de 1,8% de N detectado nas amostras após alimentação das larvas com frutas e verduras. Song et al. (2021) estudaram resíduos da produção de tofu misturados a gérmen de trigo, e obtiveram níveis NPK de 4,8%, 1,0% e 0,9%, respectivamente. Kawasaki et al. (2020) trabalharam com resíduos residenciais e o *frass* resultante apresentou concentrações de 2,2%, 0,5%e 0,7% destes nutrientes. Em muitos casos, quando os estercos não são tratados adequadamente,existe a perda de N por volatilização, o que traz riscos ambientais à água, solos e ar. Por outrolado, durante a digestão de estercos ou outros materiais, as larvas de MSN excretam o N na forma orgânica, isto é, passível de ser imobilizado por fungos e bactérias presentes no meio que promovem a formação de nitrogênio assimilável pelas plantas, como o nitrato (NO^{3-}), ao mesmo tempo em que reduz a perda deste nutriente por volatilização da amônia (NH^3)(SZANTO, 2009; KLAMMSTEINER et al., 2020).

Sendo boas conversoras de resíduos em *frass*, este produto tem apresentado potencial agronômico para culturas de milho, batata-doce e hortaliças (CHOI; HASSANZADEH,2019; BEESIGAMUKAMA et al., 2020; ROMANO et al., 2022), bem como para alimentaçãode peixes (AKSOY et al., 2020). Os fertilizantes originados a partir de materiais orgânicos proporcionam a liberação de nutrientes ao solo de maneira mais lenta e melhor distribuída para absorção das plantas, bem como auxilia na diminuição da perda dos elementos pela lixiviação, podendo, portanto, serem considerados ambiental e economicamente viáveis (SHAJI et al., 2021). Outra propriedade relevante do *frass* é a presença de quitina, substância promotora da saúde das plantas, no que tange ao aumento da atividade de microrganismos benéficos, bem como à sua toxicidade a insetos indesejáveis e microrganismos patógenos, por tornar os nutrientes inacessíveis a estes, como *Fusarium oxysporum*, *Pyhtium myriotylum* e *Rhizoctonia solani*, conhecidos por causarem danos aos sistemas radiculares de plantas de importância à segurança alimentar, como feijão, milho e soja (SHARP, 2013; CHOI; HASSANZEDEH, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia – LIARE, localizado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba – SP.

Os ovos da espécie *H. illucens* utilizados durante o experimento foram doados pela empresa *Cyns* company Ltda. (cyns@cyns.com.br), localizada em Charqueada – SP.

Com origem no *Campus* 'Luiz de Queiroz', o esterco bovino foi obtido dos estudos com gado de corte no Departamento de Zootecnia (LZT) e esterco da criação de ovinos no Laboratório de Alimentação e Nutrição Animal (LANA) e no LZT da Esalq/USP. O esterco de galinha poedeira foi obtido de granja particular localizada próxima à Piracicaba, e os resíduos de pizzaria no restaurante Família Duarte, localizado na zona urbana do mesmo município.

4.1. Design experimental

Este experimento foi conduzido em ambiente fechado (Figura 5), com temperaturas mantidas entre 25 e 35°C com o uso de aquecedores elétricos a óleo, e avaliou-se o efeito de diferentes densidades populacionais na bioconversão de quatro resíduos orgânicos, sendo: esterco bovino, esterco ovino, esterco de galinha poedeira e resíduos de pizzaria (bordas de pizza).

Cada um dos quatro tratamentos foi constituído de um resíduo e cinco densidades populacionais (6 no caso de esterco ovino), com quatro repetições para cada densidade testada. Os recipientes onde as larvas se alimentaram foram caixas plásticas empilháveis, com dimensões 35x59x21cm.

Figura 5. Ambiente de criação das larvas de MSN.

O regime de alimentação foi em batelada, ou seja, apenas uma carga de alimentação, com 7kg de resíduo por repetição, quantidade considerada escala industrial pela literatura (SCALA et al., 2020) (Figura 6). Foi feito o monitoramento diário da temperatura do substrato com termômetro digital culinário com uma casa decimal de precisão. As larvas foram introduzidas nos resíduos após cinco dias se alimentando em dieta *start* composta por ração de galinhas poedeiras e fibra de côco.

Figura 6. Pesagem do resíduo borda de pizza.

4.2. Dieta *start*

A mistura oferecida como alimento inicial se deu pela composição de ração de galinhas poedeiras e fibra de côco, substrato apontado na literatura como adequado aos estágios iniciais de desenvolvimento larval (WOODS et al., 2019). A proporção utilizada foi de 5:1, respectivamente, e hidratadas até a capacidade de campo da mistura, sendo pesadas em balança calibrada comercial Filizola®. As dietas iniciais foram oferecidas frescas às larvas, em recipientes plásticos contendo cerca de 650g de dieta e cobertos por tela fina (*voile*), que permitisse a troca gasosa ao mesmo tempo que prevenisse a contaminação por outros insetos (Figura 7).

Figura 7. Recipientes de dieta start prontos para receber os ovos.

Após o planejamento de cada tratamento, e em posse dos ovos, os mesmos foram pesados em balança de precisão (Tecnolab® soluções) e adicionados na dieta *start* (Figura 8). As densidades populacionais foram calculadas em função do peso de ovos por kg de dieta. Dado que 1 grama de ovos de MSN contabiliza cerca de 37.000 ovos (BERTINETI; SAMAYOA; HWANG, 2019), e as densidades estudadas foram de 0,01g; 0,025g; 0,05g; 0,1g e 0,2g de ovos por kg de dieta. Estes valores representam cerca de 370, 930, 1.850, 3.700 e 7.400 de larvas por kg de resíduos em cada repetição, por tratamento, além de 0,017 g (≈ 629 larvas) no esterco ovino. Este dimensionamento também pode se dar por 0,053g; 0,13g; 0,26g; 0,53g e 1,06g de alimento/larva, ou pela área do recipiente utilizado, 0,14; 0,35; 0,71; 1,42 e 2,84 larvas/cm^2.

Figura 8. Pesagem dos ovos.

4.3. Viabilidade dos ovos (%)

Um excedente de ovos foi sempre enviado para se avaliar a viabilidade dos mesmos, isto é, a taxa de eclosão (%). Esta análise foi feita utilizando-se a lupa Euromex PB 4161 para visualizar as larvas neonatas em placas de Petri com tecidos umidificador e escuro de contraste. Foi feito monitoramento diário da eclosão por até 7-9 dias (Figura 9). O índice de viabilidade foi então calculado pela razão entre ovos não eclodidos finais e iniciais. A contagem dos ovos foi feita com contador manual.

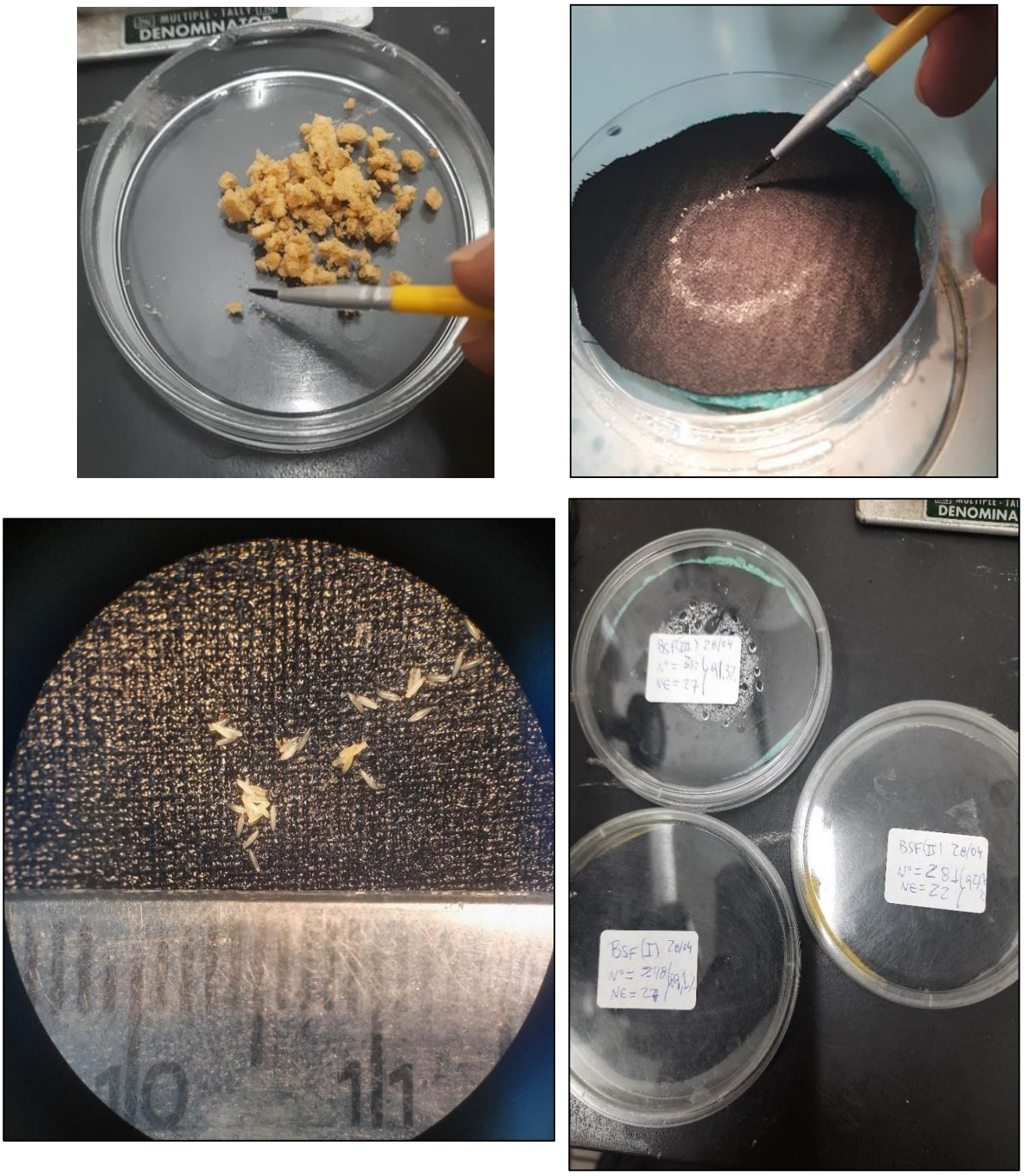


Figura 9. Avaliação da viabilidade dos ovos.

4.4. Manejo

Após a inoculação dos ovos na dieta *start*, o recipiente foi umedecido diariamente, e no quinto dia as larvas introduzidas na caixa com a dieta principal. Diariamente, selecionou-se cinco larvas aleatoriamente e seu peso foi medido na mesma balança em que os ovos foram pesados. Também diariamente, monitorou-se a temperatura do substrato e os valores foram

anotados em ficha específica para cada tratamento. Repetiu-se este procedimento em todas as repetições até que se avistasse a primeira pré-pupa (Figura 10).

Figura 10. Recipientes de dieta start no primeiro dia de alimentação (a); seleção de larvas para pesagem diária (b); monitoramento diário da temperatura (c); checagem eventual da atividade das larvas (d).

Os parâmetros biológicos e de produção analisados foram:

- Período larval (dias): Tempo que as larvas levaram para bioconverter os resíduos;
- Viabilidade Ovo-Larva (%): Razão entre o número estimado de larvas coletadas e número estimado inicial de larvas semeadas;
- Peso individual das larvas coletadas (mg): Peso médio individual das larvas no dia da colheita;
- Peso total das larvas (g): Peso da biomassa larval coletada;
- Número estimado de larvas: Razão entre o peso total coletado pelo peso médio individual;
- Peso total larvas secas (g): Peso da biomassa larval após desidratação;
- Matéria seca (%): Razão entre o peso das larvas desidratadas e peso fresco;
- Ganho de peso individual no tempo (mg/dia): Razão entre o peso individual final pelo período larval;
- Índice de biomassa total no tempo (g/dia): Razão entre o peso total e período larval;
- Peso total de *frass* coletado (g): Peso dos resíduos após a bioconversão;
- Redução em peso do resíduo (%): Razão entre a diferença do peso inicial e final dos resíduos pelo peso inicial.

4.5. Obtenção dos produtos finais

A ocorrência da primeira pré-pupa significou o final de cada repetição. A caixa foi então levada para a área de separação e a mistura de larvas e *frass* peneiradas manualmente com a utilização de peneiras com malhas de 8 mm, 5mm e 3mm, a fim de se otimizar este procedimento. Após, os produtos foram pesados frescos e os valores anotados (Figura 11).

Figura 11. Separação das larvas e do frass.

4.5.1. *Frass*

O *frass* foi fracionado em porções de 400g por repetição e acondicionados em embalagens específicas fornecidas pelo laboratório de solos da Esalq, e então congelados à -21°C (Figura 12), para posterior análise de seu conteúdo no Laboratório de Análise de Solos da Esalq/USP.

Figura 12. Frass congelado.

As análises dos atributos do *frass* foram realizadas segundo a metodologia descrita por Brasil (2017) para material orgânico: determinação de pH por $CaCl_2$ a 0,01mol/L; densidade por relação massa/volume, umidade a 65º e 110º; carbono orgânico (C.O.) via úmida por extração com dicromato e determinação por titulometria; N por digestão sulfúrica/Kjeldahl; P_2O_5 através de extração ácida e determinação por colorimetria; K_2O por extração ácida e em água e determinação por fotometria de chama; Na por extração ácida e determinação por fotometria de chama; S (SO_4) por extração ácida e determinação gravimétrica pelo método do sulfato de bário; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn por extração ácida e determinação por absorção atômica; B através de extração ácida e determinação por colorimetria pelo método da Azometina-H; CTC por Titulometria; CE medida em condutivímetro; relação C/N e cálculo da relação CTC/C). Os teores de matéria orgânica (M.O.) total e Carbono orgânico foram medidos por combustão, e os de resíduo mineral (RM), resíduomineral total (RMT) e resíduo mineral insolúvel (RMI) através de perda por perda por ignição(ALCARDE, 2009).

4.5.2. Larvas

Após a pesagem, as larvas vivas foram deixadas imersas em água por 15 minutos, a fim de se remover o conteúdo gastrointestinal e qualquer resíduo que pudesse estar aderido a seu corpo e então o abate foi feito pela imersão da biomassa larval em água fervente, por 10-15 minutos, até que grande parte das larvas estivessem na superfície. Em seguida, as larvas foram desidratadas em dessecador térmico com ventilação forçada à 35-40°C por 6 h ou até que as larvas estivessem com consistência quebradiça. A massa de larvas secas foi então pesada e embalada para posterior análise bromatológica (Figura 13).

Figura 13. Larvas sendo abatidas (a); larvas dessecadas (b); larvas embaladas (c).

As determinações de composição química foram realizadas no EsalqLab do Departamento de Zootecnia da Esalq/USP, utilizando as técnicas recomendadas pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2011). As determinações foram realizadas para matéria seca (MS) (AOAC No.4.1.03), extrato etéreo (EE) (AOAC No.4.5.01), fibra bruta (FB) (AOAC No.4.6.01), e matéria mineral (cinzas) (AOAC No. 4.1.10). A proteína bruta (*crude protein*-CP) foi determinada utilizando o método Kjeldahl (AOAC No.4.2.11).

4.6. Análises Estatísticas

Regressões quadráticas ($y = a + bx + cx^2$, onde 'a', 'b', e 'c' são constantes, y representa o peso individual das larvas, e x representa a idade larval) foram obtidas através do programa estatístico Table Curve 2D v5.01 (Systat Software Inc., San Jose, CA) para descrever os efeitos das diferentes densidades larvais sobre o peso diário individual das larvas criadas sobre os quatro tipos de resíduos.

Todos os 11 parâmetros biológicos e de produção das larvas de MSN – período larval (dias); viabilidade ovo-larva (%); peso individual das larvas coletadas (mg); peso total (g); nº estimado de larvas; peso total das larvas secas (g); matéria seca total (%); ganho de peso individual no tempo (mg/dia); índice de biomassa total no tempo (g/dia); peso total de *frass*; e redução em peso do resíduo (%) –, os cinco parâmetros de composição bromatológica das larvas (matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e matéria mineral) e os 12 parâmetros físico-químicos e nutrientes de *frass:* – pH, densidade (g/cm^3), umidade total, matéria orgânica, carbono orgânico, N, P, K, Ca, Mg, S, e relação C/N –, foram analisados aplicando-se o teste *F* à análise de variância ($P < 0,05$) e, quando detectada diferença significativa, o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) foi utilizado para comparar as médias. Essas análises foram efetuadas através do programa estatístico SAS 9.1 (SAS INSTITUTE, 2003).

5. RESULTADOS

5.1. Efeitos das densidades larvais em Esterco Bovino

Os valores de peso diário individual das larvas de MSN criadas em cinco diferentes densidades em esterco bovino estão apresentadas na Figura 14.

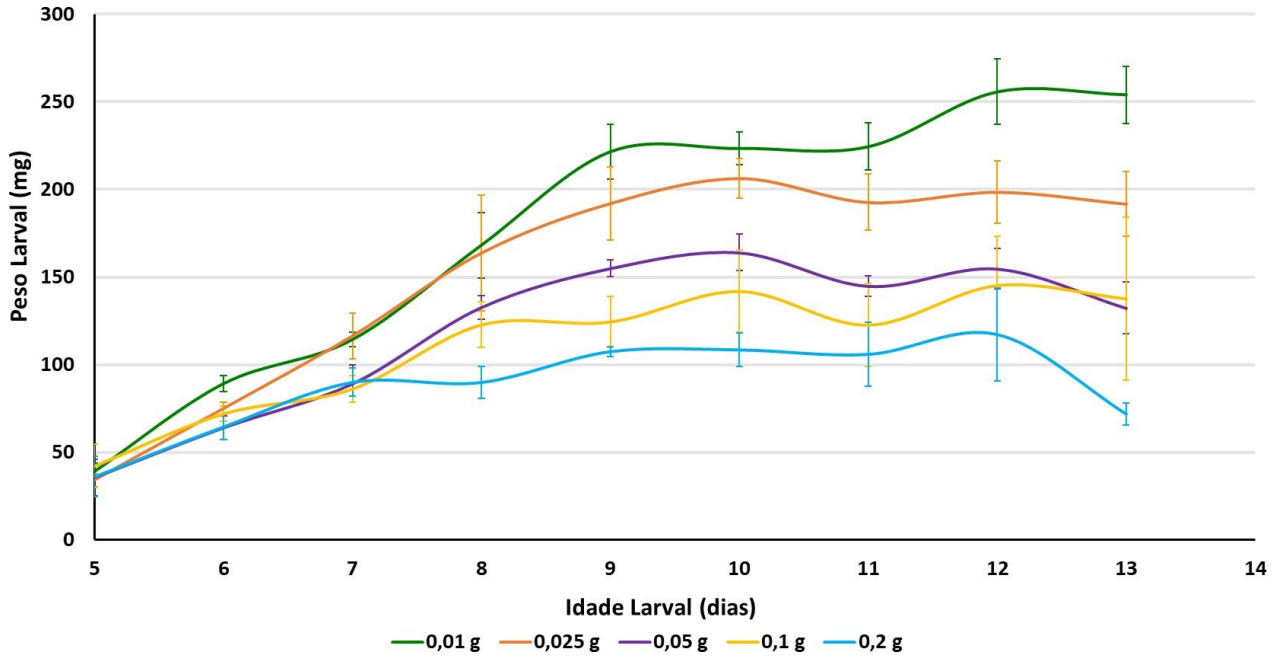


Figura 14. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades populacionais em esterco bovino.

O peso individual médio das larvas no 1º dia após a semeadura no esterco variou entre 34 mg (na densidade de 0,025 g/kg) e 42 mg (na densidade de 0,1 g/kg). No 13º dia de idade das larvas, observou-se que o peso individual médio variou entre 72 mg (na densidade de 0,2 g/kg) e 254 mg (na densidade de 0,01 g/kg).

Os valores de peso diário individual das larvas entre as densidades 0,025 e 0,2 g/kg se sobrepuseram até o 3º dia após a semeadura das larvas, sendo o ganho de peso superior nas densidades 0,01 e 0,025 g/kg a partir desse dia. O peso diário individual das larvas pôde ser facilmente distinguido nas cinco diferentes densidades entre o 9º e 12º dia de idade larval (Figura 14).

Todas as curvas de peso diário individual das larvas puderam ser preditas por regressões quadráticas com coeficientes de determinação (r^2) acima de 0,9 (Tabela 2). Portanto, as equações de regressão representaram bem o crescimento diário do peso diário das larvas ao

longo do período larval, ao fim do qual as larvas cessam a alimentação e iniciam a liberação de conteúdo do trato intestinal para conversão em pré-pupa.

Tabela 2. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de MSN criadas em diferentes densidades larvais em esterco bovino ao longo do tempo.

Densidade Larval (g ovos/kgde dieta)	Equação	Ajuste do Modelo (coeficiente de determinação)
0,01	$y = -324{,}02+89{,}1x-3{,}4x^2$	$r^2 = 0{,}97$
0,025	$y = -379{,}04+105{,}2x-4{,}7x^2$	$r^2 = 0{,}99$
0,05	$y = -305{,}5+87{,}1x-4{,}09x^2$	$r^2 = 0{,}96$
0,1	$y = -162{,}8+52{,}6x-2{,}3x^2$	$r^2 = 0{,}94$
0,2	$y = -260{,}3+80{,}5x-4{,}3x^2$	$r^2 = 0{,}92$

Os valores médios dos parâmetros de produção e biológicos das larvas de *Black Soldier Fly* criadas em cinco diferentes densidades populacionais em esterco bovino estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias (±EP) de parâmetros de produção e biológicos das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades populacionais em esterco bovino.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)					
	0,01	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**ANOVA**
Período Larval (dias)	13,5±0,3	13,8±0,5	13,8±0,5	13,7±0,5	13,5±0,3	$F_{4,19}$=0,11; C.V.=6,1%; P=0,98
Viabilidade Ovo-Larva (%)	59,9±24,6 a	48,3±15,4 ab	45,5±13,5 ab	30,2±12,4 b	23,5±8,5 b	$F_{4,19}$=3,9; C.V.=13,1%; P=0,04
Peso individual das larvas coletadas (mg)	254±16,4 a	187,1±15,7 ab	142,1±15,6 a	154,6±41,5 ab	116,9±27,1 b	$F_{4,19}$=4,3; C.V.=29,7%; P=0,016
Peso Total das Larvas (g)	295,8±110,4 a	450,5±131,6 a	612,8±116,3 b	663,0±154,9 b	864,3±163,4 b	$F_{4,19}$=12,9; C.V.=26,2%; P=0,001
Nº estimado de larvas	1257,6±515,4 a	2531,5±807,6 ab	4767,8±1411 ab	6334,7±2602,3 ab	9864,8±3569,6 b	$F_{4,19}$=3,3; C.V.=11,4%; P=0,04
Peso total das larvas secas (g)	94,3±32,7 a	126,3±35,3 ab	161,7±29,0 b	150,9±25,5 ab	199,0±28,8 b	$F_{4,19}$=6,4; C.V.=29,02%; P=0,01
Matéria seca total (%)	33,6±1,7 a	28,5±0,8 ab	26,8±1,8 ab	24,8±2,9 b	23,8±1,5 b	$F_{4,19}$=4,3; C.V.=13,6%; P=0,017
Ganho de peso individual no tempo (mg/dia)	18,8±0,8 a	13,6±0,8 ab	10,3±0,9 b	11,0±2,6 b	8,5±1,8 b	$F_{4,19}$=6,4; C.V.=25,3%; P=0,003
Índice de biomassa total no tempo (g/dia)	22,5±8,7 a	33,8±10,6 ab	45,5±9,9 ab	49,5±12,5 b	64,8±13,3 b	$F_{4,19}$=5,6; C.V.=13,9%; P=0,02
Peso total de *Frass* coletado (g)	3643,8±192,5 a	3003,8±67,3 ab	2633,8±80,8 b	2790±331,7 b	2693,8±159,8 b	$F_{4,19}$=4,6; C.V.=12,9%; P=0,013
Redução em peso do resíduo (%)	47,9±2,8 a	57,1±1,0 ab	62,4±1,2 b	60,1±4,7 b	61,5±2,3 b	$F_{4,19}$=4,6; C.V.=9,5%; P=0,012

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).

** Médias originais nesta tabela. Os valores dos parâmetros de viabilidade ovo-larva, peso total da coleta larval, peso total das larvas secas e índice de biomassatotal no tempo foram transformados por log(x + *k*) antes das análises.

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos não foram observadas apenas para o parâmetro de período larval (Tabela 3). Quedas significativas entre amenor e maior densidade larval foram observadas para os parâmetros de viabilidade ovo-larval(%), peso individual das larvas coletadas, matéria seca total (%) a 50ºC, ganho de peso individual no tempo (mg/dia), e peso total de *frass* coletado (Tabela 3).

Como resultado do maior número de larvas semeadas no tratamento, um número estimado crescente de larvas foi observado entre as densidades de 0,01 e 0,2 g/kg, apesar da baixa viabilidade ovo-larva nas duas maiores densidades. Valores crescentes significativos nas médias também foram verificados para os parâmetros de peso total das larvas coletadas e secas, e índice de biomassa total no tempo (g/dia). À medida que a densidade larval aumentava, ocorreu uma redução crescente do resíduo utilizado para alimentação das larvas, chegando a 61,5% na densidade de 0,2 g/kg (Tabela 3).

Os valores médios da composição bromatológica das larvas desidratadas de *Black Soldier Fly* criadas em cinco diferentes densidades populacionais em esterco bovino estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco bovino

TEOR NUTRICIONAL (%)	**Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)**					**ANOVA**
	0,01	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	
Matéria seca	94,9±0,4	94,7±0,1	94,4±0,2	94,3±0,1	94,2±0,1	$F_{4,9}$=10,9; C.V.=0,1%; P=0,05
Proteína bruta	42,3±0,3	42,4 ±0,2	42,5 ±0,2	44,2±0,3	45,8±4,1	$F_{4,9}$=0,7; C.V.=4,8%; P=0,63
Fibra bruta	5,29±0,1	5,99 ±2,2	6,68±0,1	6,91±1,5	7,13±0,1	$F_{4,9}$=0,39; C.V.=9,8%; P=0,81
Extrato etéreo	33,5±1,2 a	26,7±0,5 b	19,8±0,8 c	18,3±0,3 c	16,8±0,5 c	$F_{4,9}$=91,1; C.V.=4,5%; $P<10^{-3}$
Matériamineral	11,1±0,1	13,4±1,3	15,6±0,1	15,2±2,1	14,8±0,1	$F_{4,9}$=2,7; C.V.=6,4%; P=0,16

*Resultados expressos em 100% da matéria seca (MS).

**Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si peloteste de Tukey (P>0,05).

Diferenças significativas ($P<0,05$) entre as médias dos tratamentos foram observadas somente para os teores de extrato etéreo (%), sendo que teores abaixo de 25% foram verificados entre as densidades de 0,05 e 0,2 g/kg (Tabela 4). Os demais teores não foram afetados pelas diferentes densidades larvais ($P>0,05$).

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos e teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (*frass*) resultante do tratamento do esterco bovino com cinco densidades diferentes de larvas de *Black Soldier Fly* estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de esterco bovino tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)					
	0,01	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**ANOVA**
pH	7,4±0,05 a	7,5±0,08 a	7,9±0,15 ab	8,0±0,14 ab	8,1±0,19 b	$F_{4,18}$= 5,3; C.V.=3,5%; P=0,008
Densidade (g/cm^3)	0,8±0,02	0,58±0,04	0,5±0,03	0,56±0,09	0,56±0,1	$F_{4,18}$=1,9; C.V.=24,2%; P=0,15
Umidade Total (%)	64,8±1,2	58,6±0,5	55,1±3,5	59,6±5,8	56,2±5,3	$F_{4,18}$=0,75; C.V.=13,7%; P=0,57
Matéria Orgânica (g/kg)	727,3±2,1 a	772,3±16,2 b	804,8±5,2 b	803,2±4,1 b	797,6±4,6 b	$F_{4,18}$=12,5; C.V.=2,1%; P=0,0002
Carbono Orgânico (g/kg)	404,1±1,2 a	429±8,9 b	446,8±2,9 b	446,3±2,3 b	443,2±2,6 b	$F_{4,18}$=12,4; C.V.=2,1%; P=0,0002
ogênio (N) Total(g/kg)	26,2±0,6	25,9±0,9	25,4±1,1	26,4±0,3	25,7±0,7	$F_{4,18}$=0,25; C.V.=5,9%; P=0,9
oro (P_2O_5) Total(g/kg)	20,8±0,4	20,7±0,8	24,1±0,8	22,5±1,4	21,4±1,5	$F_{4,18}$=1,6; C.V.=9,9%; P=0,22
ssio (K_2O) Total(g/kg)	13,9±0,1	12,9±0,6	13,7±1,4	13,7±1,2	12,2±1,3	$F_{4,18}$=0,45; C.V.=15,9%; P=0,76
Cálcio (Ca) Total (g/kg)	19,9±0,8	20,6±2,8	21,9±0,5	21,8±0,2	20,9±0,9	$F_{4,18}$=0,32; C.V.=13,4%; P=0,85
nésio (Mg) Total(g/kg)	5,5±0,2	5,5±0,2	6,5±0,6	5,6±0,5	5,6±0,6	$F_{4,18}$=0,81; C.V.=16,8%; P=0,54
ofre (SO_4) Total(g/kg)	3,3±0,1	3,03±0,3	3,3±0,4	3,7±0,1	2,5±0,2	$F_{4,18}$=2,5; C.V.=16,5%; P=0,09
Relação C/N	15,5±0,3	16,3±0,6	17,3±0,6	17,8±0,9	17±0,4	$F_{4,18}$=1,8; C.V.=7,2%; P=0,18

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas apenas para os parâmetros de pH, matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO). As médias de pH variaram entre 7,4 (na densidade de 0,01 g/kg) e 8,1 (na densidade de 0,2 g/kg). As médias dos teores de matéria orgânica e carbono orgânico foram menores no *frass* coletado na densidade de 0,01 g/kg (Tabela 5).

5.1.1. Temperaturas dos substratos ao longo do processo

A temperatura no 1º dia de tratamento variou entre 31,6°C (na densidade de 0,05 g/kg) e 34°C (na densidade de 0,1 g/kg). No dia da colheita, as temperaturas médias observadas variaram entre 29°C (na densidade de 0,01 g/kg) e 30°C (nas densidades 0,025, 0,05 e 0,2 g/kg) (Figura 15).

O valor médio da temperatura se elevou no do 2º dia na densidade 0,025 g/kg, e atingiu a máxima de 38,7°C para esta densidade no 3º dia. A densidade de 0,2 g/kg apresentou pico de 42,1°C no 9º dia de alimentação, bem como nas populações de 0,1 e 0,01 g/kg. No 9º dia de alimentação ficou clara a distinção de temperaturas entre as densidades, as maiores ocorrendo nas maiores densidades. A partir deste dia as temperaturas de todas as densidades declinaram até se estabilizarem entre 29 e 30°C (Figura 15).

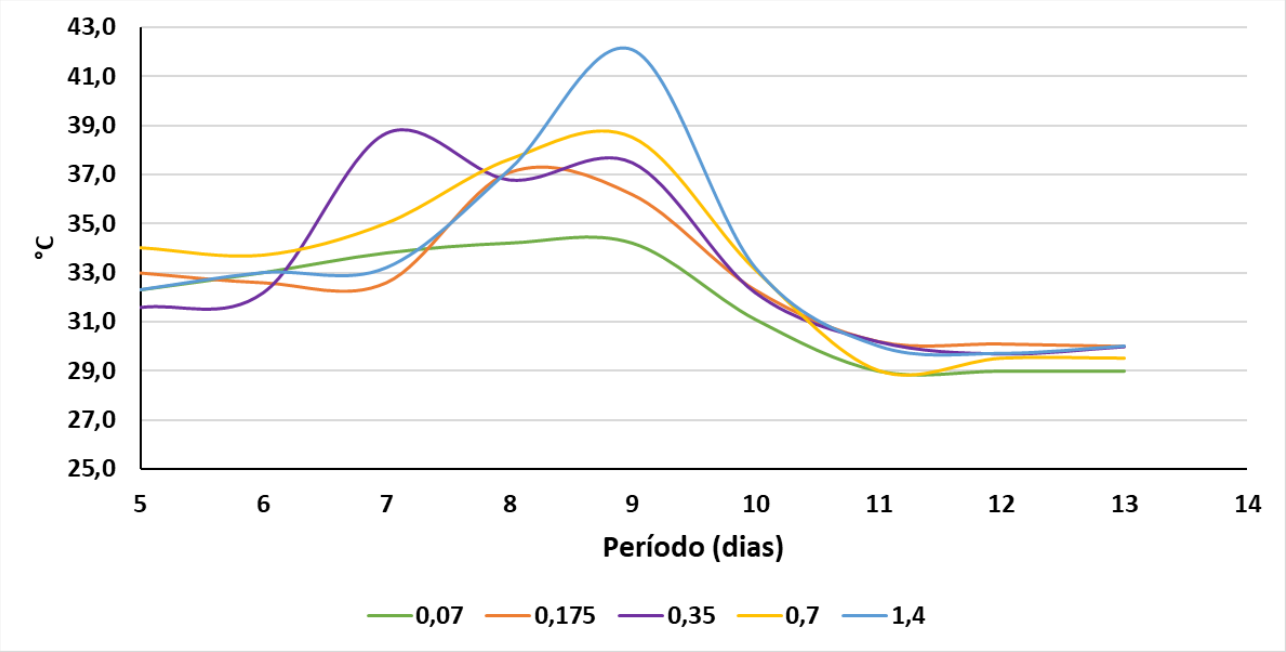


Figura 15. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de MSN criadas em diferentes densidades em esterco bovino.

Tabela 6. Temperaturas médias das densidades ao longo do tratamento

	Período larval (dias)								
Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,01	32,3	33,0	33,8	34,2	34,2	31,1	29,0	29,0	29,0
0,025	33	32,6	32,6	37,1	36,2	32,3	30,2	30,1	30,0
0,05	31,6	32,2	38,7	36,8	37,5	32,2	30,2	29,7	30,0
0,1	34,0	33,7	35,0	37,6	38,5	33,1	29,0	29,5	29,5
0,2	32,3	33,0	33,2	37,2	42,1	33,2	30,0	29,7	30,0

5.1.2. Umidade inicial dos substratos

O esterco bovino foi servido fresco às larvas, e a umidade foi de 70,43%.

5.2. Efeitos das densidades larvais em Esterco Ovino

Os valores de peso diário individual das larvas de *Black Soldier Fly* criadas em seis diferentes densidades populacionais em esterco ovino estão apresentadas na Figura 16.

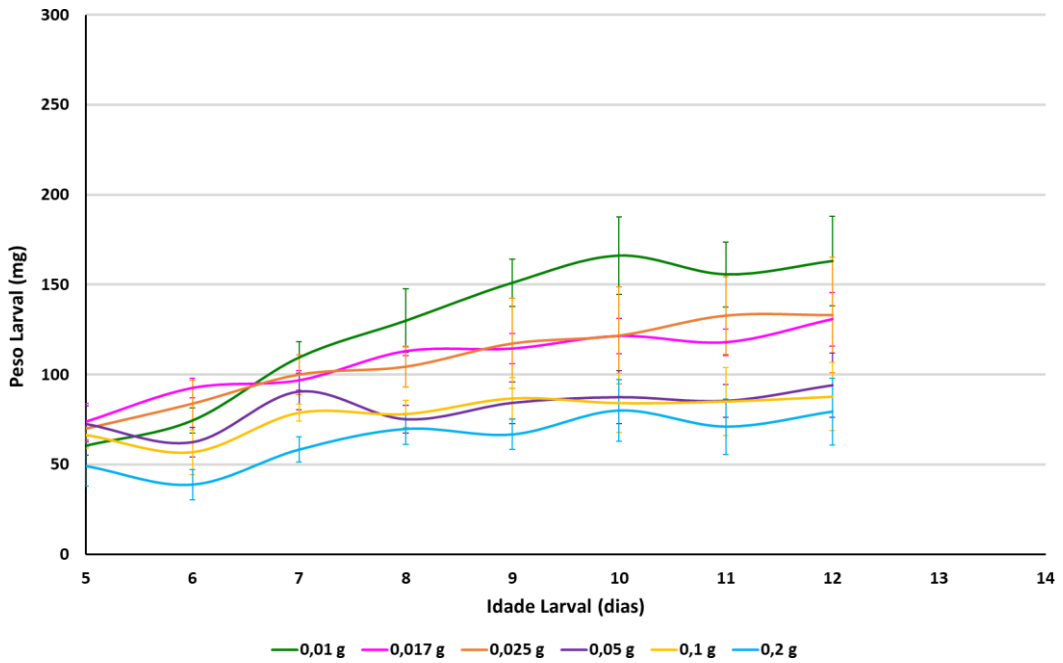


Figura 16. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades populacionais em esterco ovino.

O peso individual médio das larvas no 1º dia após a semeadura no esterco variou entre 49 mg (na densidade de 0,2 g/kg) e 74 mg (na densidade de 0,017 g/kg). No 12º dia de idade larvas, observou-se que o peso individual médio das larvas variou entre 79 mg (na densidade de 0,2 g/kg) e 163 mg (na densidade de 0,01 g/kg).

O peso diário individual das larvas na densidade de 0,2 g/kg manteve-se abaixo dos valores das larvas nas demais densidades ao longo de todo o período larval, sendo que as larvas na densidade de 0,01 g/kg apresentaram peso individual médio superior aos das larvas das demais densidades a partir do 7º dia de idade larval (Figura 16).

O ajuste das regressões quadráticas foi menor do que 0,6 apenas para as densidades de 0,05 e 0,2 g/kg (Tabela 7).

Tabela 7. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades larvais em esterco ovino ao longo do tempo.

Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)	Equação	Ajuste do Modelo (coeficiente de determinação)
0,01	$y = -159{,}9+54{,}1x-2{,}23x^2$	$r^2 = 0{,}97$
0,017	$y = 13{,}7+15{,}04x -0{,}43x^2$	$r^2 = 0{,}94$
0,025	$y = -36{,}4+26{,}3x -1{,}02x^2$	$r^2 = 0{,}98$
0,05	$y = 47{,}8+4{,}9x - 0{,}102x^2$	$r^2 = 0{,}54$
0,1	$y =9{,}5+13{,}02x-0{,}55x^2$	$r^2 = 0{,}76$
0,2	$y = -83{,}8+32{,}8x -1{,}71x^2$	$r^2 = 0{,}58$

Os valores médios dos parâmetros de produção e biológicos das larvas de *Black SoldierFly* criadas em seis diferentes densidades populacionais em esterco ovino estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Médias (±EP) de parâmetros de produção e biológicos das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco ovino.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)						
	0,01	**0,017**	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**ANOVA**
Período Larval (dias)	12,5±0,5	12,3±0,3	12,3±0,2	12,0±0,1	12,0±0,1	12,5±0,5	$F_{5,23}$=0,53; C.V.=5,2%; P=0,76
Viabilidade Ovo-Larva (%)	41,5±17,4 a	38,7±4,5 a	29,3±9,5 ab	29,1±6,2 ab	13,5±2,8 b	10,3±2,3 b	$F_{5,23}$=7,2; C.V.=15,8%; P=0,003
Peso individual das larvas coletadas (mg)	153,9±24,7 a	131,5±15,1 ab	130,2±32 ab	94,0±17,8 ab	87,8±18,8 b	79,9±18,4 b	$F_{5,23}$=5,9; C.V.=6,7%; P=0,005
Peso Total das Larvas (g)	98,5±24,2 a	168,0±27,1 ab	145,0±21,3 ab	234,3±18,4 b	200,3±28 ab	273,3±47,6 b	$F_{5,23}$=5,5; C.V.=29,1%; P=0,006
Nº estimado de larvas	797,6±333,5 a	1273,8±148,1 ab	1410±455,9 ab	2795,3±591,8 b	2590,7±546,6 b	3944,9±882,1 b	$F_{5,23}$=4,9; C.V.=8,01%; P=0,01
Peso total das larvas secas (g)	27,1±6,0 a	43,4±8,1 ab	39,1±3,3 ab	54,3±5,0 ab	49,9±5,1 ab	67,0±9,6 b	$F_{5,23}$=4,4; C.V.=27,8%; P=0,008
Matéria seca total (%)	28,2±1,2 ab	25,4±1,1 abc	27,8±2,0 a	23,2±1,2 c	25,3±1,1 bc	24,9±0,9 bc	$F_{5,23}$=7,7; C.V.=7,1%; P=0,002
Ganho de peso individual no tempo (mg/dia)	12,4±2,2 a	10,7±1,2 ab	10,6±2,7 ab	7,8±1,5 b	7,3±1,6 b	6,5±1,6 b	$F_{5,23}$=6,4; C.V.=27%; P=0,004

conclusão

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)						
	0,01	**0,017**	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**ANOVA**
Índice de biomassa total no tempo (g/dia)	7,9±2,0 a	13,6±2,1 ab	11,8±1,7 ab	19,5±1,5 b	16,7±2,3 b	22,0±4,1 b	$F_{5,23}$=5,9; C.V.=24,7%; P=0,002
Peso total de *Frass* coletado (g)	4257,8±143,4	4131,3±312,1	3847,5±271,5	3702,5±304,7	4188,8±412,8	3606,0±380,7	$F_{5,23}$=0,8; C.V.=15,9%; P=0,59
Redução em peso do resíduo (%)	39,2±2,0 a	41,0±4,5 ab	45,0±3,9 ab	47,1±4,4 ab	40,2±5,9 ab	48,5±5,4 b	$F_{5,23}$=3,6; C.V.=11,7%; P=0,04

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).

** Médias originais nesta tabela. Os valores do parâmetro número estimado de larvas foram transformados por log(x + *k*) antes das análises.

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos não foram observadas apenas para o parâmetro de período larval e peso total de *frass* coletado (Tabela 8). Quedas significativas entre a menor e maior densidade larval foram observadas para os parâmetros de viabilidade ovo-larval (%), peso individual das larvas coletadas, e ganho de peso individual no tempo (mg/dia) (Tabela 8), o que sugere a baixa disponibilidade de alimento de boa qualidade para as larvas até o final do desenvolvimento larval.

Como resultado do maior número de larvas semeadas no tratamento, um número estimado crescente de larvas foi observado entre as densidades de 0,01 e 0,2 g/kg, apesar da viabilidade ovo-larva menor do que 15% nas duas maiores densidades. Valores crescentes significativos nas médias foram verificados para os parâmetros de peso total das larvas coletadas e secas, e índice de biomassa total no tempo (g/dia). Diferenças significativas foram verificadas entre as densidades para o parâmetro de matéria seca total (%), mas as maiores diferenças ocorreram entre as médias das densidades de 0,025 e 0,05 g/kg. À medida que a densidade larval aumentava, ocorreu uma redução crescente do resíduo utilizado para alimentação das larvas, chegando a mais de 45% nas densidades de 0,05 e 0,2 g/kg (Tabela 8).

Os valores médios da composição bromatológica das larvas desidratadas de *Black Soldier Fly* criadas em seis diferentes densidades populacionais em esterco ovino estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco ovino.

TEOR NUTRICIONAL (%)	Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)						ANOVA
	0,01	0,017	0,025	0,05	0,1	0,2	
Matéria seca	94,5±0,2	94,3±0,2	94,2±0,1	94,0±0,2	93,9±0,6	93,9±0,4	$F_{5,11}$=10,2; C.V.=0,1%; P=0,05
Proteína bruta	44,4±0,1 a	44,7±0,6 a	44,8±1,2 a	44,9±0,3 a	42,5±1,1 ab	40,0±0,1 b	$F_{5,11}$=7,3; C.V.=1,9%; P=0,02
Fibra bruta	9,45±0,3	9,98±4,1	10,24±3,5	10,5±0,2	12,2±2,9	13,8±0,2	$F_{5,11}$=0,8; C.V.=16,3%; P=0,84
Extrato etéreo	14,0±0,3 a	9,01±0,9 b	6,5±0,5 bc	4,01±0,1 c	3,79±1,1 c	3,56±0,1 c	$F_{5,11}$=42,7; C.V.=5,03%; $P<10^{-3}$
Matéria mineral	17,8±0,16	19,9±2,4	21,03±1,8	22,1±0,07	21,3±1,9	20,4±0,13	$F_{5,11}$=1,3; C.V.=6,7%; P=0,36

*Resultados expressos em 100% da matéria seca (MS).

**Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si peloteste de Tukey (P>0,05).

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas para os teores de proteína bruta e extrato etéreo. Os teores de proteína bruta foram menores nas densidades de 0,1 e 0,2 g/kg, enquanto teores de extrato etéreo acima de 10% foram verificados apenas nas densidades de 0,01 e 0,017 g/kg (Tabela 9). Os demais teores não foram afetados pelas diferentes densidades larvais (P>0,05).

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos e teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (*frass*) resultante do tratamento do esterco ovino com seis densidades diferentes de larvas de *Black Soldier Fly* estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de esterco ovino tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)						
	0,01	**0,017**	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**ANOVA**
pH	8,1±0,07	8±0,2	8,1±0,1	7,9±0,02	8±0,02	8,1±0,05	$F_{5,23}$=0,27; C.V.=2,6%; P=0,9
Densidade (g/cm^3)	0,6±0,1 a	0,67±0,05 a	0,6±0,03 a	0,5±0,02 ab	0,53±0,002 ab	0,4±0,03 b	$F_{5,23}$=5,9; C.V.=12,9%; P=0,002
Umidade Total (%)	67,3±0,8 a	67,9±0,6 a	67,4±0,3 a	63,1±2,01 ab	63±1,8 ab	56,1±3,5 b	$F_{5,23}$=5,9; C.V.=5,8%; P=0,002
Matéria Orgânica (g/kg)	714,8±6,2 ab	712,3±2,1 ab	709,7±5,6 b	725,4±6,7 ab	738,4±6,1 a	719,8±7,7 ab	$F_{5,23}$=3,1; C.V.=1,7%; P=0,03
Carbono Orgânico (g/kg)	397,2±3,5 ab	395,8±1,1 ab	394,3±3,2 b	403±3,7 ab	410,2±3,3 a	399,9±4,3 ab	$F_{5,23}$=3,1; C.V.=1,6%; P=0,04
Nitrogênio (N) Total (g/kg)	28,1±1,4	28,4±2,03	26,7±0,9	30,8±3,7	27,2±1,5	27,3±1,8	$F_{5,23}$=0,5; C.V.=14,9%; P=0,77
Fósforo (P_2O_5) Total (g/kg)	18,2±0,6	18,9±1,6	18,9±0,9	18,03±2,02	17,7±1,1	20,8±1,8	$F_{5,23}$=0,6; C.V.=15,2%; P=0,7
Potássio (K_2O) Total (g/kg)	35,8±0,6 a	34,5±1,2 a	38,1±2,0 a	26,6±2,8 b	31,8±1,5 ab	36,8±1,04 a	$F_{5,23}$=6,3; C.V.=9,9%; P=0,002
Cálcio (Ca) Total (g/kg)	34,9±2,1	32,6±1,1	31,9±3,7	35,1±5,1	30,6±2,3	41,0±4,9	$F_{5,23}$=1,1; C.V.=20,4%; P=0,4
Magnésio (Mg) Total (g/kg)	6,5±0,3	6,6±0,2	6,7±0,1	7,7±0,9	6,2±0,2	7,5±0,2	$F_{5,23}$=1,9; C.V.=12,8%; P=0,14
Enxofre (SO_4) Total (g/kg)	7,3±1,03 a	5,3±0,2 ab	5,1±0,2 b	4,6±0,2 b	4,5±0,4 b	5,6±0,2 ab	$F_{5,23}$=4,4; C.V.=17,9%; P=0,009
Relação C/N	14±0,6	14±1,1	15±0,4	14±1,4	15±0,7	15±1,1	$F_{5,23}$=0,36; C.V.=13,2%; P=0,87

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).

Diferenças significativas (P<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas para os parâmetros de densidade, umidade, matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO), potássio e enxofre totais. Os valores de densidade foram maiores (≈ 0,6 g/cm^3) nos três tratamentos com menor densidade larval. O teor de umidade total foi maior no *frass* obtido na densidade de 0,017 g/kg. Os teores de matéria orgânica e carbono orgânico foram menores no *frass* coletado na densidade de 0,025 g/kg. Uma menor quantidade de potássio (≈ 27 g/kg) foi observada no *frass* obtido na densidade de 0,05 g/kg, e a maior diferença entre os teores de enxofre foi verificada entre as médias das densidades de 0,01 (7,3 g/kg) e 0,1 g/kg (4,5 g/kg) (Tabela 10).

5.2.1. Temperaturas dos substratos ao longo do processo

A temperatura no 1º dia de tratamento variou entre 31,8°C (na densidade de 0,01 g/kg) e 31,1°C (na densidade de 0,1 g/kg). No dia da colheita, as temperaturas médias observadas variaram entre 27,9°C (na densidade de 0,01 g/kg) e 29,8°C (na densidade 0,2 g/kg) (Figura 17, Tabela 11).

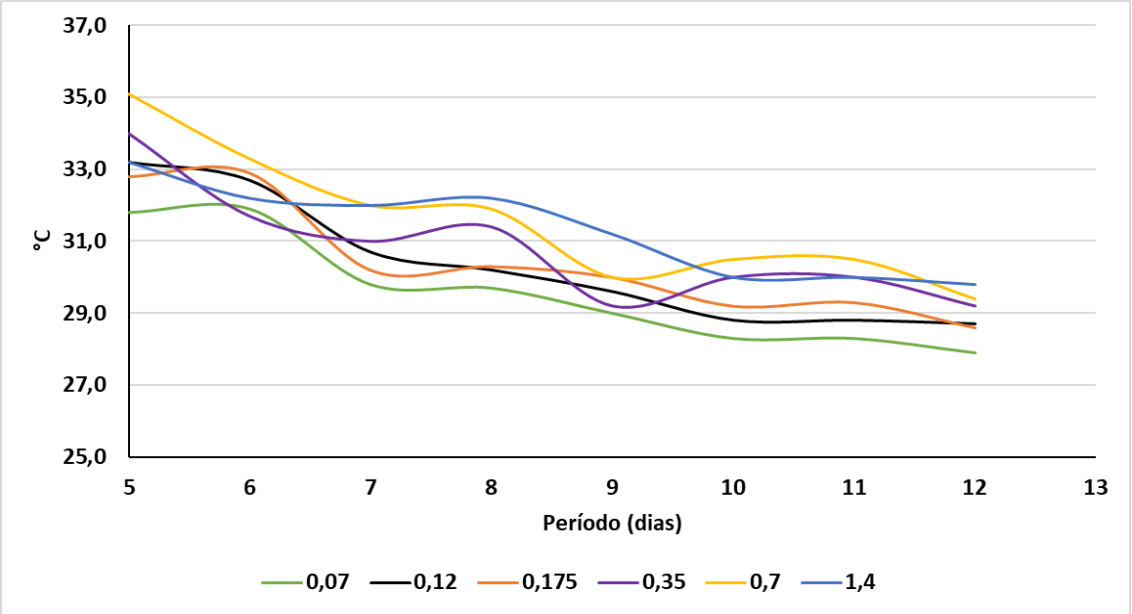


Figura 17. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de Black Soldier Fly criadas em esterco ovino.

O valor médio da temperatura decaiu a partir do primeiro dia, onde se observou as máximas temperaturas entre as densidades durante todo o tratamento. No 4º dia houve pequena alta nos valores, onde a maior e menor densidade apresentaram, respectivamente, a maior e menor temperatura. Os valores voltaram a cair e se estabilizaram a partir do 10º dia, começa a ficar clara a tendência de maiores temperaturas nas maiores densidades (Figura 17).

Tabela 11. Temperaturas médias das densidades ao longo do tratamento

	Período larval (dias)							
Densidade Larval (g deovos/kg de dieta)	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
0,01	31,8	31,9	29,8	29,7	29,0	28,3	28,3	27,9
0,017	33,2	32,7	30,7	30,2	29,6	28,8	28,8	28,7
0,025	32,8	32,9	30,2	30,3	30,0	29,2	29,3	28,6
0,05	34,0	31,7	31,0	31,4	29,2	30,0	30,0	29,2
0,1	35,1	33,3	32,0	31,9	30,0	30,5	30,5	29,4
0,2	33,2	32,2	32	32,2	31,2	30	30	29,8

5.2.2. Umidade inicial dos substratos

O esterco ovino foi servido fresco às larvas, e a umidade foi de 71,48%.

5.3. Efeitos das densidades larvais em Esterco de Galinha Poedeira

Os valores de peso diário individual das larvas de MSN criadas em cinco diferentes densidades populacionais em esterco de galinha poedeira estão apresentadas na Figura 18.

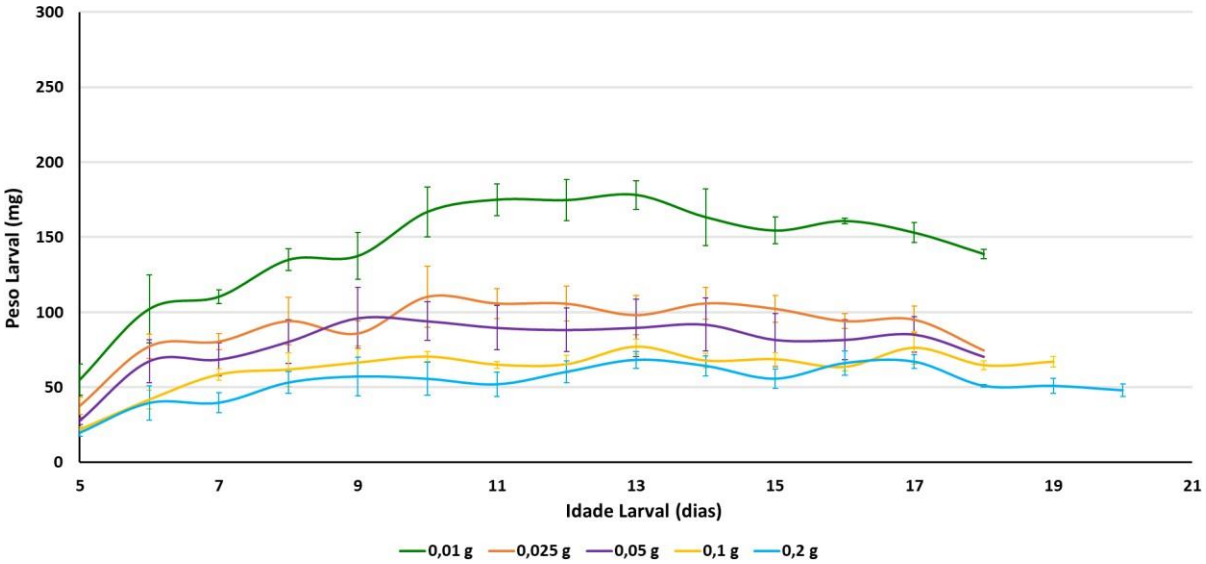


Figura 18. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de MSN criadas em diferentes densidades em esterco de galinha poedeira.

O peso individual médio das larvas no 1º dia após a semeadura no esterco variou entre 19 mg (na densidade de 0,2 g/kg) e 55 mg (na densidade de 0,01 g/kg). No 18º dia de idade larval, observou-se que o peso individual médio das larvas variou entre 54 mg (na densidade de 0,2 g/kg) e 140 mg (na densidade de 0,01 g/kg) (Figura 18).

Houve sobreposição dos valores médios de peso diário individual das larvas dos tratamentos 0,025 e 0,05 g/kg durante quase todo o período larval, assim como para os valores das larvas nas densidades 0,1 e 0,2 g/kg (Figura 18). O peso individual médio das larvas na densidade 0,01 g/kg foi superior aos das larvas dos demais tratamentos a partir do 7º dia de idade larval.

Todas as curvas de peso diário individual das larvas puderam ser preditas por regressões quadráticas com coeficientes de determinação (r^2) acima de 0,7 (Tabela 12).

Tabela 12. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de MSN criadas em diferentes densidades larvais em esterco de galinha poedeira ao longo do tempo.

Densidade Larval (g ovos/ kg de dieta)	Equação	Ajuste do Modelo (coeficiente de determinação)
0,01	$y = -112{,}1+43{,}9x-1{,}68x^2$	$r^2 = 0{,}94$
0,025	$y = -51{,}03+25{,}5x-1{,}02x^2$	$r^2 = 0{,}85$
0,05	$y = -47{,}9+22{,}9x-0{,}91x^2$	$r^2 = 0{,}80$
0,1	$y = -22{,}42+13{,}6x-0{,}48x^2$	$r^2 = 0{,}78$
0,2	$y = -20{,}3+11{,}6x-0{,}4x^2$	$r^2 = 0{,}79$

Os valores médios dos parâmetros de produção e biológicos das larvas de *Black Soldier Fly* criadas em cinco diferentes densidades populacionais em esterco de galinha poedeira estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Médias (±EP) de parâmetros biológicos e de produção das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco de galinha poedeira.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)					
	0,01	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**ANOVA**
Período Larval (dias)	17,5±0,3	17,3±0,3	17,3±0,3	18,3±0,5	20,3±1,4	$F_{4,19}$=3,2; C.V.=7,8%; P=0,05
Viabilidade Ovo-Larva (%)	29,5±9,0 ab	39,9±7,1 a	29,7±6,1 ab	18,8±1,7 ab	12,1±3,3 b	$F_{4,19}$=3,5; C.V.=16,3%; P=0,03
Peso individual das larvas coletadas (mg)	151,6±7,6 a	96,1±8,0 ab	86,9±10,8 ab	68,1±2,2 b	62,8±6,7 c	$F_{4,19}$=21,9; C.V.=16,3%; P<10^{-3}
Peso Total das Larvas (g)	84,6±22,8 b	182,0±19,6 ab	236,8±31,0 a	254,5±25,5 a	274,5±43,2 a	$F_{4,19}$=6,7; C.V.=28,7%; P=0,003
Nº estimado de larvas	584,1±179 a	1978,5±351,9 ab	2940,8±608,7 ab	3731,6±335,1 b	4783,1±1294,4 b	$F_{4,19}$=11,9; C.V.=6,5%; P<10^{-3}
Peso total das larvas secas (g)	31,9±8,1 a	52,6±4,2 ab	69,3±7,3 b	63,9±6,1 ab	74,3±12,2 b	$F_{4,19}$=4,4; C.V.=27,4%; P=0,015
Matéria seca total (%)	28,2±1,2	29,3±1,5	29,8±2,0	25,2±0,3	27,1±0,7	$F_{4,19}$=2,1; C.V.=2,7%; P=0,13
Ganho de peso individual no tempo (mg/dia)	8,7±0,6 a	5,6±0,5 b	5,1±0,7 bc	3,7±0,2 bc	3,2±0,5 c	$F_{4,19}$=17,7; C.V.=19,5%; P<10^{-3}
Índice de biomassa total no tempo (g/dia)	4,8±1,2 a	10,5±1,1 ab	13,7±1,7 b	14,1±1,8 b	13,6±2,0 b	$F_{4,19}$=6,02; C.V.=28,3%; P=0,004
Peso total de Frass coletado (g)	3130±90,9 ab	3868,3±140,4 ab	4350±318,9 a	2980±409,9 ab	2733,3±301,4 b	$F_{4,16}$=4,9; C.V.=25,4%; P=0,01
Redução em peso do resíduo (%)	54,1±1,1 ab	51,9±4,2 ab	40,2±4,8 b	57,4±5,9 a	56,8±5,5 a	$F_{4,19}$=9,03; C.V.=10,4%; P=0,01

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).
** Médias originais nesta tabela. Os valores dos parâmetros número estimado de larvas e massa seca (%) foram transformados por log(x + *k*) antes dasanálises.

Diferenças significativas ($P<0,05$) entre as médias dos tratamentos não foram observadas apenas para os parâmetros de período larval e matéria seca total (Tabela 13). Quedas significativas entre a menor e maior densidade larval foram observadas para os parâmetros de viabilidade ovo-larval (%), peso individual das larvas coletadas, ganho de peso individual no tempo (mg/dia), e peso total de *frass* coletado (Tabela 13).

Como resultado do maior número de larvas semeadas no tratamento, um número estimado crescente de larvas foi observado entre as densidades de 0,01 e 0,2 g/kg, apesar da viabilidade ovo-larva menor do que 20% nas duas maiores densidades. Valores crescentes significativos das médias também foram verificados para os parâmetros de peso total das larvas coletadas e secas, e índice de biomassa total no tempo (g/dia). Diferenças significativas não foram verificadas entre as densidades para o parâmetro de matéria seca total (%), sendo que as médias variaram entre 25,2 e 29,8% (Tabela 13).

À medida que a densidade larval aumentava, ocorreu uma redução crescente do resíduo utilizado para alimentação das larvas, sendo a maior diferença entre as médias das densidades de 0,05 g/kg (40,2%) e 0,1 g/kg (57,4%) (Tabela 13).

Os valores médios da composição bromatológica das larvas desidratadas de MSN criadas em cinco diferentes densidades populacionais em esterco de galinha poedeira estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em esterco de galinha poedeira.

TEOR NUTRICIONAL (%)	Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)					ANOVA
	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	
Matéria seca	95,5±0,1	94,5±0,2	93,5±0,6	93,8±0,5	94,2±0,3	$F_{4,9}$=5,7; C.V.=0,4%;P=0,06
Proteína bruta	38,9±0,3 ab	39,8±0,2 ab	40,7±0,8 a	36,3±1,5 b	31,9±0,11 c	$F_{4,9}$=27,2; C.V.=1,2%; P=0,001
Fibra bruta	7,13±0,2	9,72±3,1	12,3±0,7	11,65±1,4	11,0±0,1	$F_{4,9}$=1,7; C.V.=3,9%;P=0,29
Extrato etéreo	15,3±0,2 a	9,75±0,3 b	4,19±0,1 c	3,12±0,5 cd	2,05±0,5 d	$F_{4,9}$=406; C.V.=2,1%; $P<10^{-3}$
Matéria mineral	30,5±0,2 a	33,4±0,2 b	36,2±0,1 b	38,6±0,8 c	40,9±0,3 c	$F_{4,9}$=99,3; C.V.=1,2%; $P<10^{-3}$

*Resultados expressos em 100% da matéria seca (MS).
**Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si peloteste de Tukey (P>0,05).

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas para os teores de proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral (Tabela 14). O teor de proteína bruta foi menor na alta densidade de 0,2 g/kg. Teores de extrato etéreo abaixo de 5% foram verificados nas densidades de 0,05 a 0,2 g/kg, enquanto que maiores teores de matéria mineral foram verificados nessas três densidades.

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos e teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (*frass*) resultante do tratamento do esterco de galinha poedeira com 5 densidades diferentes de larvas de *Black Soldier Fly* estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de esterco de galinha poedeira tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)					ANOVA
	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	
pH	9,2±0,1	9,3±0,1	9,4±0,1	9,2±0,1	9,4±0,2	$F_{4,19}$=0,49; C.V.=2,5%; P=0,74
Densidade (g/cm^3)	0,6±0,1	0,57±0,1	0,7±0,1	0,6±0,1	0,6±0,1	$F_{4,19}$=0,39; C.V.=18,1%; P=0,81
Umidade Total (%)	16,4±6,3	15,1±4,6	17,4±6,6	17,7±4,5	14,8±4,9	$F_{4,19}$=0,08; C.V.=21,9%; P=0,98
Matéria Orgânica (g/kg)	400,9±22,8	401,8±26,4	378,9±17,2	372,9±22,7	354,0±17,5	$F_{4,19}$=0,87; C.V.=11,3%; P=0,504
Carbono Orgânico (g/kg)	222,8±12,7	223,2±14,7	210,5±9,6	207,2±12,6	196,7±9,7	$F_{4,19}$=0,87; C.V.=11,3%; P=0,51
Nitrogênio (N) Total (g/kg)	24,6±1,5	26,2±0,4	26,8±0,8	26,7±0,6	26,0±1,6	$F_{4,19}$=0,68; C.V.=8,2%; P=0,62
Fósforo (P_2O_5) Total (g/kg)	70,9±3,5	73,2±3,4	70,8±2,9	68,5±2,3	71,8±1,2	$F_{4,19}$=0,39; C.V.=7,8%; P=0,81
Potássio (K_2O) Total (g/kg)	32,7±1,1	32,7±1,3	33,1±0,1	33,6±1,8	36,0±1,7	$F_{4,19}$=1,07; C.V.=8,1%; P=0,41
Cálcio (Ca) Total (g/kg)	169,0±2,4	168±7,9	176,5±2,2	167,1±9,3	179,4±4,3	$F_{4,19}$=0,86; C.V.=6,9%; P=0,51
Magnésio (Mg) Total (g/kg)	9,3±0,6 ab	8,4±0,4 b	9,2±0,6 ab	10,0±0,4 ab	11,1±0,5 a	$F_{4,19}$=3,9; C.V.=10,5%; P=0,02
Enxofre (SO_4) Total (g/kg)	5,9±0,09 b	6,1±0,2 ab	6,0±0,2 b	5,8±0,3 b	7,0±0,3 a	$F_{4,19}$=4,5; C.V.=7,6%; P=0,014
Relação C/N	9,0±0,4	8,6±0,6	8,0±0,4	7,6±0,5	7,6±0,4	$F_{4,19}$=1,6; C.V.=11,8%; P=0,24

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas apenas para os nutrientes magnésio e enxofre totais. Os teores de magnésio variaram entre 8,4 g/kg (na densidade de 0,025 g/kg) e 11,1 g/kg (na densidade de 0,2 g/kg), enquanto que os teores de enxofre variaram entre 5,8 g/kg (na densidade de 0,1 g/kg) e 7 g/kg (na densidade de 0,2 g/kg) (Tabela 15).

5.3.1. Temperaturas dos substratos ao longo do processo

A temperatura no 1º dia de tratamento variou entre 36,4°C (na densidade de 0,05 g/kg) e 38,7°C (nas densidades de 0,1 e 0,025 g/kg). No dia da colheita, as temperaturas médias observadas variaram entre 29.5°C (na densidade de 0,2 g/kg) e 31°C (na densidade 0,01 g/kg) (Figura 19).

O valor médio da temperatura decaiu a partir do primeiro dia, onde se observou as máximas temperaturas entre as densidades durante todo o tratamento. No 4º dia houve pequena alta nos valores, onde a maior e menor densidade apresentaram, respectivamente, a maior e menor temperatura. Os valores voltaram a cair e se estabilizaram a partir do 10º dia, começa a ficar clara a tendência de maiores temperaturas nas maiores densidades (Figura 19).

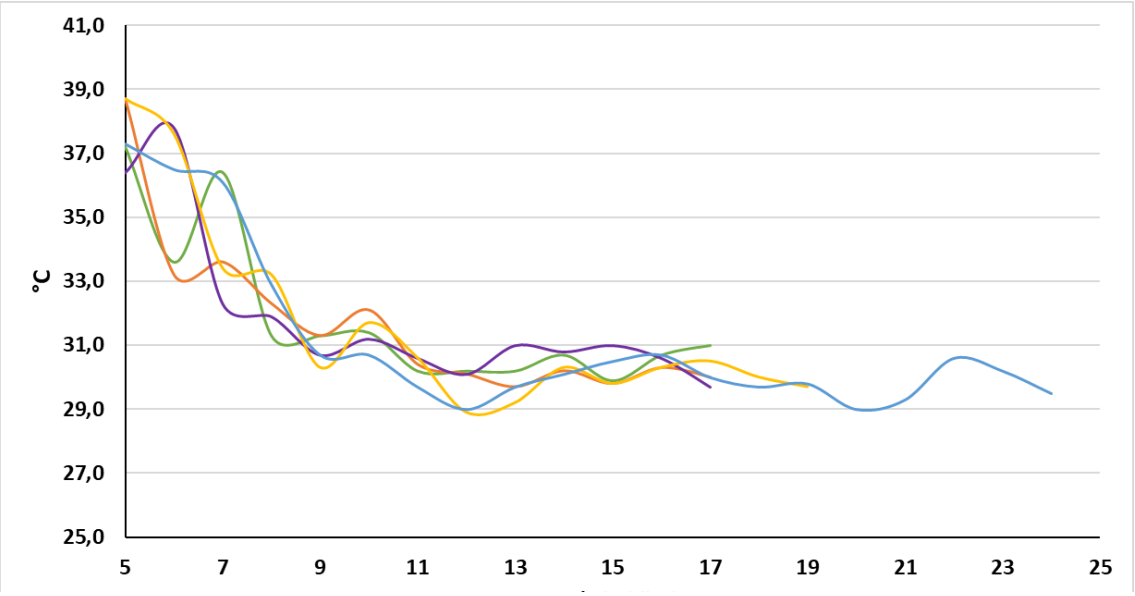


Figura 19. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades em esterco de galinhas poedeiras

Tabela 16. Temperaturas médias das densidades ao longo do período larval.

	Idade larval (dias)									
Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
0,01	37,2	33,6	36,4	31,3	31,3	31,4	30,2	30,2	30,2	30,7
0,025	38,7	33,2	33,6	32,3	31,3	32,1	30,4	30,1	29,7	30,2
0,05	36,4	37,8	32,3	31,9	30,7	31,2	30,6	30,1	31	30,8
0,1	38,7	37,6	33,4	33,2	30,3	31,7	30,6	28,9	29,2	30,3
0,2	37,3	36,5	36,1	32,9	30,7	30,7	29,7	29,0	29,7	30,1
Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
0,01	29,9	30,7	31							
0,025	29,8	30,3	30							
0,05	31	30,6	29,7							
0,1	29,8	30,3	30,5	30	29,7					
0,2	30,5	30,7	30	29,7	29,8	29	29,3	30,6	30,2	29,5

5.3.2. Umidade inicial dos substratos

O esterco de galinhas, inicialmente apresentou aspecto seco e foi hidratado até sua capacidade de campo. Sua umidade desidratada foi de 31,24%.

5.4. Efeitos das densidades larvais em Resíduos de Pizzaria

Os valores de peso diário individual das larvas de *Black Soldier Fly* criadas em cinco diferentes densidades populacionais em resíduos de pizzaria estão apresentadas na Figura 20.

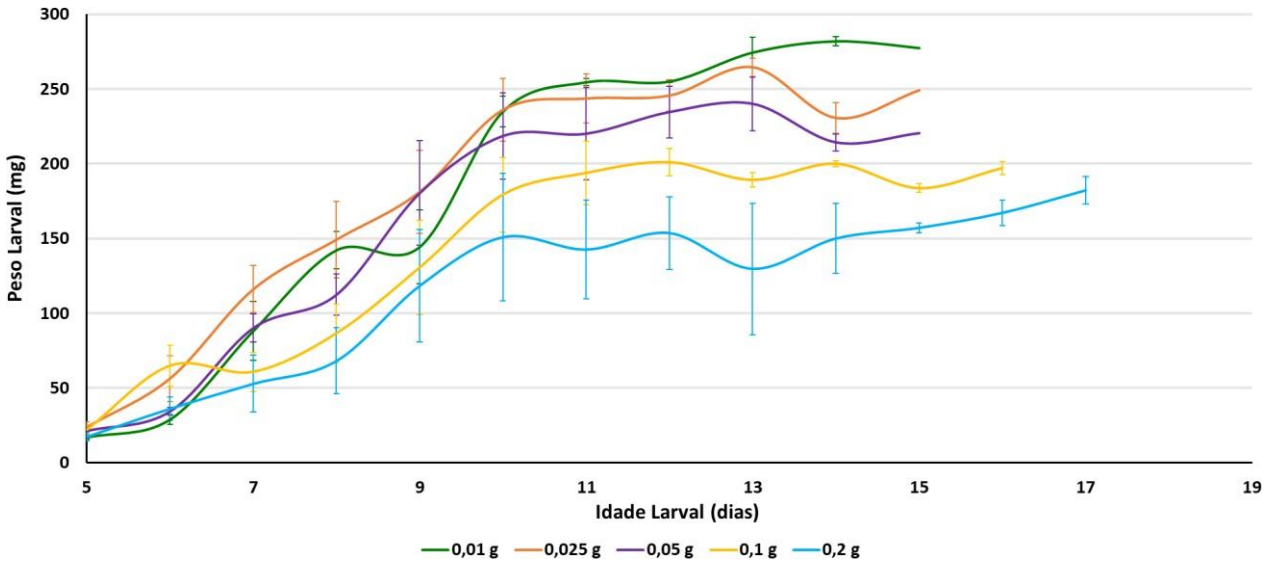


Figura 20. Peso diário individual (média ± erro padrão) de larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades em restos de pizzaria.

O peso individual médio das larvas no 1º dia após a semeadura no resíduo de pizzaria variou entre 16,9 mg (na densidade de 0,01 g/kg) e 24 mg (na densidade de 0,025 g/kg). No 15º dia de idade larval, observou-se que o peso individual médio das larvas variou entre 157 mg (na densidade de 0,2 g/kg) e 277 mg (na densidade de 0,01 g/kg) (Figura 20).

Houve grande sobreposição dos valores de peso diário individual até o 7º dia de idade larval, sendo que a sobreposição se manteve para os valores dos tratamentos 0,01; 0,025 e 0,05 g/kg até o 13º dia de idade larval (Figura 20). O peso diário individual das larvas na densidade de 0,2 g/kg não conseguiu ultrapassar 180 mg.

Todas as curvas de peso diário individual das larvas puderam ser preditas por regressões quadráticas com coeficientes de determinação (r^2) acima de 0,9 (Tabela 17).

Tabela 17. Regressões quadráticas dos valores de peso diário individual das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades larvais em restos de pizzaria ao longo do tempo.

Densidade Larval (g ovos/ kgde dieta)	Equação	Ajuste do Modelo (coeficiente de determinação)
0,01	$y = -362{,}3+85{,}2x-2{,}8x^2$	$r^2 = 0{,}96$
0,025	$y = -374{,}6+95{,}5x-3{,}6x^2$	$r^2 = 0{,}97$
0,05	$y = -383{,}4+94{,}1x-3{,}6x^2$	$r^2 = 0{,}96$
0,1	$y = -247{,}6+62{,}8x-2{,}21x^2$	$r^2 = 0{,}94$
0,2	$y = -183{,}4+46{,}5x-1{,}58x^2$	$r^2 = 0{,}92$

Os valores médios dos parâmetros de produção e biológicos das larvas de *Black Soldier Fly* criadas em cinco diferentes densidades populacionais em resíduo de pizzaria estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Médias (±EP) de parâmetros de produção e biológicos e das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em resíduos de pizzaria.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)					ANOVA
	0,01	**0,025**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	
Período Larval (dias)	12.8±1.0 a	13.3±0.8 a	13.5±0.6 ab	14.5±0.9 ab	14.8±1.3 b	$F_{4,19}$=6.9; C.V.=8.9%; P=0.008
Viabilidade Ovo-Larva (%)	57.5±6.8 a	50.3±7.9 ab	37.9±2.1 ab	27.7±7.1 b	26.9±0.8 b	$F_{4,19}$=6.1; C.V.=22.4%; P=0.01
Peso individual das larvas coletadas (mg)	268.7±8.1 a	247.3±11.6 a	243.7±14.3 a	195.8±3.4 b	177.5±8.3 b	$F_{4,19}$=15.1; C.V.=8.7%; P<10^{-3}
Peso Total das Larvas (g)	334.1±51.7 d	636.4±65.6 cd	999.6±72.1 bc	1188.8±303.4 b	1193±594.7 a	$F_{4,19}$=25.4; C.V.=21.8%; P<10^{-3}
Nº estimado de larvas	1231,5±164,3 a	2629±405,8 a	4109,7±248,8 ab	6100,2±1554,8 b	11842,3±338,1 c	$F_{4,19}$=32,8; C.V.=24,2%; P<10^{-3}
Peso total das larvas secas (g)	124,9±22,8 a	249,2±31,2 a	379,5±22,4 ab	459,2±133,6 b	466,6±233,8 c	$F_{4,19}$=18,8; C.V.=25,7%; P<10^{-3}
Matéria seca total (%)	28,2±1,2 a	38,9±1,0 b	38,1±0,7 b	37,2±1,9 b	38,6±0,5 b	$F_{4,19}$=14,9; C.V.=6,5%; P<10^{-3}
Ganho de peso individual no tempo (mg/dia)	21,3±1,2 a	18,9±1,7 ab	18,3±1,7 abc	13,6±0,8 bc	12,4±1,5 c	$F_{4,19}$=6,7; C.V.=17,1%; P=0,003
Índice de biomassa total no tempo (g/dia)	25,8±2,4 c	47,9±3,5 bc	75,2±8,4 bc	86,4±25,8 b	93,9±48,8 a	$F_{4,19}$=17,6; C.V.=26,6%; P<10^{-3}
Peso total de Frass coletado (g)	4533,8±320,7 a	4412,5±223 a	4123,8±251,8 ab	3346,3±214,8 b	3575,0±76,1 ab	$F_{4,19}$=5,03; C.V.=11,6%; P=0,009
Redução em peso do resíduo (%)	35,2±4,6 a	37,0±3,2 a	41,1±3,6 ab	52,2±3,1 b	48,9±1,1 ab	$F_{4,19}$=5,02; C.V.=15,4%; P=0,01

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas para todos os parâmetros avaliados (Tabela 18). Quedas significativas entre a menor e maior densidades larvais foram observadas para os parâmetros de viabilidade ovo-larval (%), peso individual das larvas coletadas, ganho de peso individual no tempo (mg/dia) e peso total de *frass* (Tabela 18).

Como resultado do maior número de larvas semeadas no tratamento, um número estimado crescente de larvas foi observado entre as densidades de 0,01 e 0,2 g/kg, apesar da viabilidade ovo-larva menor do que 28% nas duas maiores densidades. Valores crescentes significativos nas médias foram verificados para os parâmetros de peso total das larvascoletadas e secas, matéria seca total (%) e índice de biomassa total no tempo (g/dia). No parâmetro de matéria seca total (%), somente a média da densidade 0,01 g/kg (28,2%) foi inferior às médias dos demais tratamentos.

À medida que a densidade larval aumentou, ocorreu uma redução crescente do resíduo utilizado para alimentação das larvas, chegando a mais de 48% nas densidades de 0,1 e 0,2 g/kg (Tabela 18).

Os valores médios da composição bromatológica das larvas desidratadas de *Black Soldier Fly* criadas em cinco diferentes densidades populacionais em resíduos de pizzaria estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Composição bromatológica (média±EP) das larvas de Black Soldier Fly criadas sob diferentes densidades em resíduos de pizzaria.

TEOR NUTRICIONAL (%)	Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta)					ANOVA
	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	
Matéria seca	96,1±0,5	96,1±0,5	96,3±0,5	96,9±0,3	97,4±0,2	$F_{4,9}$=0,9; C.V.=0,6%; P=0,55
Proteína bruta	36,7±0,7	35,8±3,7	34,9±0,3	33,6±4,1	32,2±0,4	$F_{4,9}$=0,5; C.V.=7,8%; P=0,73
Fibra bruta	5,92±0,3	5,47±0,8	5,02±0,5	4,94±0,8	4,86±0,4	$F_{4,9}$=0,7; C.V.=4,4%; P=0,63
Extrato etéreo	48,3±0,2	48,2±3,5	48,0±0,5	50,2±3,7	52,4±0,3	$F_{4,9}$=0,88; C.V.=5,5%; P=0,54
Matéria mineral	3,29±0,1	3,23±0,5	3,16±0,1	3,21±0,4	3,26±0,3	$F_{4,9}$=0,06; C.V.=2,9%; P=0,99

* Resultados expressos em 100% da matéria seca (MS).
**Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si peloteste de Tukey (P>0,05).

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos (Tabela 19). Quando alimentadas com os resíduos de pizzaria (principalmente bordas de pizza), os parâmetros nutricionais das larvas não foram afetados pelas diferentes densidades larvais.

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos e teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (*frass*) resultante do tratamento de resíduos de pizzaria com cinco densidades diferentes de larvas de *Black Soldier Fly* estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Médias (±EP) de parâmetros físico-químicos e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) do resíduo orgânico (frass) resultante de resto de pizzaria tratado com diferentes densidades larvais de Black Soldier Fly.

PARÂMETRO	Densidade Larval (g ovos/kg de dieta)					ANOVA
	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	
pH	5,5±0,1 a	5,4±0,1 a	4,6±0,1 b	5,4±0,01 a	5,6±0,1 a	$F_{4,19}$=29,7; C.V.=1,9%; P=0,001
Densidade (g/cm^3)	0,49±0,01	0,48±0,04	0,68±0,1	0,48±0,01	0,44±0,01	$F_{4,19}$=2,2; C.V.=17,4%; P=0,21
Umidade Total (%)	30,7±2,5	29,1±1,3	31,5±5,1	23,5±1,4	27,5±1,2	$F_{4,19}$=1,35; C.V.=13,7%; P=0,36
Matéria Orgânica (g/kg)	872,6±5,2	874,5±0,2	874,9±12,1	893,3±1,8	876,8±5,9	$F_{4,19}$=1,7; C.V.=1,04%; P=0,29
Carbono Orgânico (g/kg)	484,7±2,9	485,9±0,1	486,1±6,8	496,2±1,0	487,2±3,3	$F_{4,19}$=1,66; C.V.=1,05%; P=0,29
Nitrogênio (N) Total (g/kg)	41,3±1,3	38,1±2,4	38,6±2,1	39,3±1,1	46,3±0,5	$F_{4,19}$=4,3; C.V.=5,6%; P=0,07
Fósforo (P_2O_5) Total (g/kg)	11,1±0,3	9,1±1,3	8,7±0,4	8,8±0,5	10,4±0,7	$F_{4,19}$=2,3; C.V.=10,5%; P=0,19
Potássio (K_2O) Total (g/kg)	7,6±3,7	3,9±0,3	6,8±3,0	3,2±0,3	10,9±0,1	$F_{4,19}$=2,27; C.V.=20,6%; P=0,2
Cálcio (Ca) Total (g/kg)	6,1±0,2	4,2±0,8	3,9±0,3	3,9±0,4	5,2±0,7	$F_{4,19}$=3,2; C.V.=16,3%; P=0,12
Magnésio (Mg) Total (g/kg)	1,3±0,01	1,2±0,05	0,95±0,05	1,1±0,05	1,4±0,1	$F_{4,19}$=4,3; C.V.=9,1%; P=0,07
Enxofre (SO_4) Total (g/kg)	0,35±0,05	1,25±0,9	0,3±0,01	0,45±0,05	0,6±0,1	$F_{4,19}$=1,22; C.V.=19,2%; P=0,41
Relação C/N	12±0,5	13±1,0	13±0,9	13±0,5	11±0,5	$F_{4,19}$=2,6; C.V.=7,6%; P=0,17

*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P> 0,05).

Diferenças significativas (*P*<0,05) entre as médias dos tratamentos foram observadas apenas para o parâmetro de pH, sendo que as médias variaram entre 4,6 (no *frass* da densidade de 0,05 g/kg) e 5,6 (na densidade de 0,2 g/kg) (Tabela 20).

5.4.1. Temperaturas dos substratos ao longo do processo

A temperatura no 1º dia de tratamento variou entre 36,4°C (na densidade de 0,05 g/kg) e 38,7°C (nas densidades de 0,1 e 0,025 g/kg). No dia da colheita, as temperaturas médias observadas variaram entre 29.5°C (na densidade de 0,2 g/kg) e 31°C (na densidade 0,01 g/kg) (Figura 20, Tabela 21).

O valor médio da temperatura decaiu a partir do primeiro dia, onde se observou as máximas temperaturas entre as densidades durante todo o tratamento. No 4º dia houve pequena alta nos valores, onde a maior e menor densidade apresentaram, respectivamente, a maior e menor temperatura. Os valores voltaram a cair e se estabilizaram a partir do 10º dia, começa a ficar clara a tendência de maiores temperaturas nas maiores densidades (Figura 20).

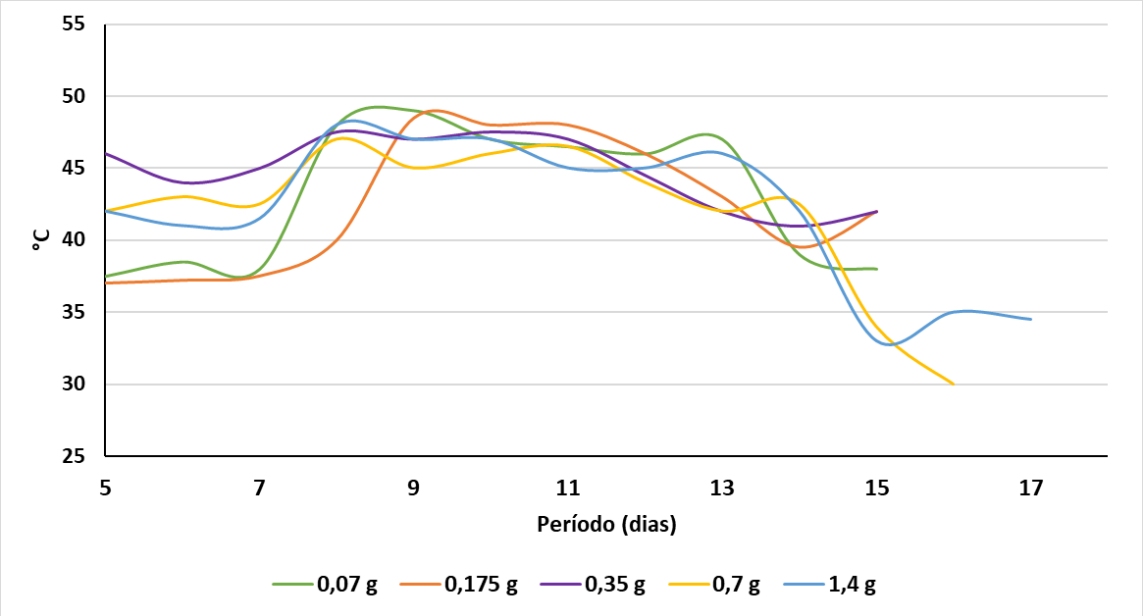


Figura 21. Temperaturas médias do substrato alimentar das larvas de Black Soldier Fly criadas em diferentes densidades em resíduo de pizzaria.

Tabela 21. Temperaturas médias nas densidades ao longo do período larval.

	Idade larval (dias)						
Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
0,01	37,5	38,5	38	48	49	47	46,5
0,025	37	37,2	37,5	40	48,5	48	48
0,05	46	44	45	47,5	47	47,5	47
0,1	42	43	42,5	47	45	46	46,5
0,2	42	41	41,5	48	47	47	45
Densidade Larval (g de ovos/kg de dieta	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	
0,01	46	47	39	38			
0,025	46	43	39,5	42			
0,05	44,5	42	41	42			
0,1	44	42	42,5	34	30		
0,2	45	46	42	33	35	34,5	

5.4.2. Umidade inicial dos substratos

As bordas de pizza não tiveram umidade inicial determinada, porém, por apresentarem aspecto seco antes de iniciar o tratamento foram hidratadas até ficarem macias, mas não encharcadas.

5.3. *Overview* dos efeitos das densidades larvais nos quatro resíduos

O crescimento populacional em diferentes densidades de larvas foi estudado em quatro resíduos orgânicos diferentes. Tanto a densidade quanto o tipo de resíduo influenciaram significativamente ($P<0,05$) as curvas de crescimento (Figuras 14, 16, 18 e 20) e peso final das larvas, sendo, em geral, menor o peso individual quanto maior a densidade, mas o contrário para os pesos totais frescos e desidratados de biomassa total de inseto produzida.

Os resultados de nove parâmetros apresentados nas Tabelas 3, 8, 13 e 18 também foram apresentados para os quatro resíduos orgânicos nas Figuras 22 a 30.

O período larval foi afetado significativamente apenas no resíduo de pizzaria. Os tempos médios de desenvolvimento para as larvas criadas em esterco bovino, ovino, de galinha poedeira foram de 13,7; 12,3 e 18,1 dias (Figura 22).

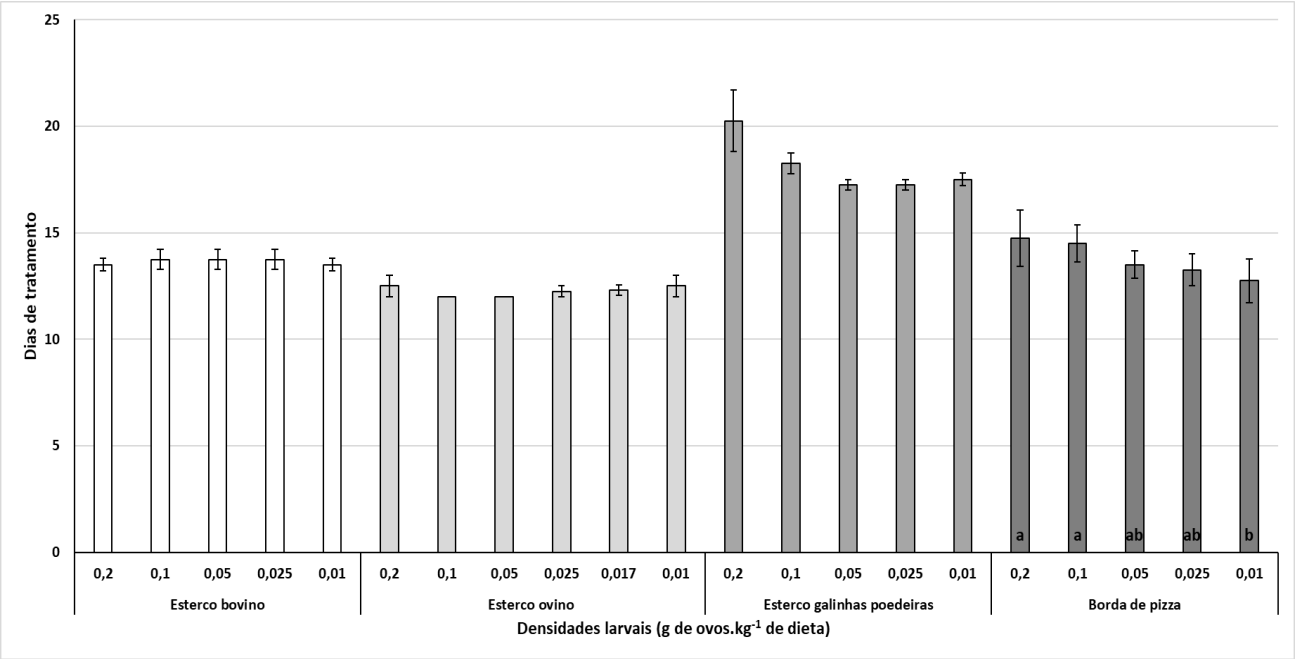


Figura 22. Período larval (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os valores médios de viabilidade ovo-larva (%) decresceram significativamente à medida quecrescia a densidade larval em todos os tipos de resíduos testados (Figura 23).

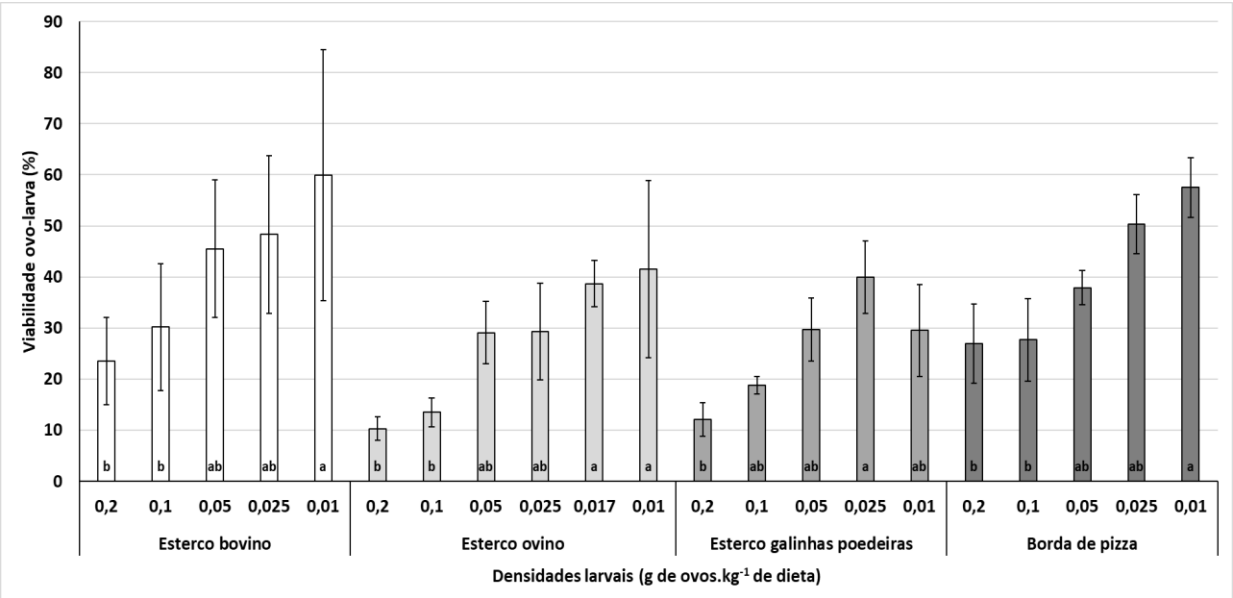


Figura 23. Viabilidade ovo-larva (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

O peso total das larvas coletadas frescas tendeu a ser maior nas maiores densidades larvais, atingindo os maiores valores médios (≈ 1,2 kg) na densidade de 0,2 g/kg no resíduo de pizzaria e o menor valor na densidade de 0,01 g/kg no esterco de galinha poedeira (≈ 85 g) (Figura 24).

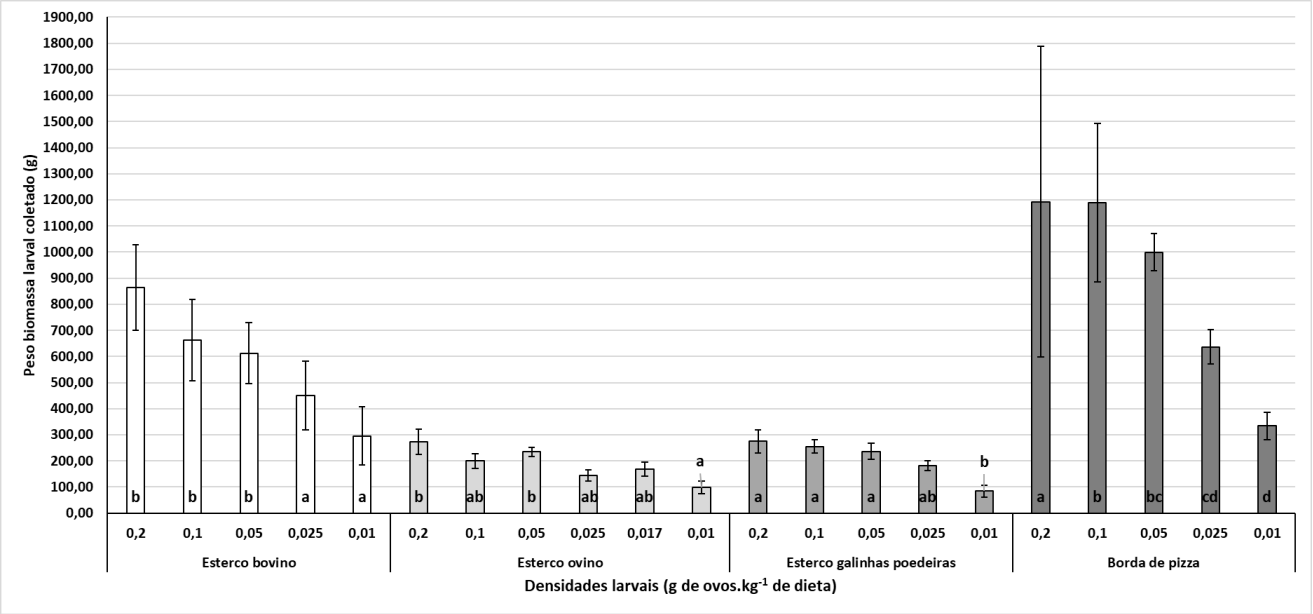


Figura 24. Peso total (g) das larvas coletadas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

O peso total das larvas secas seguiu tendência de ser maior nas maiores densidades no esterco bovino e no resíduo de pizzaria (Figura 25). Porém, em todos os tratamentos, as densidades de 0,2 e 0,01 apresentaram os maiores e menores valores médios, respectivamente.

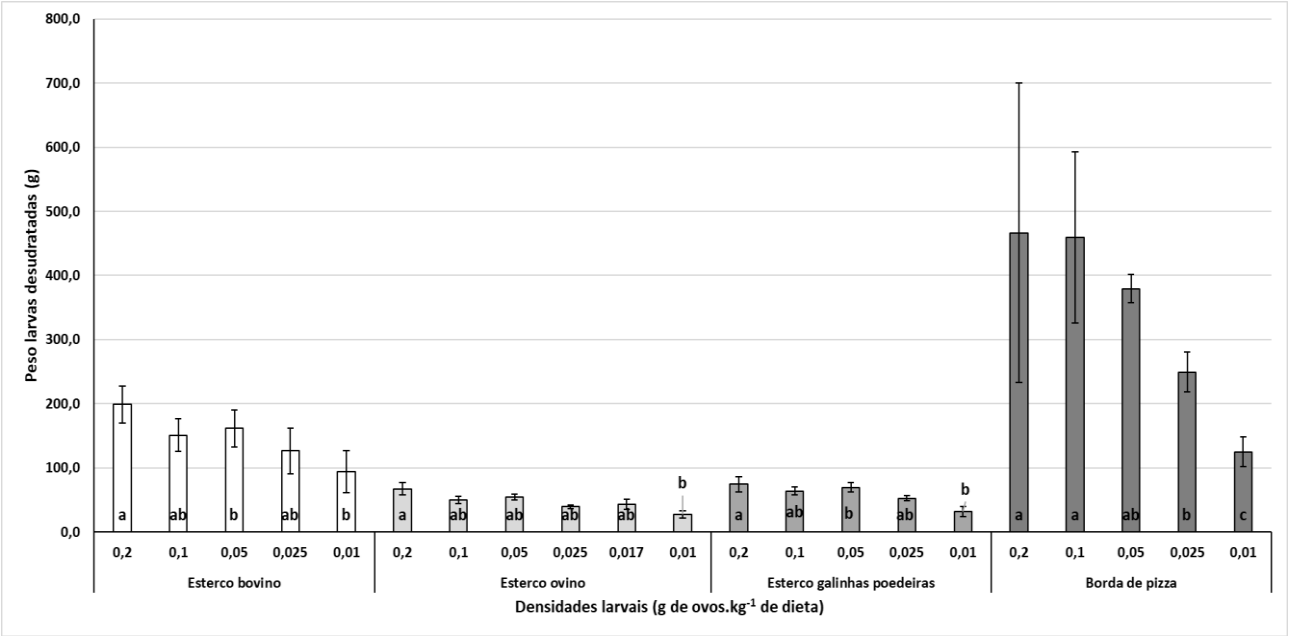


Figura 25. Peso total (g) das larvas desidratadas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

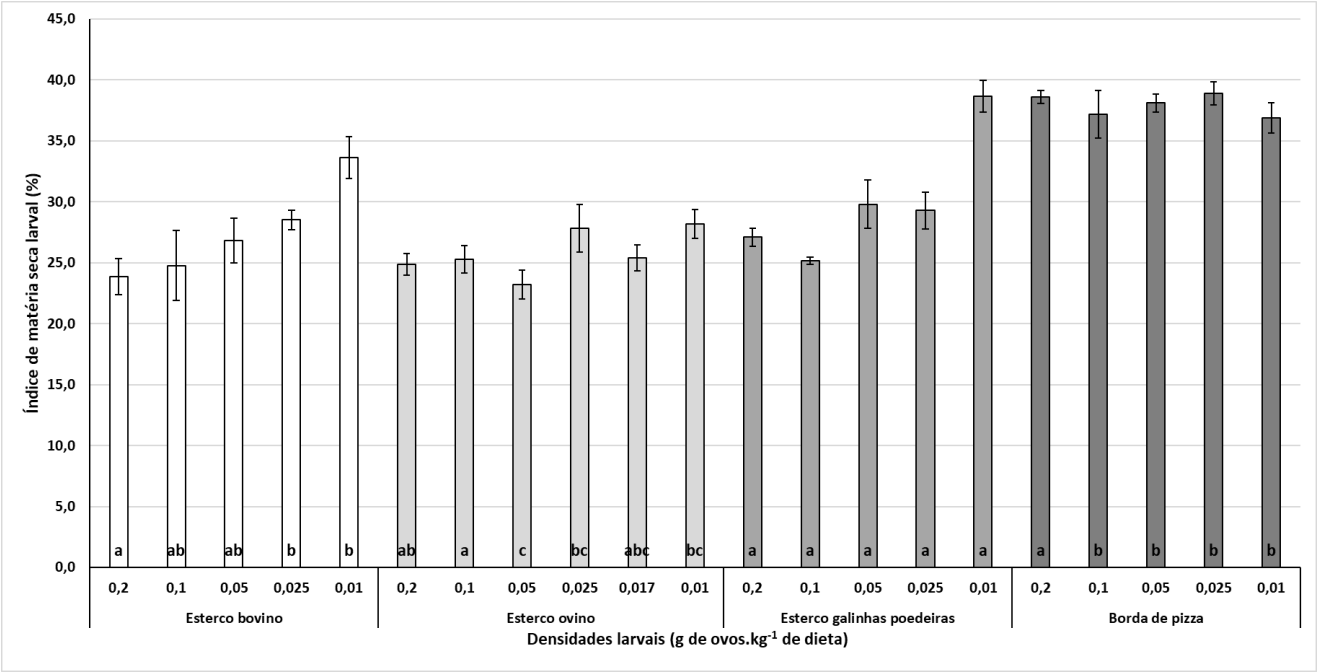


Figura 26. Matéria seca total (%) das larvas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os valores médios de ganho diário de peso individual decresceram significativamente à medida que crescia a densidade larval em todos os tipos de resíduos testados (Figura 27).

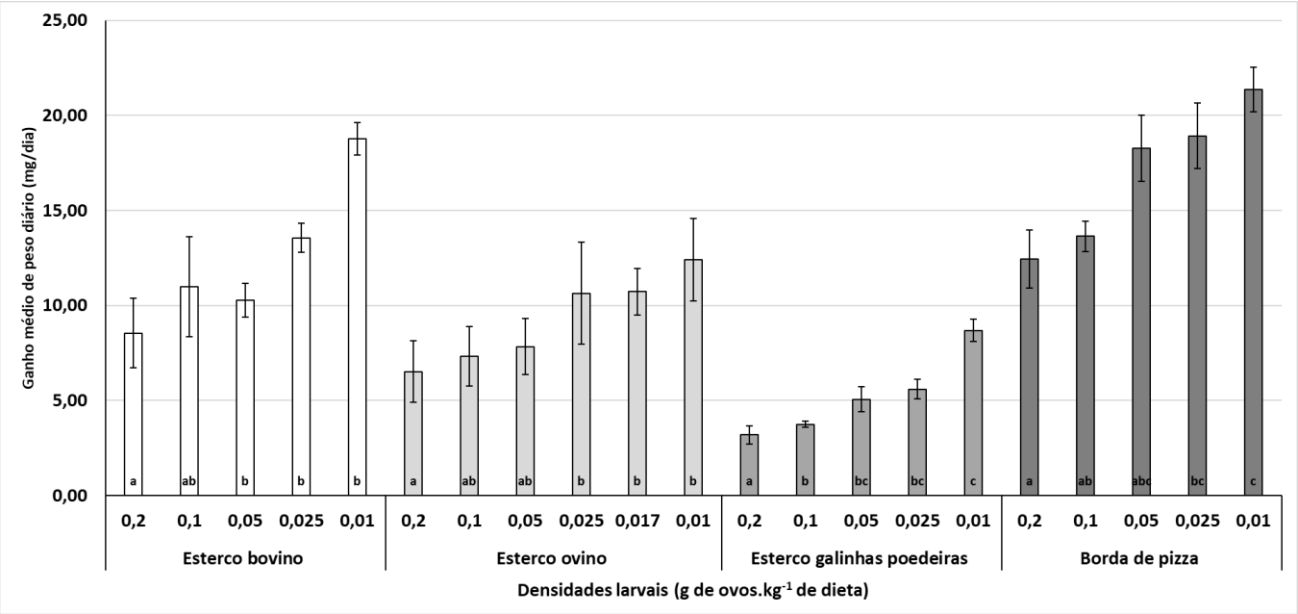


Figura 27. Ganho de peso individual (mg/dia) das larvas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

O índice de biomassa total no tempo tendeu a ser maior nas maiores densidades larvais (Figura 28), especialmente no esterco bovino e no resíduo de pizzaria.

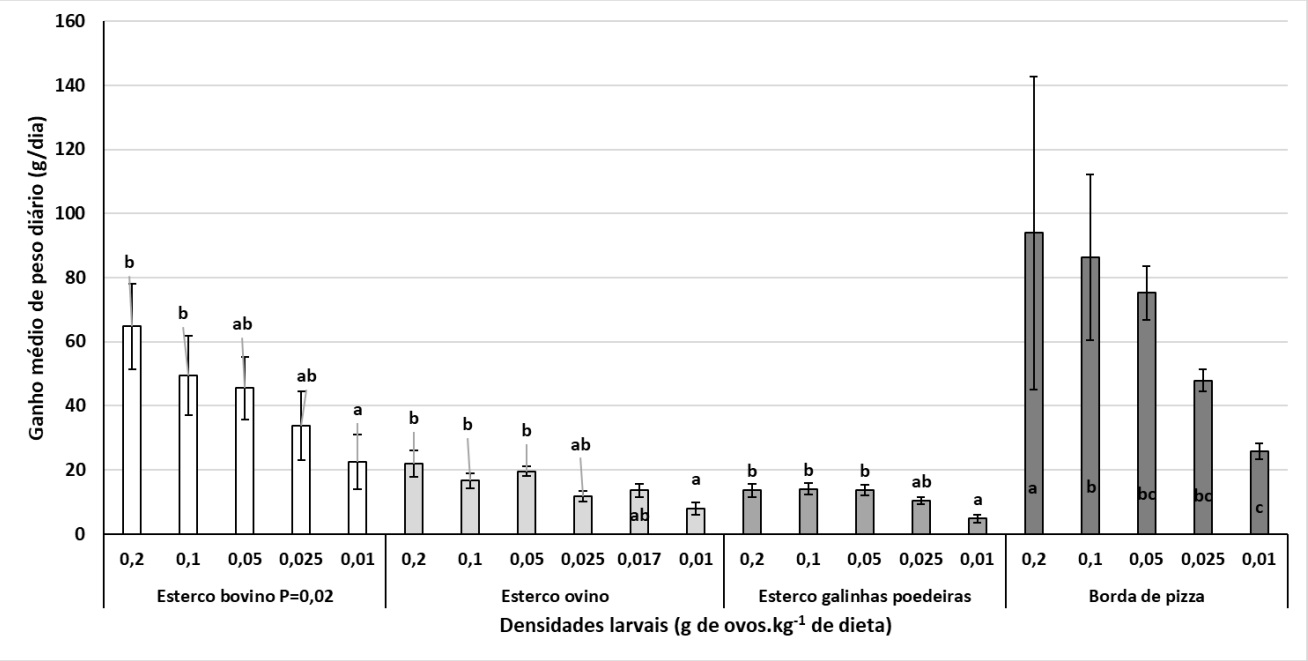


Figura 28. Índice de biomassa total no tempo (g/dia) das larvas (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

Não houve uma tendência clara de redução de peso total de *frass* coletado em todos os resíduos testados, como se pôde observar para o esterco ovino e resíduo de pizzaria. Todas as unidades experimentais começaram com 7 kg de resíduo por caixa, e o peso total de *frass* ao final do período larval sempre ficou abaixo de 4,5 kg (Figura 29).

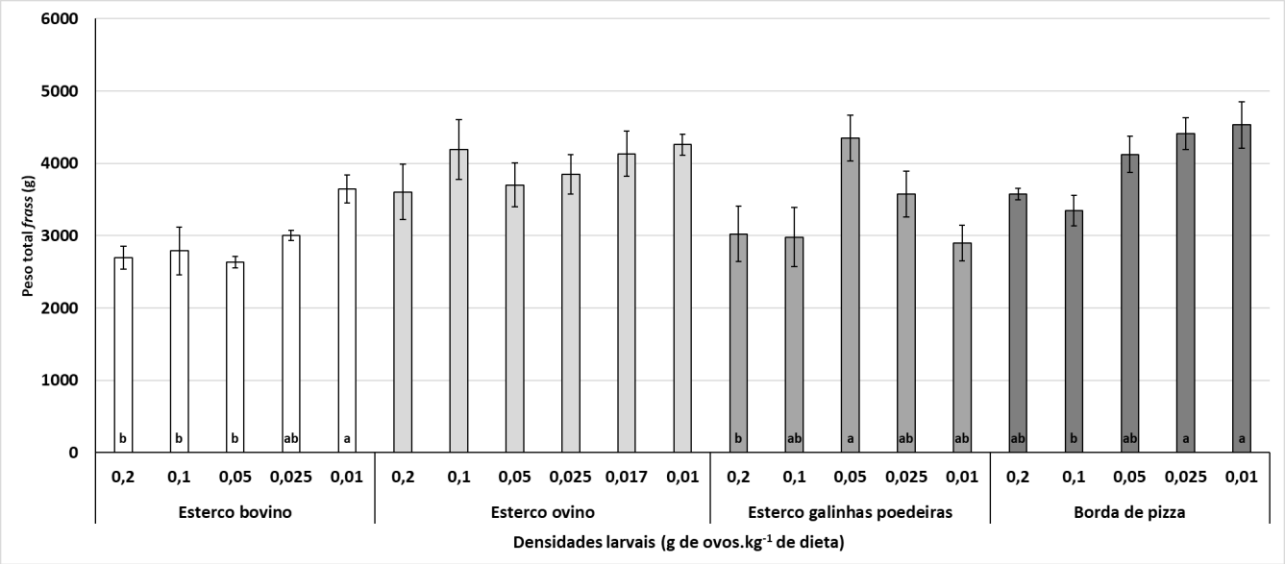


Figura 29. Peso total de frass coletado (média±EP) em quatro tipos de resíduos. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

Em geral, maiores valores de redução (%) estiveram associadas aos tratamentos com maiores densidades larvais (Figura 30). As reduções foram próximas de 60% em três densidades larvais em esterco bovino (i.e., 0,05; 0,1 e 0,2 g/kg) e em duas densidades no esterco de galinha poedeira (i.e., 0,1 e 02 g/kg).

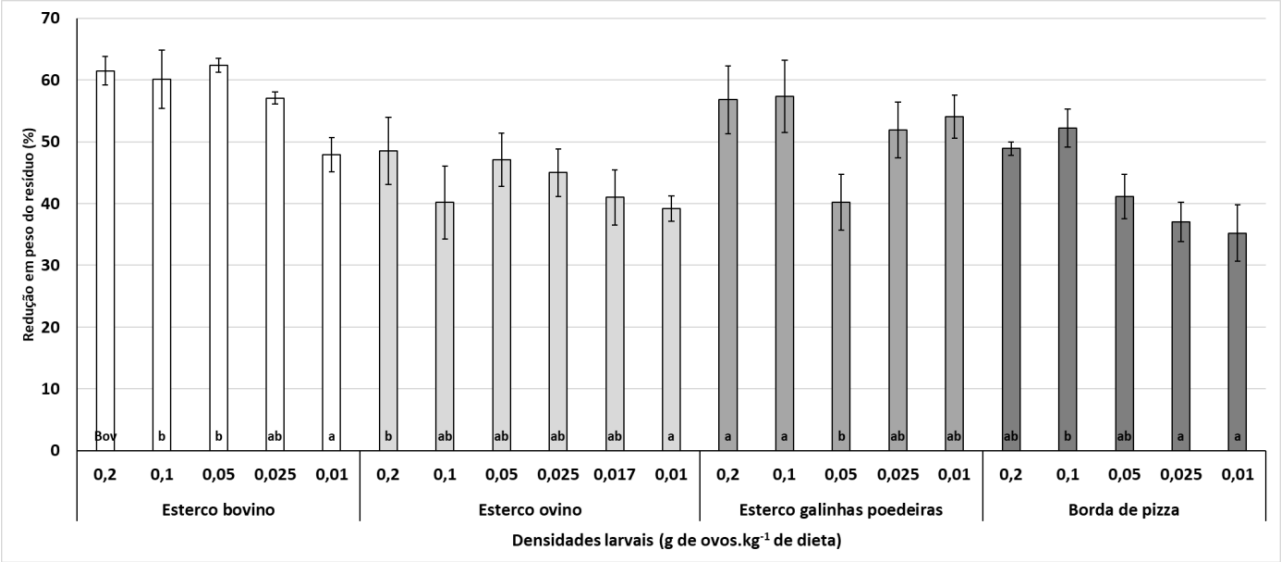


Figura 30. Redução (%) em peso dos quatro tipos de resíduos (média±EP) após alimentação das larvas. Colunas seguidas da mesma letra, dentro de cada resíduo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P>0,05).

6. DISCUSSÃO

Os ingredientes potenciais contidos nas larvas da MSN (LMSN) vêm sendo estudados como alternativa aos constituintes proteicos da ração de animais de interesse ao consumo humano, por terem caráter funcional e de qualidade, a melhorar o desempenho na produção (SCHIAVONE et al, 2017; ANDRADE, 2022; PÉREZ-PACHECO et al., 2022). Outras características relevantes associadas às LMSN têm relação com sua produção. Biologicamente, são eficientes conversores de substratos alimentares em biomassa larval e fertilizante, sua reprodução pode ser desenvolvida em grande escala, e vem sendo estudadas como um expoente da sustentabilidade na produção de fertilizante orgânico e proteína animal com reduzido impacto ambiental, enquanto promove o gerenciamento de resíduos orgânicos de diferentes cadeias de produção, transformando, então, dejetos e resíduos em produtos de qualidade e valor de mercado superior (BARRAGÁN-FONSECA; BESKIN et al., 2018; KIM et al.; LAGANARO; BAHRNDORFF; ERIKSEN, 2021; VELDKAMP et al., 2021; SEYEDALMOOSAVI et al., 2022). Dessa forma, promove-se a economia circular e ações voltadas aos objetivos do desenvolvimento sustentável. As diferenças ($P<0,05$) encontradas entre as densidades estudadas, bem como sua ausência, podem ser indicadores úteis, a depender do objetivo da produção. Em cada tópico, foram elaborados exemplos para melhor visualização da possível aplicação dos resultados.

Para o estado da arte da criação massal deste inseto, esta pode ser uma pesquisa inédita quanto a avaliação dos efeitos de diversas densidades populacionais de larvas na bioconversão de resíduos orgânicos comuns às atividades rurais e urbanas. Pela literatura, a quantidade de resíduo testado na presente pesquisa (7 kg/unidade experimental) foi considerada passível de prover resultados replicáveis em escala industrial (SCALA et al., 2020; YAKTI et al., 2022).

Trabalhar em uma escala considerada replicável na realidade foi importante, uma vez que grande parte dos estudos feitos com a MSN foram em escala laboratorial, isto é, com populações e recipientes reduzidos, e que apresentaram diferenças no tempo de desenvolvimento e peso final de larvas coletadas (SCALA et al, 2020). Estes fatores biológicos e de produção são essenciais à viabilidade do processo, que visa à continuidade e manutenção da produção a longo-prazo e necessita de dados que reflitam sua aplicabilidade e retorno econômico. Porém, mesmo sendo considerada escala industrial, estudos comparativos entre dimensões maiores às do presente trabalho não foram encontradas, sendo um tópico para futuras pesquisas.

Além da composição do alimento oferecido e densidade populacional, as condições ambientaisde criação como temperatura, umidade e dimensão do container também são fatores com potencial de interferência no desenvolvimento e qualidade dos produtos gerados (larvas e *frass*) (VELDKAMP et al., 2021; KUAN et al.; PÉREZ-PACHECO et al., 2022).

6.1. Efeito das densidades populacionais na produção e qualidade de larvas

A densidade populacional interferiu no desenvolvimento larval. O estudo demonstrou que as diferentes populações afetaram significativamente (P<0,05) diversos parâmetros de produção e biológicos da MSN em cada resíduo testado. Este efeito pode ter origem na composição do substrato e competição por alimento. Yakti e colaboradores (2022) desenvolveram uma criação em quatro escalas e duas densidades diferentes, e descrevem a disponibilidade de alimentos como fator de correlação proporcional ao ganho de peso diário, peso individual no dia da colheita e peso seco. Tendências essas que corroboram as do atual experimento. Dzepe et al. (2020) concluíram que o tempo de desenvolvimento larval em densidades próximas as de 0,01 g/kg do presente trabalho, pode ser interrompido, o que não foi observado neste estudo. Em contraste, os resultados presentes mostraram diferenças significativas (P<0,05) no tempo de crescimento apenas na maior densidade do resíduo de pizzaria. Este resultado dos autores pode se dever à configuração de alimentação contínua trabalhada em seu experimento. Este tipo de manejo alimenta as larvas diariamente, e como o volume de substrato inicial foi pequeno e não reteve calor suficiente, os autores relataram que larvas reduziram sua eficiência, por serem organismos pecilotermos. Estes fatores são importantes indicadores da produção, como o ganho de peso diário (o qual indica a tendência de eficiência do processo ao longo do tempo), bem como pode ser um indicador da produção futura.

Entre as densidades testadas, os resultados mostraram tendência de as maiores populações produzirem maiores pesos de biomassa larval fresca e desidratada, menores pesos individuais, menores ganhos diários de peso individual, maiores ganhos de peso diário da biomassa e, em geral, maiores índices de redução em peso do resíduo. O período de crescimento não foi afetado pela diferença de densidade, exceto na maior (0,2 g/kg), aplicada no resíduo de pizzaria, que diferiu significativamente (P<0,05) das demais. Menores ganhos de peso diário, bem como menores pesos individuais na colheita nas maiores densidades populacionais, podem ser entendidos pela provável competição por alimento e espaço (PÉREZ-PACHECO et al., 2022).

Os parâmetros de produção e biológicos da MSN podem ter aplicação na gestão de resíduos orgânicos e produção de fertilizante orgânico e larvas para fins de uso agrícola, alimentação animal e produção de biodiesel, por exemplo (ZHENG et al., 2011; ALVAREZ 2012; BAYO; MAZZA et al., 2020; FATIMAH et al., 2019; LEE; YUN; GOO, 2021; LOPES et al., 2022).

Pesquisar as diferentes densidades e observar os seus efeitos na produção e qualidade dos produtos finais foi importante para entender como este parâmetro fundamental de viabilidade econômica da produção se comportou, e assim poder vislumbrar diferentes fins para a produção, uma vez que se o objetivo for maior redução dos resíduos, maiores densidades seriam indicadas, e se a meta for obter maiores pesos individuais, as menores densidades larvais seriam as mais indicadas.

Atualmente, a legislação brasileira ainda carece de definições das autoridades quanto à inclusão deste novo ingrediente para ração animal, bem como a inclusão das LMSN alimentadas com resíduos orgânicos. Porém, as LMSN possuem alta porcentagem de gordura em sua composição e a sua produção em estercos ou outros resíduos orgânicos poderiam ser consideradas para usos não alimentícios, como produção de biodiesel (LI et al., 2011; Zheng et al., 2012). Dessa forma, pesquisas com o intuito de avaliar a viabilidade sanitária de inclusão de LMSN derivadas de resíduos na dieta animal, bem como o uso dos derivados das larvas podem ser úteis na obtenção de dados a justificar seu uso.

6.1.1. Composição corporal larval

As larvas de MSN em geral contêm índices altos de proteína e gordura e a composição do alimento ingerido tem influência em sua composição corporal (DOSSEY et al., 2016; BARRAGÁN-FONSECA, 2018). Caso se espere produzir larvas com maior quantidade de proteína (42-45%), segundo os presentes resultados, os resíduos bovino ou ovino em baixas densidades seriam os indicados. Caso a necessidade seja por larvas com maiores índices de gordura (48-50%), o resíduo de pizzaria em qualquer densidade.

Os resultados deste estudo indicam que os níveis proteicos do esterco ovino e de galinha poedeira foram afetados significativamente ($P<0,05$) pelas diferentes densidades, apresentando entre 44,4-40% e 38,9-31,9%, respectivamente, com menores valores nas maiores densidades. Os níveis de extrato etéreo contido nas larvas também foram influenciados significativamente ($P<0,05$) pela densidade populacional entre os estercos testados. As quantidades deste nutriente não foram influenciadas pelas densidades larvais no resíduo de pizzaria, que apresentou média de 49,42%. Utilizando resultados atingidos por Zheng et al. (2012), seria possível converter

36% da massa seca das larvas em biodiesel, onde 95% das quantidades de gordura encontradas poderiam ser aproveitadas na produção de biodiesel de aproximadamente 120 gramas na menor densidade e 430 gramas na maior densidade, tendo adição de 10% ao diesel comum. Porém, para validação dos dados são necessários estudos voltados à conversão em biodiesel, bem como testes em motores.

Em valores absolutos, sem comparação estatística, as larvas alimentadas com bordas de pizza apresentaram os maiores índices de extrato etéreo em sua composição (em média 49,32%) seguido pelas larvas de esterco bovino (23,02%), larvas do esterco de galinha poedeira (6,88%) e larvas oriundas do esterco ovino (6,37%). Os teores de gordura nas larvas alimentadas com bordas de pizza apresentaram valores semelhantes entre as populações, com o menor valor na densidade intermediária e, o maior, na maior densidade (Tabela 19). Já nos estercos bovino e ovino, notou-se tendência de menores valores deste nutriente nas maiores densidades, sendo o menor valor no esterco bovino na menor densidade (Tabelas 4 e 9). No esterco de galinhas poedeiras, esta diferença foi de aproximadamente 7,5 vezes, e, no esterco ovino, a discrepância foi de aproximadamente 3,9 vezes entre o menor e maior valore (Tabela 14). A tendência de menores valores nas maiores densidades dos estercos pode ter se dado por limitações de alimento, hipótese corroborada também pelos menores valores de peso individual, o que, segundo Tschinder e Simon (2015) pode ter levado às larvas a utilizarem suas reservas de gordura para sobreviver. Esta possibilidade é reforçada pelos resultados encontrados por Barragán-Fonseca (2018), onde em sua criação com maior restrição de alimento com densidade populacional próxima à maior do presente estudo, também apresentaram menores índices de extrato etéreo com relação à menor estudada pela autora (semelhante à densidade intermediária estudada neste trabalho). As larvas alimentadas pela autora com maior índice de carboidratos na dieta apresentaram maiores níveis de gordura com relação às demais, fato observado no presente trabalho. Os valores encontrados no presente estudo diferem em valor absoluto aos encontrados pela autora, porém, em seu trabalho as larvas foram alimentadas também com ração de galinha, o que provavelmente influenciou nos valores obtidos.

Os resultados presentes de extrato etéreo para esterco bovino foram menores do que os 21,42% obtidos por St-Hilaire et al. (2007), porém os autores utilizaram densidades 50% menor do que0,01 g/kg, o que corrobora com a tendência observada nos resultados atuais. Os percentuais de 18,73%, 34,8% e 35% de gordura larval encontradas por Gutierréz et al. (2004), Newton et al. (2005) e Sheppard et al. (1994), respectivamente, foram maiores em relação às do presente estudo, porém em densidades populacionais não relatadas pelos autores.

Em valores absolutos, o nível proteico obtido no esterco bovino na densidade 0,2 g/kg foi o mais alto (45,8%), sendo decrescente nas menores densidades. Esta tendência não ocorreu no resíduo de pizzaria, onde, entre os resíduos, a menor concentração (31,9%) deste nutriente foi observada na maior densidade. Este efeito pode indicar competição das larvas (YAKTI et al., 2022) ou imobilidade de nitrogênio no substrato para ser convertido, hipótese corroborada pelo *frass* deste resíduo ter apresentado os maiores níveis deste elemento. Lopes et al. (2019) observaram maiores índices de proteína larval nos tratamentos de pão com prazo de validade expirado que receberam adição de sobras da aquicultura, ricas em proteína. Os níveis de proteína encontrados do esterco ovino foram superiores aos 13,34% encontrados por Julita et al. (2018). A densidade populacional trabalhada não foi mencionada por esses autores, podendo ser o motivo da diferença. Gutierréz et al. (2004) obtiveram 37,9% de proteína em larvas criadas por oviposição natural em esterco de galinhas, resultado maior do que os obtidos nas densidades 0,1 g/kg e 0,2 g/kg, de 36,3 e 31,9%, respectivamente. Aniebo et al. (2009) testaram a adição e substituição completa de farinha de larvas de MSN na alimentação de peixes, e obtiveram resultados sem diferenças na criação dos peixes quando comparada à fonte proteica convencional. Segundo os autores, a fração proteica representou 25% do peso seco da ração dos peixes. Dos resultados presentes, com aproximadamente 43% da massa seca das larvas sendo proteína, seria possível obter através do esterco bovino cerca de 127 g de proteína de inseto na densidade 0,01 g/kg e 371,6 g na densidade 0,2 g/kg. Assim, seria possível obter cercade 508 e 1486 g de ração para peixes, com origem em 7 kg de resíduo orgânico de cada densidade.

A nutrição das larvas é importante para seu ciclo de vida, uma vez que esta espécie depende da concentração de gordura adquirida durante a fase larval para o suprimento de energia ao longo da fase adulta, a qual é focada apenas na reprodução (MIRANDA et al., 2019). Assim, uma dieta balanceada se faz importante no ciclo de vida do inseto, sendo a composição de uma dieta feita com diversos resíduos possível de ser avaliada e assim podendo aumentar a eficiência do processo e gerenciar resíduos de diversas fontes.

6.2 Efeito das densidades na produção, redução e qualidade do *frass*

6.2.1. Produção e redução em peso dos resíduos

A quantidade em peso de *frass* produzido sofreu influência significativa ($P<0,05$) entre as densidades, exceto no esterco ovino. Em geral, menores pesos do produto foram obtidos nas maiores densidades de cada resíduo. O inverso é verdadeiro para a redução em peso do resíduo, onde as maiores reduções foram encontradas nas maiores densidades, exceto pelo esterco de

galinhas, obtendo menor redução na densidade intermediária, única que diferiu (P<0,05) das demais (Tabela 14).

Nos resultados de Franco et al. (2022), foram obtidos valores de redução de próximos a 60% em esterco bovino fresco, em densidade larval semelhante à 0,025 g/kg do presente estudo. O resultado de redução alcançado pelos autores foi semelhante ao presente (57,1%). No experimento proposto por Miranda et al. (2019), foi testado a metade da população de 0,01 g/kg, e obtiveram índice de redução ao redor de 48%, similar ao encontrado no presente estudo,de 47,9%, porém com 5 dias a mais de tratamento. A qualidade do *frass* obtido não foi testadapelos autores.

Bortolini et al. (2020) conseguiram reduzir 75% do peso do esterco de galinhas, em densidade próxima à 0,025 g/kg do presente estudo, em condições semelhantes de temperatura e umidade, porém relatam ter misturado até 8% de zeolita em seu substrato, e relatando ganhos na redução dos resíduos. A redução observada no presente estudo, para essa densidade, foi de 51,9% em esterco de galinha puro. Dessa forma, pela configuração do experimento, densidade e condições ambientais semelhantes, é provável que a diferença notada tenha relação com a adição de tal mineral, conhecido por reduzir odores na produção avícola, e, por seus resultados, melhorar o índice de redução do resíduo inicial. Xiao et al. (2018 apud Zheng et al., 2021) testaram a adição de bactérias funcionais ao esterco de galinha e obtiveram impacto positivo na redução do material (40,5%) quando comparado ao controle (35,8%). No presente estudo, obteve-se entre 40,2 e 57,4% de redução. Os autores utilizaram densidade próxima à 0,025 g/kg deste estudo, onde 51,9% foi reduzido. Entretanto, o estudo dos autores foi interrompido no 13º dia, enquanto que no atual optou-se por colher as larvas ao se avistar a primeira pré-pupa, e este manejo levou entre 17 e 24 dias para ser completado, o que ofereceu mais tempo para as larvas se alimentarem e reduzirem o resíduo.

Lopes et al. (2019) obtiveram 62,9% de redução em resíduos da panificação, ricos em carboidratos, como as bordas de pizza, em densidade semelhante à 0,1 g/kg. Estes resultados superaram os do atual estudo (52,2%). Os autores não mencionam a umidade e temperatura do substrato, fatores que podem ter influenciado positivamente em seu resultado. Os resultados de redução obtidos no presente estudo são comparáveis aos reportados por Nguyen et al. (2015) e Lalander et al. (2019), os quais obtiveram reduções entre 55 e 68% para resíduos alimentares. Foram similares também aos obtidos por Miranda et al. (2019), com 33% de redução em esterco suíno, e com os de Cai et al. (2019), alcançando 42,3% na redução de resíduo da produção decogumelos, bem como às reduções de 53% observadas por Meneguz et al. (2018), ao converterresíduos vinícolas através das LMSN.

A composição do substrato também apresenta grande relevância na eficiência das larvas em reduzir os resíduos. Fadhillah; Bagastyo (2019) testaram populações semelhantes à 0,1 g/kg do presente estudo na redução de resíduos isolados e misturados. Os autores observaram 17% de redução em esterco bovino (controle), 74,52% de redução em uma mistura com 90% de sobras de alimentos e 10% de esterco de vaca, e reduções de 66,79% na proporção de 70:30, 60,1% na proporção 60:40, com pesos individuais finais das larvas de 42,8mg. No presente estudo, mesmo sendo apenas um resíduo, a redução e peso individual larval observados nessa densidade, para o esterco bovino, foram de 60,1% e 154,6mg, respectivamente. O índice de redução do resíduo sendo regulado pela composição do substrato pode aumentar o consumo do resíduo, e, portanto, a sua redução.

6.2.2. Características nutricionais do *frass* obtido

O conteúdo de nutrientes presente no *frass* tem relação com a composição do alimento oferecido para as larvas (LOPES et al., 2021). Este substrato é composto pelas fezes e exoesqueletos das larvas, material não degradado e microrganismos que auxiliam na conversão orgânica, e contém nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e outros nutrientes presentes nos resíduos orgânicos, além de ser um condicionador de solos que agrega matéria orgânica e carbono ao solo (KLAMMSTER et al.; SCHMITT E.., VRIES W., 2020). Um estudo realizado por Beesigamikama et al. (2022) comparou a qualidade e maturidade do *frass* produzido por nove espécies de insetos, entre eles a MSN. Os autores apontam o uso do *frass* dos insetos na produção de alimentos como um promotor da segurança alimentar, uma vez que é derivado de resíduos comumente produzidos e promove a supressão de patógenos do solo, estimula a atividade microbiana do solo, reduz acidez e salinidade, bem como aumenta a mineralização do nitrogênio e disponibilidade de outros nutrientes no solo. Dentre as espécies estudadas, encontraram os maiores níveis de nitrogênio (3%), potássio (4%) e enxofre (0,7%) nos dejetos da MSN, quarto maior de fósforo (1,2%) e magnésio (0,5%) e o oitavo em cálcio (1%) sendo resultados comparáveis aos do presente estudo, exceto pelo cálcio contido no *frass* oriundo de galinhas poedeiras, que apresentou maiores valores (entre 16,9 e 17,9 vezes) (Tabela 15) devido à alimentação das aves. Os autores não mencionam o tipo da dieta ou densidade estudada, fatores importantes na produção do *frass*.

Especificamente, entre cada resíduo estudado, a qualidade nutricional do *frass* obtido foi influenciado significativamente ($P<0,05$) pelas densidades para alguns dos parâmetros. Os resultados desta pesquisa foram maiores aos encontrados por Liu et al. (2019) para o N (37,8%maior), P (108%), K (695%), Ca (32%) e C/N (17%). Valores menores com relação ao

Mg (8%) e ao pH (entre 3 e 13,5). O valor médio encontrado de C/N (16,78) está de acordo com orecomendado (C/N<25) por Goyal et al. (2005, apud Beesigamikama et al., 2022). O pH encontrado (7,4-8,1) só não foi satisfatório na maior densidade deste tratamento, sendo maior do que 8, máximo recomendado por Bernal et al. (2009), que apontam a variação entre 6-8 como indicativo de maturação do composto orgânico. Xia et al. (2013, apud Liu et al., 2019) apontam variações entre 5-9 como sendo indicadores de estabilidade microbiológica do substrato.

Para o esterco ovino, o *frass* resultante apresentou diferença significativa (P<0,05) para os valores de pH, MO, CO, K e S. Não foram encontrados trabalhos específicos de análise de *frass* oriundo de esterco ovino, apenas sobre a qualidade das larvas alimentadas com este substrato, quando puro e composto com resíduos vegetais (50:50) (EL-DAKAR et al., 2021). Os insetos apresentaram em sua composição corporal valores de Ca de 2,48% com o esterco apenas, e 2,38% quando misturado.

Porém, os resultados atuais têm compatibilidade em certos nutrientes quando comparados aos encontrados por Song et al. (2021) ao analisar os dejetos de larvas alimentadas com resíduo de okara e gérmen de trigo. Os autores obtiveram valores de N 2% maiores, e menores em relação ao P (58%), K (87%), Ca (78%) e Mg (75%). O valor de pH foi menor (7,7) quando comparado entre 7,7 e 8,1 obtidos no atual estudo, bem como valores de C/N (16,8) no estudo dos autores e 14,6.

O tratamento com esterco de galinha poedeira deu origem a um dejeto larval com diferenças significativas (P<0,05) apenas para os valores de Mg e S. Liu e colaboradores (2019) obtiveram concentrações de 2,3% de N, 1,1% de de P e 1,8% de potássio. No presente estudo, os níveis de nitrogênio foram semelhantes (2,6%), maiores níveis de fósforo (7,1%) e potássio (3,36%). O valor de pH observado neste tratamento se deu em torno 9, maior com relação ao valor de 8, encontrado por Liu et al (2019). Este fator pode ser um indicador da atividade larval, pois este parâmetro tende a aumentar conforme ocorre a degradação (MENEGUZ et al., 2018). No resíduo de restos de pizza, foram encontradas diferenças (P<0,05) apenas no pH da densidade intermediária (4,6), e média 5,3 entre as densidades, indicando que poderia afetar negativamente o desenvolvimento de plantas, caso aplicado fresco (SONG et al., 2021), por desestabilizar as reações na solução do solo (SCHUBERT; SCHUBERT; MENGEL, 1990).

As larvas de MSN tendem a fazer o pH do substrato aumentar conforme o processo (MENEGUZ et al. 2018), porém, o valor ácido deste parâmetro pode se dever aos conservantes presentes na massa de pizza e de pães, que ajudam a estabilizar o pH da massa, para prevenir o crescimento de fungos e bactérias e assim viabilizar a produção (ITAL, 2020).

6.3. Qualidade do *frass* produzido em diferentes densidades – comparação com a legislação brasileira

Alguns dos parâmetros físico-químicos e teores de nutrientes do *frass* foram afetados pelas densidades larvais nos resíduos testados. Tendo como base as Instruções Normativas – IN SDA/MAPA 25/2009 e IN 61/2020, o *frass* produzido seria classificado como 'fertilizante orgânico simples', classe "A" para as amostras obtidas a partir de estercos, por ter origem na agroindústria, e classe "C" para as amostras de resíduo de pizzaria, por ter origem no resíduo domiciliar.

Para ser considerado fertilizante sólido, as especificações das INs citadas para pH é de, no mínimo 6. O único tratamento que não atendeu à IN quanto ao pH foi o tratamento realizado com resíduo de pizzaria (média 5).

Para os valores dos macronutrientes primários (NPK), a IN 61 especifica valores N, P e K com mínimo de 1%. Valor atendido em todos os tratamentos e densidades. A IN especifica valores da soma NPK>3%, também atingida em todos os tratamentos e densidades; bem como especifica valores das somas NP, NK e PK>2%, NP e NK atendendo às exigências e PK em todos os estercos e apenas na maior densidade originada pelas bordas de pizza.

Quanto aos valores dos macronutrientes secundários (Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)), a exigência é de 1% para fertilizantes sólidos. O *frass* gerado a partir dos tratamentos com esterco bovino e ovino atenderam apenas ao cálcio, com médias 2,1 e 3,47%, respectivamente, com médias de aproximadamente 0,5% e 0,7% de magnésio e 0,3% e 0,6% de enxofre. Os dejetos larvais obtidos a partir de esterco de galinhas poedeiras atenderam ao cálcio em todas as densidades, com média de 17,2%, e magnésio apenas nas densidades 0,2 e 0,1 g/kg, com média de 1,05%. Nas demais densidades a média foi de 0,9%. O resíduo de pizzaria não atendeu à concentração mínima destes nutrientes, provavelmente por sua composição ser rica em farinha (carboidratos) e pobre em outros elementos.

O nível de Carbono orgânico estabelecido pelas IN é de 15 e 20%, no mínimo, respectivamente, e ambos índices foram superados em todos os tratamentos e densidades. A legislação exige valores máximos de 40% de umidade para fertilizantes classe "A" e 50% para classe "C". Dos tratamentos estudados, apenas o *frass* oriundo de esterco de galinhas e bordas de pizza atenderam ao que é estipulado em todas as densidades, com médias de 16,28 e 28,46%, respectivamente. A relação C/N estipulada penas IN é de no máximo 20, estando os produtos de todos os tratamentos e densidades adequados, segundo os resultados.

Dessa forma, os resultados mostram que as cargas nutricionais dos *frass* produzidos, exigidas pelas IN citadas para ser considerada um fertilizante, não seriam satisfeitas para Mg e

S no esterco bovino e ovino em nenhuma densidade. O *frass* oriundo de esterco de galinhas não atendeu ao Mg nas três menores densidades e S em todas. Entretanto, todos os estercos apresentaram níveis superiores ao requisitado de NPK, Ca, pH C/N e CO. O *frass* oriundo das bordas de pizza atenderam à exigência apenas com relação ao parâmetro C/N. Ainda necessitando de experimentos para validação, estes resultados sugerem que existe o uso potencial dos *frass* obtidos pelos estercos bovino, ovino e de galinhas poedeiras no cultivo agrícola.

Pela reduzida presença de diferença significativa ($P<0,05$) na qualidade do *frass* final obtido entre as densidades, é possível inferir que as menores densidades apresentam maior potencial de aplicação na produção de fertilizante. Portanto, a quantidade de larvas pode diminuir drasticamente, bem como o custo da produção com sua aquisição. Também embasado pelos resultados de produção de *frass*, onde as maiores produções foram observadas nas menores densidades, pode-se considerar os resultados como promissores quando se espera obter maior massa final de *frass* para posterior oferta no mercado.

6.4. Temperaturas e umidades dos tratamentos

Por serem animais pecilotermos, a temperatura do substrato também influencia a atividade larval, que acarreta maior ou menor taxa de degradação e consequente bioconversão. As maiores temperaturas foram registradas para as bordas de pizza, e as menores, no esterco ovino (Tabela 22). Harnden e Tomberlin (2016) verificaram que em temperaturas maiores, as larvas estudadas apresentaram 30% mais peso individual do que as criadas à 8°C a menos. Este efeito foi observado no presente estudo, onde, além da temperatura, as larvas criadas em bordas de pizza apresentaram os maiores valores absolutos de peso entre os demais tratamentos.

Tabela 22. Temperaturas médias dos tratamentos.

Densidade larval (g de ovo.kg^{-1}de resíduo orgânico)	Esterco bovino	Esterco ovino	Esterco galinhas poedeiras	Borda de pizza (alto índice de carboidratos)
0,2	42,1 – 29,7 ºC	33,2 – 29,8 ºC	37,3 – 29 ºC	48 – 33 ºC
0,1	38,5 – 29,5 ºC	35,1 – 29,4 ºC	38,7 – 29,7 ºC	47 – 30 ºC
0,05	38,7 – 29,7 ºC	34 – 29,2 ºC	37,8 – 29,7 ºC	47,5 – 41 ºC
0,025	37,1 – 30,1 ºC	32,8 – 28,6 ºC	38,7 – 30 ºC	48,5 – 37 ºC
0,01	34,2 – 29 ºC	31,8 – 27,9 ºC	37,2 – 30,7 ºC	49 – 37,5 ºC

Além da temperatura do substrato, a umidade do alimento oferecido às larvas apresenta grande importância na manutenção de seu desenvolvimento e sobrevivência, sendo um indicador da eficácia e performance do processo (BEKKER et al., 2021). No presente trabalho, os estercos bovino e ovino foram oferecidos frescos, com 70,43% e 71,48% de umidade inicial, respectivamente, já o esterco de galinhas poedeiras que apresentou 31,24% de umidade inicial e bordas de pizza, também ressecadas, receberam adição de água até atingirem consistência e textura adequada ao crescimento larval, próximas da capacidade de campo de cada material. Kim et al. (2021) relataram umidades ótimas para o substrato na faixa de 52-70%. Os mesmos autores ainda enfatizam que, caso não seja suficiente ou o conteúdo de água exceda estes valores, pode haver diminuição na taxa de sobrevivência larval, bem como redução na taxa de degradação. Já os estudos de Bekker et al. (2021) mostraram não haver diferença significativa na produtividade larval em valores entre 45-85% de umidade. As umidades aplicadas emantidas no presente trabalho foram suficientes ao desenvolvimento larval. As repetições 1 e 2da maior densidade aplicada em restos de pizzaria foram as únicas a variar, em que nos dias finais do processo o substrato esteve em baixas umidades, o que acarretou mortalidade larval, confirmando o exposto por Kim et al. (2021). Nas repetições 3 e 4 do mesmo resíduo, a umidade esteve uniforme durante toda a fase de alimentação, gerando as maiores massas de biomassas larvais do experimento para a densidade, sugerindo, portanto, que a umidade tem importância significativa na produtividade larval, mas não afetou a produtividade de frass, bem como sua qualidade nutricional.

7. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo observar os efeitos de diferentes densidades populacionais de larvas em quatro diferentes resíduos orgânicos, com relação à eficiência dos tratamentos em produzir larvas e reduzir os resíduos orgânicos, bem como qualidade dos produtos finais. Conclui-se que os parâmetros afetados pelas diferentes densidades populacionais foram maiores no aspecto da produção larval do que com relação à composição final das larvas e *frass* obtidos. Isto indica que a diferença na densidade populacional afetou mais o processo do que os produtos finais.

A diferença visual observada no *frass* final de cada tratamento mostrou que as maiores densidades alteram não só o peso final dos resíduos, mas também as características visuais do produto final.

Em vista da IN 61/2020, os *frass* obtidos de esterco, em geral, apresentaram níveis dos parâmetros físico-químicos e nutrientes adequados ou a cima dos valores nutricionais mínimos exigidos, exceto para os níveis de magnésio (Mg) e enxofre (S). Mesmo assim, pela IN, o produto oriundo de estercos pode ser classificado como “Classe A”, e passível de ser utilizado na agricultura. Experimentos futuros são necessários para testar a produtividade de diferentes produtos hortícolas, porém os mesmos sugerem que a metodologia de criação foi eficaz no que diz respeito à produção de um fertilizante em potencial para a produção de alimentos. Pelos baixos valores de pH encontrados no resíduo de pizzaria, entende-se que o mesmo deveria ser submetido a um pós-processamento para equilibrar a acidez e ter seu uso viável na agricultura, podendo ser feito por vermicompostagem, compostagem termofílica e biodigestão anaeróbica. Os níveis nutricionais das larvas se assemelharam aos de outros trabalhos que as utilizam como alimento animal, e obtiveram resultados positivos na produção e saúde animal.Assim, é plausível concluir que existe potencial do uso deste produto como ingredientesustentável na alimentação animal. Porém, estudos aplicando estes produtos como alimentoanimal ainda são necessários para validar estes dados nutricionais. As leis vigentes no Brasilpara uso de insetos na alimentação animal vêm sendo planejadas e, portanto, mais estudosvoltados à alimentação animal com este ingrediente alternativo são importantes para incentivar e viabilizar novos empreendimentos.

Se a intenção da produção for obter larvas com maior índice de extrato etéreo, para produção de biodiesel por exemplo, o substrato alimentar mais apropriado seria o com maior concentração de carboidratos. Se o objetivo for produzir larvas com menor índice deste nutriente, para serem inclusas em dietas com baixo nível de gordura, o esterco ovino poderia

ser uma dieta adequada. Já se a proposta for maior redução do peso do resíduo, maiores densidades poderiam ser aplicadas, com a vantagem de obter-se maior produção de biomassa larval ao final do processo. Porém, estudos para se obter maiores pesos larvais em maiores densidades ainda são necessários. Se o objetivo for a produção e venda de larvas vivas, onde existe maior interesse por indivíduos maiores, as menores densidades produziram os maiores pesos individuais das larvas.

Pode-se concluir que os resíduos foram reaproveitados e valor foi agregado a estes materiais. O conceito de economia circular foi aplicado, onde, a partir do gerenciamento do subproduto de outras produções, obtiveram-se novos produtos com possibilidade de serem reinseridos na cadeia produtiva. Observou-se altos índices de redução em peso do resíduo, bem como produções larvais e de *frass* com qualidades nutricionais suficientes para serem testadas em experimentos de campo. Desta forma, o presente estudo produziu dados que podem contribuir para o desenvolvimento dessa biotecnologia emergente, no que diz respeito aos efeitos de diferentes densidades populacionais no tratamento de resíduos orgânicos, assim viabilizando *insights* importantes para o balanço econômico da produção e planejamento, auxiliando na tomada de decisão com relação ao objetivo da produção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOSESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2010.Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>. Acesso em: 05abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. São Paulo: ABRELPE, 2021. 74 p. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2021.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ALLTECH. **Alltech global feed survey**. Nicholasville, Kentucky, 2017.

ALCARDE, J.C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259p.

AL-QAZZAZ, M.F.A. et al. Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 9, p. 518-523, 2016.

ALVAREZ, L. **The role of black soldier fly, *Hermetia Illucens* (l.) (*Diptera: Stratiomyidae*) in sustainable waste management in northern climates**. 2012. (Dissertation) - Faculty of Graduate Studies through Civil and Environmental Engineering, University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, 2012.

ANDRADE, J.M.M. **Farinhas de larvas de insetos (*Tenebrio molitor e Hermetia illucens*) melhoram o desempenho e modulam o sistema imune nato de frangos de corte**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022. doi: 10.11606/D.11.2022.tde-16052022-115932

ANIEBO, A.O.; ERONDU, E.S.; OWEN, O.J. Replacement of fish meal with maggot meal in African catfish (*Clarias gariepinus*) diets. **Revista UDO Agrícola**, v. 9, n. 3, p. 666-671, 2009.

AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18. ed. Gaithersburg, MD, 2011.

BAHRAINI, A. **Black Soldier Flies (BSF)**: great business opportunity and a perfect solution to organic waste problem. Bekasi City, West Java, Indonesia: Wasteforchange Alam Indonesia, 2018. Disponível em: https://waste4change.com/blog/black-soldier-flies-bsf-great-business-opportunity-and-a-perfect-solution-to-organic-waste-problem/. Acesso em: 05 set. 2022.

BANKS, I.J. **To assess the impact of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae on faecal reduction in pit latrines**. 2014. 232 f. (Thesis) - Faculty of Infectious and Tropical Diseases, University of London, London, 2014.

BARRAGAN-FONSECA, K. B. **Flies are what they eat**. 2018. (Doctor Thesis) - Wageningen University, Wageningen, 2018.

BARRAGAN-FONSECA, K. B.; DICKE, Marcel; LOON, Joop J. A. van. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (Hermetia illucens). **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 166, n. 9, p. 761-770, 2018.

BARROS, L.M. et al. Morphological description of the immature stages of *Hermetia illucens* (*Linnaeus*, 1758) (*Diptera: Stratiomyidae*). **Miscroscopy Research Technique**, v. 82, n. 3, p. 178-189. 2019. doi: 10.1002/jemt.23127.

BEESIGAMUKAMA, D. et al. Exploring black soldier fly frass as novel fertilizer for improved growth, yield, and nitrogen use efficiency of maize under field conditions. **Frontiers in Plant Science**, e574592, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.574592

BEESIGAMUKAMA, D; SUBRAMANIAN, S.; TANGA, C.M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. **Scientific Reports**, v. 12, art. 7182, 2022. **2022.**

BEKKER, N.S. et al. Impact of substrate moisture content on growth and metabolic performance of black soldier fly larvae. **Waste Management**, v. 127, p. 73-79, 2021. doi: 10.1016/j.wasman.2021.04.028.

BIANCAROSA, I. et al. Uptake of heavy metals and arsenic in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae grown on seaweed-enriched media. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 6, p. 2176-2183, 2018. doi: 10.1002/jsfa.8702.

BORTOLINI, S. et al. *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, e121289, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 61, de 08 de julho de 2020**.** Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 25, de 23 de julho de 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 jul. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos**. Brasília, DF: MAPA, Secretaria de Defesa Agropecuária, 2017. 240 p.

BSFBLOG.COM. 6 gallon BSF composter - single ramp test. 2013. Filme *online* (7min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=3VNiqHzKBvA. Acesso em: 05 set. 2022.

CALIGIANI, A. et al. Composition of black soldier fly pré-pupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. **Food Research International**, v. 105, n. 1, p. 812-820, 2018. doi: 10.1016/j.foodres.2017.12.012.

CARUSO, D. et al. **Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae**. Bogor, Indonesia: Penerbit IPB Press, 2013. 159 p.

CHINA CENTRAL TELEVISION - CCTV. 《走近科学》变废为宝 20180409 | CCTV走近科学官方频道. 2018. Filme online (24 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7DRx1y5b9nk>. Acesso em: 05/ set. 2022.

CHOI, S. BSFL Frass: a novel biofertilizer for improving plant health while minimizing environmental impact. **The Canadian Science Fair Journal**, v. 2, n. 2, p. 1-1, 2019.

ČIČKOVÁ, H. et al. The use of fly larvae for organic waste treatment. **Waste Management**, v. 35, p. 68-80, 2015 doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.026.

DIAS, S.L.F.G. **Impacto ambiental do desperdício de alimentos nas feiras livres da cidade de São Paulo**. São Paulo, 2017. Disponível em: https://jornal.usp.br/?p=195816. Acesso em: 26 jun. 2020.

DIENER, S. et al. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and Biomass Valorization**, v. 2, n. 4, p. 357-363, 2011. doi: 9-011-9079-1.

DIENER, S. et al. Opportunities and constraints for medium-scale organic waste treatment with fly larvae composting. In: INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 15., 2015, Sardinia. **Proceedings ...** Sardinia: Cisa, 2015. p. 1.

DIENER, S. **Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, in Low and Middle-Income Countries**. 2010. (Dissertation) – ETH Zurich, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, 2010.

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 6, p. 603-610, 2009.

DOBERMANN, D.; LIN, M.; LOUISE, V.M. Using *Hermetia illucens* to process Ugandan waragi waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 303-308, 2019.

DORTMANS, B.M.A. et al. **Black Soldier Fly Biowaste Processing**. Überlandstrasse: Eawag, 2017. 100 p.

DORTMANS, B. **Valorisation of organic waste** - effect of the feeding regime on process parameters in a continuous black soldier fly larvae composting system. 2015. 404 p. (Thesis) - Department of Energy and Technology, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2015.

DOSSEY, A. T. **Insects as Sustainable Food Ingredients**. Athens: Elsevier, 2016.

DZEPE, D. et al. Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. **Sn Applied Sciences**, v. 3, e252, 2021.

EL-DAKAR, M. A. et al. Evaluating the impact of bird manure vs. mammal manure on *Hermetia illucens* larvae. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, e123570, 2021.

EMBRAPA. **Pesquisa revela que família brasileira desperdiça 128 quilos de comida por ano**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37863018/pesquisa-revela-que-familia-brasileira-desperdica-128-quilos-de-comida-por-ano. Acesso em: 24 jun. 2020.

EMBRAPA. **Estatísticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas. Acesso em: 05 set. 2022.

FAO. **Edible insects**: future prospects for food and feed security. Rome, 2013. (FAO Forestry Paper, 171). Disponível em: https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf. Acesso em: 05 set. 2022.

FAO. **Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all**. Rome, 2021. Disponível em: https://www.fao.org/publications/sofi/2021/en/. Acesso em: 05 set. 2022.

FATIMAH, S.S. et al. Bioconversion of food waste by *black soldier fly*, *Hermetia illucens* larvae (*Diptera: Stratiomyidae* L.) for alternative animal feed stock. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ISLAM, SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICONISTECH 1., 2019, Bandung, Indonesia. **Proceedings [...]**. Bandung, Indonesia, 2019.

FERNANDEZ-BAYO, J. et al. Managing high fiber food waste for the cultivation of black soldier fly larvae. **NPJ Science of Food**, v. 3, art. 15, 2019. doi: 10.1038/s41538-019-0047-7.

FORWARD – From Organic Waste to Recycling for Development. **Biowaste** – Moving Forward. 2017. (12m). Disponível em:<https://www.youtube.com/watch?v=Rn0Er_GzCpU>

FRANCO, A. et al. A mobile black soldier fly farm for on-site disposal of animal dairy manure. **Bulletin of Insectology**, v. 75, n. 1, p. 75-82, 2022.

GOBBI, F. P. **Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae)**. Bases para su producción masiva en Europa. 2012. Tesis (Doctor en Biología) - Instituto Universitario de Investigación, Universidad de Alicante, Alicante, Espanha, 2012.

GOLD, M. et al. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. **Waste Management**, v. 82, n. 1, p.302318, 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GUEVANE, E. **População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes**. Goiânia: Mundo Educação, 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2017/06/1589091-populacaomundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes>. Acesso em: 12 maio 2019.

GUTIÉRREZ1, G. P. A. et al. Analisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *Hermetia illuscens* L (Diptera: Stratiomyiidae) en Angelópolis-Antioquia, Colombia. **Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín**, v. 57, n. 2, p. 1-9, 2004.

HAGEN, S.R.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Pre-column phenylisothiocyanate derivatization and liquid-chromatography of amino acids in food. **Journal of the AOAC**, v. 72, p. 912-916, 1989.

HEUEL, M. et al. Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. **Poultry Science**, v. 100, n. 4, art. 101034, 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeção populacional Brasil entre 2010 e 2017**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rebanho bovino cresce 1,5% e atinge 218,2 milhões de cabeças em 2020**. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/31725-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-atinge-218-2-milhoes-de-cabecas-em-2020

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**: Relatório de Pesquisa. Brasília, DF, 2012.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL. **Pães industrializados**: nutrição e praticidade com segurança e sustentabilidade. 1. ed. São Paulo: Abimapi/Ital, 2020. 32 p.

JI-BIN, Z. et al. Black soldier fly: A new vista for livestock and poultry manure management. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 1167-1179, 2021.

JOLY, G. **Valorising organic waste using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), in Ghana**. 2018. 103 f. (Degree Project in Environmental Engineering and Sustainable Infrastructure) - Kth Royal Institute of Technology, School of Architecture and the Built Environment, Stockholm, 2018.

KAWASAKI, K. et al. Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*). **Sustainability**, v. 12, n. 12, art. 4920, 2020. doi: 10.3390/su12124920.

KAZA, S. et al. **What a waste 2.0**: A global snapshot of solid waste management to 2050. Washington, DC: The World Bank, 2018.

KIM, C.-H. et al. Use of Black Soldier Fly Larvae for Food Waste Treatment and Energy Production in Asian Countries: A Review. **Processes**, v. 9, n. 1, art. 161, 2021.

KLAMMSTEINER, T. et al. Suitability of Black Soldier Fly Frass as Soil Amendment and Implication for Organic Waste Hygienization. **Agronomy**, v. 10, n. 10, art. 1578, 2020. https://doi.org/10.3390/agronomy10101578.

KOELEMAN, E. **Insect meal allowance expected in 2020**. Doetinchem, Netherlands: Misset International, 2016. Disponível em: <https://www.allaboutfeed.net/New-Proteins/Articles/2016/12/Insect-meal-allowanceexpected-in-2020-68992E/>.

KUAN, Z.-J. et al. Worming the Circular Economy for Biowaste and Plastics: Hermetia illucens, Tenebrio molitor, and Zophobas morio. **Sustainability**, v. 14, n. 3, art. 1594, 2022. https://doi.org/10.3390/su14031594.

LAGANARO, M.; BAHRNDORFF, S.; ERIKSEN, N.T. Growth and metabolic performance of black soldier fly larvae grown on low and high-quality substrates. **Waste Management**, v. 121, p. 198-205, 2021.

LALANDER, C. et al. Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 279-286, 2016.

LALANDER, C.; NORDBERG, Å.; VINNERÅS, B. A comparison in product-value potential in four treatment strategies for food waste and faeces - assessing composting, fly larvae composting and anaerobic digestion. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 2, p.84-91, 2018. http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12470.

LAW, Y.; WEIN, L. Reversing the nutrient drain through urban insect farming - opportunities and challenges. **AIMS Bioengineering**, v. 5, n. 4, p. 226-237, 2018.

LEE, K.-S.; YUN, E.-Y.; GOO, T.-W. Optimization of Feed Components to Improve Hermetia illucens Growth and Development of Oil Extractor to Produce Biodiesel. **Animals**, v. 11, n. 9, art. 2573, 2021.

LIN, Y. **Rearing Black Soldier Fly to Supplement Natural Populations in Waste Composting Systems**. 2016. 52 f. Thesis (Master of Science in Plant and Environmental Science) – Clemsom University, Clemsom, 2016.

LIU, C. et al. Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (Hermetia illucens (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). **Animals**, v. 9, n. 6, art. 349, 2019.

LIU, Q. et al. Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Reduce Escherichia coli in Dairy Manure. **Environmental Entomology**, v. 37, n. 6, p. 1525-1530, 2008.

LIU, Z. et al. Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. **Environmental Entomology**, v.47, n.6, p. 1609-1617, 2018.

LOPES, I.G. et al. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. **Waste Management**, v. 142, p. 65-76, 2022.

LUCAS, B.; SOTELO, A. Effect of alkalies, temperatura, and hydrolisis times on tryptophan determination of pure proteins and of food. **Analytical Biochemistry**, v. 109, p. 192-197, 1980.

MAKKAR, H.P.S. et al. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, n. 1, p.1-33, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.

MARSHALL, S.A. The historical spread of the Black Soldier Fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera, St ratiomyidae, Hermetiinae), and its establishment in Canada. **Journal of Entomological Society of Ontario**, v. 146, n. 1, p.51-54, 2015.

MAZZA, L. et al. Management of chicken manure using black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae assisted by companion bacteria. **Waste Management**, v. 102, p. 312-318, 2020.

MIRANDA, C.D. Interspecific Competition between the House Fly, Musca domestica L. (Diptera: Muscidae) and Black Soldier Fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) When Reared on Poultry Manure. **Insects**, v. 10, n. 12, art. 440, 2019.

MUTAFELA, R.N. **High Value Organic Waste Treatment via Black Soldier Fly Bioconversion**. 2015. 73 f. Dissertation (Master Degree) - KTH, School of Architecture and the Built Environment (ABE), Sustainable Development, Environmental Science and Engineering, Industrial Ecology, Stockholm, Sweden, 2015.

NANA, P. et al. Black soldier flies (Hermetia illucens Linnaeus) as recyclers of organic waste and possible livestock feed. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 12, n. 5, p. 2004-2015, 2019. http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.4.

NYAKERI, E.M. et al. Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (Hermetia illucens) reared on different organic wastes. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2017.

ONU. **População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022**. New York, 2022. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022.

ONU. **Relatório dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) mostra que crise global ameaça sobrevivência da humanidade**. New York, 2022. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_press_release.pdf

PARODI, A. et al. Black soldier fly larvae show a stronger preference for manure than for a mass-rearing diet. **Journal of Applied Entomology**, v. 1, p. 560-565, 2019.

PÉREZ-PACHECO, R. et al. Growth of the Black Soldier Fly Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) on Organic-Waste Residues and Its Application as Supplementary Diet for Nile Tilapia Oreochromis niloticus (Perciformes: Cichlidae). **Insects**, v. 13, n.4, art. 326, 2022. doi: 10.3390/insects13040326.

POLI, N.T.F. **Devoradores de Lixo**: Aspectos biológicos, produtivos e nutricionais da Mosca Soldado Negra Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera; Stratiomyidae) em resíduos orgânicos em Manaus, AM. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

RIDDICK, E.W. Insect Protein as a Partial Replacement for Fishmeal in the Diets of Juvenile Fish and Crustaceans. In: MORALES-RAMOS, J.A.; GUADALUPE ROJAS, M.; SHAPIRO-ILAN, D.I. (eds.). **Mass Production of Beneficial Organisms**, Hoboken: Academic Press, 2014. p. 565-582.

ROMANO, N. et al. Applications of Black Solider Fly (Hermetia illucens) Larvae Frass on Sweetpotato Slip Production, Mineral Content and Benefit-Cost Analysis. **Agronomy**, v. 12, art. 928, 2022.

SANTOS, S.S. **Produção e caracterização físico-química do óleo da larva da moscasoldado negro (Hermetia illucens) alimentada com diferentes resíduos agroindustriais**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus,2018.

SAS INSTITUTE Inc. **Statistical Analysis System**. Version 9.4. Cary, NC, 2013.

SCALA, A. et al. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. **Scientific Reports**, v. 10, art. 19448, 2020.

SCHIAVONE, A. et al. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. **Italian Journal of Animal Science**, v. 16, n1, p. 93-100, 2017.

SCHMITT, E. Potential benefits of using Hermetia illucens frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 25, art. 100335, 2020.

SCHUBERT, S.; SCHUBERT, E.; MENGEL, K. Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans (*Vicia faba*). **Plant and Soil**, v. 124, p. 239–244, 1990.

SEYEDALMOOSAVI, M.M. et al. Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae compared to monogastric livestock species: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 13, art. 31, 2022.

SHARP, R.G. A review of the applications of chitin and its derivatives in agriculture to modify plant-microbial interactions and improve crop yields. **Agronomy**, v. 3, p. 757–793, 2013. https://doi.org/10.3390/agronomy3040757.

SHEPPARD, C. et al. A value-added manure management system using the black soldier fly. **Bioresource Technology**, v. 50, n. 3, p. 275-279, 1994.

SHEPPARD, C.; BOOTH, D.C. Oviposition of the Black Soldier Fly, Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. **Environmental Entomology**, v. 13, n. 2, p. 421-423, 1984.

SILVA, J.A.R. da et al. Tratamento de dejetos no Brasil: comparativo entre as técnicas de compostagem e biodigestores anaeróbios. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 797-817, 2020.

SOLANO, N.M.S. **Uso de larvas de mosca soldado negro (hermetia illucens) para el manejo de residuos municipales orgánicos en el Campus de la Universidad Earth, Costa Rica**. 2010. 59 f. Proyecto de Graduación (Bachillerato en Ingeniería en Biotecnología) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Biología, Cartago, 2010.

SONG, S. et al. Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, art. 125664, 2021.

SOUZA, P.R. de. **Produção e caracterização de bioadsorvente obtido da exúvia da larva de Hermetia illucens para aplicação na extração de corantes aniônicos em matrizes aquosas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2017.

SPRANGHERS, T. et al. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 8, p. 2594-2600, 2017.

ST-HILAIRE, S. et al. Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Producesa Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 2, p. 309-313, 2007.

SZÁNTÓ, G. **NH3 dynamics in composting - Assessment of the integration of composting in manure management chains**. 2009. 152 p. (PhD - Thesis) - Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 2009.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRG, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1995.

TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

TSCHIRNER, M. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 4, p. 249-259, 2015.

VAN DIJK, M. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. **Nature Food**, v. 2, n. 1, p. 494-501, 2021.

VELDKAMP, T. et al. Bioconversion of Digestate, Pig Manure and Vegetal Residue-Based Waste Operated by Black Soldier Fly Larvae, Hermetia illucens L. (Diptera: Stratiomyidae). **Animals**, v. 11, n. 11, art. 3082, 2021.

WANG, Y.-S.; SHELOMI, M. Review of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) as animal feed and human food. **Foods**, v. 6, n. 10, p.91-123, 2017. http://dx.doi.org/10.3390/foods6100091.

WARKOMSKI, K. **Black Soldier Fly Production**. Part 2 Lifecycle. 2015. (12m). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=NNe0YEjkliQ&list=PLCeA6DzL9P4v7rQeRdfQoPI2QgiIl785j&index=2

WORLD FOOD PROGRAMME. **2022**: a year of unprecedented hunger. Rome, 2022. Disponível em: <https://www.wfp.org/global-hunger-crisis#:~:text=2022%3A%20a%20year%20of%20unprecedented,on%20the%20edge%20of%20famine>.

WHITE, J.A.; HART, R.J.; KRY, J.C. An evaluation of the Waters Pico-Tag system for the amino acid analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v. 8, p. 170-177, 1986.

WONG, C.-Y. et al. Potential Protein and Biodiesel Sources from Black Soldier Fly Larvae: Insights of Larval Harvesting Instar and Fermented Feeding Medium. **Energies**, v.12, n. 8, art. 1570, 2019.

WOODS, M.J.; HOFFMAN, L.C.; PIETERSE, E. Artificial diets for neonatal black soldier fly (Hermetia illucens) larvae. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 5, n. 2, p. 99-105, 2019. http://dx.doi.org/10.3920/jiff2018.0028.

XIAO, X. et al. Effects of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (Pelteobagrus fulvidraco). **Aquaculture Research**, v. 49, n. 4, p. 1569-1577, 2018.

YAKTI, W. et al. The Effect of Rearing Scale and Density on the Growth and Nutrient Composition of Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. **Sustainability**, v. 14, art. 1722, 2022.

YILDIRIM-AKSOYA, M. Use of dietary frass from black soldier fly larvae, Hermetia illucens, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, Oreocromis niloticus x O. mozambique) diets improves growth and resistance to bacterial diseases. **Aquaculture Reports**, v. 17, art. 100373, 2020.

ZHOU, F. et al. Developmental and Waste Reduction Plasticity of Three Black Soldier Fly Strains (Diptera: Stratiomyidae) Raised on Different Livestock Manures. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 6, p. 1224-1230, 2013. http://dx.doi.org/10.1603/me13021.