



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA BALBINOTTI MILEKI

COMO OS ARTRÓPODES PODEM CONTRIBUIR NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS: REVISÃO DE LITERATURA.

CURITIBA

2021

BRUNA BALBINOTTI MILEKI

COMO OS ARTRÓPODES PODEM CONTRIBUIR NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS: REVISÃO DE LITERATURA.

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. José Milton Andriguetto Filho.

CURITIBA

2021



Nome: Bruna Balbinotti Mileki	
Matricula GRR20165555	Telefone: (41) 991887811
E-mail: bruna.balbinotti@gmail.com	
Curso de Ciências Biológicas	() A – Licenciatura
() 31 – Diurno	() B – Bacharelado
(X) 45 – Noturno	(X) C – Licenciatura e Bacharelado

PARECER DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Estágio Curricular - Bacharelado
TCC - Licenciatura

Disciplina: Bacharelado	BIO027 (150 horas)	X	BIO028 (300 horas)
Disciplina: Licenciatura	EM203 (45 horas)		EP077 (45 horas) ET074 (45 horas)
Ano/Semestre (s): 2020/09			
Departamento: Zootecnia			
Orientador: José Milton Andriguetto Filho			
Co-orientador:			
Título do Projeto: COMO OS ARTRÓPODES PODEM CONTRIBUIR NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: REVISÃO DE LITERATURA.			

Avaliação		
	Trabalho escrito (75%)	Apresentação (25%)
Avaliador 1: (X) Orientador () Co-orientador	100	100
Avaliador 2: Tomaz Longhi Santos	100	100
Avaliador 3: Rodrigo dos Santos Machado Feitosa	100	100
Nota Final		

Na presente data a Comissão de Avaliação da Monografia de Estágio Curricular do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, composta pelos avaliadores acima relacionados, reuniu-se para proceder a avaliação da Monografia anteriormente identificada.

A Comissão julgou o trabalho e atribuiu a nota final de cem (100).

A frequência da(o) aluna(o) foi de 300 horas.

Curitiba, 17 de agosto de 2021.

Orientador(a)

Ao meu amado esposo Rafael, por toda a dedicação, amor e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela oportunidade de estar novamente na renomada UFPR, onde pude conhecer pessoas maravilhosas que se tornaram amigos com os quais pude viver o curso de Biologia intensamente.

Aos professores que tive a honra de conhecer e com os quais aprendi muito além do que a sala de aula nos proporciona.

Às pessoas que ajudaram a delinear esta monografia. Meu querido orientador, o “prof Andriguetto” que me apoiou desde o início e me apresentou às pessoas incríveis da Casa da Videira. Muito obrigada, prof, pela paciência e pelas risadas, mesmo à distância. A todas as pessoas da Casa da Videira, pela oportunidade de conviver com vocês, e ter uma ideia diferente de vida. Ao Claudio Oliver, pela paciência com suas aulas e explicações diárias, e por ter sido fundamental na escolha do tema desta monografia.

Ao meu amado esposo e amigo Rafael, que tanto se dedicou para que tudo fosse possível, mesmo nas horas mais difíceis. Sem você, eu jamais teria conseguido. Amo-te!

Aos meus filhos peludos, que me ajudaram a relaxar em muitos momentos e me deram o mais sincero amor, diariamente.

À minha família, pelo incentivo. Mãe, obrigada pelo seu amor e por toda a sua ajuda em todos os sentidos. Sem você, eu não estaria aqui hoje. Amo você!

A todos os meus queridos amigos, que mesmo longe, me apoiaram e estiveram comigo.

À Ana, terapeuta que tanto me ajudou a manter o controle neste período de fim de curso e pandemia.

À natureza, que é o meu refúgio. Agradeço a todos os seres vivos, por serem nossa fonte de vida. É o que me motivou a seguir a Biologia, com todo o amor que me move hoje.

A vocês, devo todo o meu respeito.

“Temos que nos tornar a mudança que queremos ver.” Mahatma Gandhi

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita.” Mahatma Gandhi

RESUMO

A maioria das atividades humanas gera resíduos. O crescimento populacional e a redução da vida útil dos produtos têm contribuído para que a gestão de resíduos sólidos nas cidades seja um desafio aos gestores públicos. É necessário que se busque alternativas sustentáveis para os problemas gerados pela vida moderna, de modo a reduzir os impactos e, assim, possibilitar qualidade de vida a todos os seres do planeta. Muitos compostos orgânicos desperdiçados apresentam nutrientes que podem ser utilizados em outros processos produtivos. Os artrópodes (Animalia: Arthropoda) são potenciais biotransformadores que podem utilizar estes nutrientes e gerar produtos úteis para o ser humano. A junção destes dois elementos pode ser uma solução biológica no reaproveitamento de resíduos orgânicos urbanos que preconiza o reconhecimento destes compostos como bens econômicos, sustentáveis e de valor social, geradores de trabalho e renda, sendo parte essencial dos meios de produção. Neste sentido, esta monografia teve como objetivo sintetizar o conhecimento sobre o uso de artrópodes em biotransformação, a fim de fundamentar trabalhos futuros relacionados ao assunto. Observou-se extensa literatura relativa ao tema, especialmente sobre a espécie *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae), que apresenta grande potencial na biotransformação de diferentes compostos orgânicos e tem distribuição mundial.

Palavras-chave: Artrópodes. Bioconversão. Resíduos orgânicos.

ABSTRACT

Most human activities generate waste. Population growth and the reduction of the products lifespan have contributed to making solid waste management in cities a challenge to public managers. It is necessary to seek sustainable alternatives for the problems generated by modern life, in order to reduce the impacts and, thus, enable quality of life for all beings on the planet. Many wasted compounds have nutrients that can be used in other production processes. Arthropods are potential biotransformers that can use these nutrients and generate useful products for humans. The combination of these two elements can be a biological solution to reuse urban waste that advocates the recognition of these compounds as economic, sustainable and socially valuable goods, generators of work and income, being an essential part of the means of production. In this sense, this monograph aimed to synthesize the knowledge about the use of arthropods in biotransformation, in order to support future work related to this subject. The extensive literature on the subject was observed, especially on the species *Hermetia illucens*, which has a great potential in the bio-transformation of different organic compounds and has a worldwide distribution.

Keywords: Arthropods. Bioconversion. Organic waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: À ESQUERDA, DISPOSIÇÃO DE LARVAS DE <i>Tenebrio molitor</i> NA CAIXA COM SUBSTRATO SECO, JUNTAMENTE COM FRUTAS E VERDURAS. À DIREITA, DETALHE DOS FUROS REALIZADOS NAS TAMPAS.....	23
FIGURA 2: À ESQUERDA, DISPOSIÇÃO INICIAL DAS CAIXAS PLÁSTICAS CONTENDO DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO DE <i>Tenebrio molitor</i> AO LADO DE TAMBOR NO QUAL ERAM ARMAZENADOS OS RESÍDUOS. À DIREITA, ABRIGO EM QUE FORAM MANTIDOS OS INSETOS POR UM MÊS.....	23
FIGURA 3: TATUZINHOS-DE-JARDIM (MALACOSTRACA:ISOPODA) LOCALIZADOS EM MADEIRA EM DECOMPOSIÇÃO.....	33
FIGURA 4: <i>Trigoniulus corallinus</i> (DIPLOPODA: SPIROBOLIDA).....	35
FIGURA 5: EXEMPLAR DE BARATA-VERMELHA (<i>Periplaneta americana</i>).....	36
FIGURA 6: NINFA DA ORDEM ORTHOPTERA LOCALIZADO EM MADEIRA EM DECOMPOSIÇÃO.....	37
FIGURA 7: ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>Bombyx mori</i> . A) LARVAS EM V INSTAR. B) CASULO. C) PUPA. D) ADULTO.....	39
FIGURA 8: LARVAS (A) E PUPAS (B) DE MOSCAS EM COMPOSTEIRA.....	41
FIGURA 9: <i>Hermetia illucens</i> . A) ADULTO. B) PUPA.....	42
FIGURA 10: <i>Tenebrio molitor</i> EM TRÊS FASES DE DESENVOLVIMENTO. A) BESOURO ADULTO. B) PUPA. C) LARVA.....	45
FIGURA 11: ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>Zophobas morio</i> . A) OVOS. B) LARVA. C) PUPA. D) ADULTO.....	46
FIGURA 12: ESTRUTURAS OBSERVADAS PARA SEXAGEM DE <i>Alphitobius diaperinus</i> . A) PUPA FÊMEA EM VISTA LATERAL COM DETALHE DO PIGOPÓDIO SALIENTE. B) PUPA FÊMEA EM VISTA VENTRAL COM DETALHE DO PIGOPÓDIO SALIENTE. C) E D) VISTAS LATERAL E VENTRAL, RESPECTIVAMENTE, DE UMA PUPA MACHO SEM PIGOPÓDIO.....	47
FIGURA 13: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL E ALIMENTO ANIMAL A PARTIR DE LARVAS DE BSF.....	89
FIGURA 14: RESPONSABILIDADES COMPARTILHADAS ENTRE GOVERNO, INDÚSTRIA E CIÊNCIA, PARA PROMOVER A APLICAÇÃO DOS ARTRÓPODES NA BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS.....	95

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: COMUNIDADE DE ARTRÓPODES ENCONTRADA EM ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE/MG.....	26
QUADRO 2: PESQUISAS REALIZADAS COM ARTRÓPODES MOSTRANDO OS TIPOS DE SUBSTRATO UTILIZADOS EM BIOCONVERSÃO E RESULTADOS.....	58
QUADRO 3: PESQUISAS REALIZADAS COM <i>Hermetia illucens</i> MOSTRANDO OS TIPOS DE RESÍDUOS UTILIZADOS NA BIOCONVERSÃO E A APLICAÇÃO.....	64
QUADRO 4: CONDIÇÕES AMBIENTAIS ÓTIMAS PARA DESENVOLVIMENTO DE ALGUMAS ESPÉCIES DE ARTRÓPODES.....	70
QUADRO 5: ESTUDOS COM ESPÉCIES DE ARTRÓPODES POTENCIAIS E SEU USO EM BIOCONVERSÃO.....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: BASES DE DADOS UTILIZADAS E NÚMERO DE RETORNOS PARA CADA COMBINAÇÃO DE PALAVRAS-CHAVES.....	21
TABELA 2: CONSUMO DIÁRIO DE LARVAS DE <i>Hermetia illucens</i> , ALIMENTADAS COM DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS.....	31
TABELA 3: QUANTIDADES DE LISINA OBSERVADAS EM SEIS ESPÉCIES DE INSETOS, COMPARADAS COM AS NECESSIDADES NUTRICIONAIS E COM ALIMENTOS FORNECIDOS A PEIXES E CAMARÕES.....	49
TABELA 4: TEORES DE PROTEÍNA E GORDURA PRESENTES EM DIFERENTES INSETOS <i>IN NATURA</i> E EM PRODUTOS PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL.....	49
TABELA 5: TEORES DE PROTEÍNA E GORDURA PRESENTES EM DIFERENTES INVERTEBRADOS APÓS PROCESSAMENTO.....	50
TABELA 6: COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE PROTEÍNA ENTRE INSETOS E ALIMENTOS PARA HUMANOS E ANIMAIS.	50
TABELA 7: TAXAS DE PROTEÍNA, GORDURA E QUITINA PRESENTES EM <i>Hermetia illucens</i> EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE VIDA E ALIMENTADAS COM DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS.	51
TABELA 8: PRODUTOS EXTRAÍDOS DA CUTÍCULA DE ESPÉCIES DE INSETOS E SUA PORCENTAGEM RELATIVA DA CUTÍCULA.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVG - Ácidos graxos voláteis

BSF - *Black soldier fly larvae* (mosca-soldado-negra) – *Hermetia illucens*

GEE - Gases de efeito estufa

PB - Proteína bruta

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 METODOLOGIA.....	20
3 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO PILOTO COM <i>Tenebrio molitor</i>.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 ASPECTOS GERAIS.....	25
4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ESPÉCIES POTENCIAIS PARA BIOCONVERSÃO..	26
4.3 FATORES QUE INTERFEREM NO DESENVOLVIMENTO E NA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DOS ARTRÓPODES.....	27
4.4 APRESENTAÇÃO DOS GRUPOS DE ARTRÓPODES MAIS ESTUDADOS QUANTO A BIOCONVERSÃO.....	32
4.4.1 Subfilo Crustacea - Classe Malacostraca – Ordem Isopoda – Subordem Oniscidea.....	32
4.4.2 Subfilo Myriapoda - Classe Diplopoda.....	33
4.4.3 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta - Ordem Blattodea.....	35
4.4.4 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta - Ordem Orthoptera.....	37
4.4.5 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta - Ordem Lepidoptera.....	38
4.4.6 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta - Ordem Diptera.....	40
4.4.6.1 Família Muscidae.....	40
4.4.6.2 Família Stratiomyidae.....	41
4.4.6.3 Outras famílias da ordem Diptera.....	43
4.4.7 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta - Ordem Coleoptera.....	44
4.5 CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE CADA GRUPO DE ARTRÓPODES BIOTRANSFORMADORES.....	48
4.5.1 Aspectos bromatológicos.....	48
4.5.2 Impactos ambientais	53
4.5.3 Resíduos bioconvertidos.....	55
4.5.4 Exigências quanto à criação em cativeiro.....	69
4.5.5 Viabilidade econômica	71
4.5.6 Aspectos sanitários e segurança alimentar	74
4.6 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DOS ARTRÓPODES	76
4.6.1 Estudos compilados.....	76
4.6.2 Proteína e alimentação animal/humana	82

4.6.3 Fertilizantes	85
4.6.4 Polímeros orgânicos	86
4.6.5 Biocombustíveis	88
4.6.6 Biotransformação de resíduos compostos por celulose	90
4.6.7 Medicamentos e princípios ativos	90
4.6.8 Bioindicadores	91
4.7 BEM-ESTAR ANIMAL	92
4.8 LEGISLAÇÃO	93
4.9 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	95
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

A maioria das atividades humanas, inevitavelmente, gera resíduos. Porém, a partir da Revolução Industrial, com o aumento da população urbana, a intensa expansão demográfica e a mudança nos hábitos de consumo, a geração de resíduos se tornou um problema cada vez maior e de difícil solução (Amasuomo & Baird, 2016; Demirbas, 2011; Tisserant et al., 2017; Rao, 2015).

Mas o que são, exatamente, os resíduos? White et al (1995, apud Amasuomo & Baird, 2016) classificam os resíduos como subprodutos inúteis das atividades humanas que contenham fisicamente a mesma substância que está disponível no produto inicial. Porém, o que é descartado por uma pessoa pode ser fonte de recurso para outra. Desta forma, um material só pode ser considerado resíduo quando o gerador o rotula como tal (Amasuomo & Baird, 2016).

Os resíduos podem ser classificados quanto a seu estado físico (sólido, líquido ou gasoso), fonte de geração (doméstico, industrial, construção civil, etc) e tipo de impacto (tóxico/perigoso ou não) (Amasuomo & Baird, 2016; Qasim, 2020).

No ciclo natural, os resíduos jamais se acumulariam no ambiente, pois seriam reaproveitados por algum organismo. Porém, quando a fonte é uma atividade humana moderna, a quantidade gerada e a forma de disposição do que é precocemente descartado impossibilitam uma ação eficaz dos decompositores naturais, resultando assim, no acúmulo de resíduos e impactos negativos ao meio (Pietzsch et al., 2017; Qasim et al., 2020). Por esses motivos, o gerenciamento dos resíduos nas cidades se tornou um grande desafio para os gestores públicos nos dias atuais (Fuss et al., 2018).

Segundo Pietzsch et al. (2017), o gerenciamento de resíduos sólidos é necessário como resultado do caráter linear da atividade econômica humana, cujo fluxo de produção apresenta as seguintes etapas: extração de matéria-prima, manufatura de bens, venda, consumo e descarte. É necessário desenvolver alternativas baseadas no uso adequado dos recursos naturais, a fim de refrear o modelo linear de produção e chegar cada vez mais perto de uma economia circular, na qual se desenvolve e pratica a eliminação dos desperdícios do processo produtivo ao longo do tempo, até que se reduza a zero a geração final de resíduos (Zaman, 2016; Zago & Barros, 2019). Trata-se de uma difícil tarefa, pois exige mudanças nos padrões sociais de produção e consumo (Zaneti et al., 2009).

A redução dos resíduos sólidos deve ocorrer através da melhoria na eficiência das cadeias de abastecimento e consumo (Salomone et al., 2017). Agregar valor ao que já foi descar-

tado é o segundo passo (Kaza et al., 2018). Trata-se de um sistema de regeneração contínua em que os subprodutos de cada processo constituem o material bruto para outro, ou seja, gera-se um mínimo de resíduos e o restante retorna ao ciclo produtivo (Cappelozza et al., 2019; Rana et al., 2020).

De acordo com dados das Nações Unidas e do Banco Mundial, em 2015, a população da Terra foi estimada em cerca de 7,4 bilhões de pessoas, com 49% da população mundial morando em áreas urbanas. A projeção para 2050 é que este percentual chegue a 68%. Mas o aumento do consumo propriamente dito é mais importante do que o crescimento populacional. Durante o século XX, enquanto a população cresceu quatro vezes, o PIB global cresceu 24 vezes, e o uso de materiais, aproximadamente dez vezes (Sanandiya et al., 2020).

Apesar de a quantidade de resíduos gerada per capita não ser precisamente conhecida devido às variações entre os países, a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) estima uma média de 0,9 kg/pessoa/dia, tendo sido produzidos cerca de 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos em todo o mundo em 2016. Estima-se que, pelo menos, 33% destes resíduos não foram destinados de forma adequada. O mesmo estudo mostrou que, da quantidade total de resíduos sólidos, 53% representam resíduos orgânicos, biodegradáveis, oriundos, em grande parte, dos setores agrícola e alimentício (Kaza et al., 2018; Sanandiya et al., 2020).

Segundo estimativas da FAO, em 2019, cerca de 14% dos alimentos produzidos no mundo são perdidos ou desperdiçados. Isso representa em torno de 1,3 bilhão de toneladas de resíduos alimentares por ano, um prejuízo de 750 bilhões de dólares e 3,3 bilhões de toneladas de CO₂ lançados na atmosfera (Surendra et al., 2016; Guo et. al, 2021).

A meta 12.3 da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável preconiza que até 2030 seja reduzido pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial. Mesmo com a meta atingida, a quantidade de resíduo orgânico gerada ainda seria alta e geraria sobrecarga dos aterros sanitários, caso não haja outras formas de destinação (Agenda 2030).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305/2010, visa a gestão integrada – poder público e sociedade - e o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, e prevê a implementação de instrumentos para a reciclagem e reutilização de resíduos sólidos com valor econômico (BRASIL, 2010).

Apesar dos dez anos da PNRS, ainda hoje, muitos municípios brasileiros apresentam lixões em que os resíduos sólidos são armazenados de forma inadequada, gerando gases de efeito estufa, reduzindo a qualidade de corpos d'água e do solo, comprometendo, assim, a so-

brevivência de todos os seres que deles dependem, podendo gerar problemas graves de saúde pública (Pietzsch et al., 2017; Qasim et al., 2020).

O acúmulo de alimentos descartados inadequadamente gera pontos críticos contendo alta variedade de animais que se proliferam de forma descontrolada, ao encontrarem um meio favorável e não possuem predadores naturais. Neste caso, muitos representantes da fauna sinantrópica se tornam um grave problema por serem vetores na disseminação de doenças (Qasim et al., 2020; World Health Organization, 2008). Por outro lado, muitas espécies da fauna podem ser benéficas ao ser humano, por apresentarem a capacidade de decompor determinados tipos de resíduos (Giroto & Cossu, 2019).

Atualmente, grande parte do resíduo orgânico mundial é encaminhada para lixões, aterros, ou é incinerada, sendo apenas uma pequena parcela destinada para processos de compostagem ou utilizada como alimento animal. (Niu et. al., 2017; Abdel-Shafy & Mansour, 2018; Mahjoub & Domscheit, 2020).

A compostagem é uma das técnicas mais antigas e atualmente difundidas que utiliza animais na biotransformação de resíduos orgânicos (Fauziah & Periathamby, 2009; Rao, 2015). Além da vermicompostagem, ou seja, a decomposição realizada com auxílio de minhocas (Annelida), nos últimos anos, pesquisas na área biológica vêm trazendo soluções naturais a partir de outros invertebrados. Neste caso, muitos animais considerados problemáticos no meio urbano se tornam solução no sistema produtivo (Giroto & Cossu, 2019).

A biotransformação ou bioconversão é uma técnica em que organismos decompositores fragmentam e incorporam material orgânico, estimulando a atividade microbiológica na mineralização do composto necessário à melhoria da qualidade do solo. Consequentemente, este processo leva ao crescimento das plantas, promove a fixação do carbono, previne a erosão e reduz a sobrecarga de aterros sanitários (Giroto & Cossu, 2019; Zago & Barros, 2019).

Os artrópodes apresentam grande potencial para uso na biotransformação de resíduos orgânicos nas cidades, pois além de apresentarem alto índice de conversão alimentar, necessitam de poucos recursos como espaço, energia e suprimentos para sua criação. Por isso, os artrópodes são considerados boas fontes de proteína e gordura animal, sendo uma alternativa sustentável para os meios de produção atualmente utilizados (van Broekhoven et al., 2015; Fowles & Nansen, 2020; Giroto & Cossu, 2019).

Pesquisadores como Makkar et al. (2014) apontam previsões de acréscimo de 60-70% no consumo de produtos de origem animal até 2050, com conseqüente aumento da demanda por recursos. Desta forma, os artrópodes poderão se tornar uma boa estratégia urbana para re-

solver problemas como a destinação de resíduos sólidos e a produção de alimentos, com base na valorização dos resíduos alimentares (Varelas, 2020).

O número de estudos envolvendo a atividade de invertebrados na decomposição de resíduos sólidos vem crescendo desde a década de 1990, conforme aponta uma revisão de literatura apresentada por Giroto & Cossu (2019). Neste levantamento, os pesquisadores apresentam diferentes espécies de insetos potencialmente benéficas na biotransformação de resíduos sólidos orgânicos. Dentre estas, destacam-se o besouro-da-farinha [*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1761 (Coleoptera: Tenebrionidae)] e a larva-de-mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) (Makkar et al., 2014), ambas espécies amplamente criadas para fornecimento como parte da dieta de animais ornamentais e de zoológico (aves, répteis, peixes e anfíbios) desde o século XVIII, sendo também observado na alimentação humana em países orientais (DeFoliart, 2009; Makkar et al., 2014; van Broekhoven et al., 2015; Ravi et al., 2020).

Muitas espécies de insetos podem ser consideradas soluções biológicas ao converter resíduos orgânicos em produtos valiosos como ração para animais, biocombustíveis, bioplásticos, produtos farmacêuticos, adubos, entre outros (Fowles & Nansen, 2019).

A partir destes preceitos, este trabalho teve o intuito de, a partir da pesquisa bibliográfica, responder à seguinte pergunta: como os artrópodes podem contribuir na destinação de resíduos orgânicos?

Uma versão piloto anterior a este projeto, conduzida na forma de um estágio voluntário informal por iniciativa da autora, teve como objetivo a análise de invertebrados como aliados na tentativa de solucionar um caso concreto e específico, a saber, o problema da geração de resíduos orgânicos secos provenientes da padaria da Associação Casa da Videira. A Casa da Videira é uma comunidade localizada em Curitiba-PR, composta por amigos que moram, trabalham, estudam e aprimoram, juntos, técnicas de agricultura urbana e produção artesanal de alimentos, adotando, como filosofia de vida, o uso/reaproveitamento dos recursos e as atividades diárias e seus resultados como ganho de riqueza. Este foi o motivo primordial quanto à escolha do local para execução do projeto: o perfil de desenvolvimento de novas técnicas baseadas em estudos prévios, a fim de que o resíduo gerado pela padaria pudesse ser reaproveitado de forma inteligente.

Para testar a viabilidade do uso de invertebrados, foi escolhida uma espécie apontada pela literatura como sendo de fácil criação, o besouro-da-farinha (*Tenebrio molitor*). Um experimento piloto foi então conduzido entre outubro de 2020 e fevereiro de 2021. Porém, devido à situação de saúde pública mundial provocada pela epidemia da Covid-19, não foi possível dar

seguimento aos experimentos que estavam planejados, e que culminariam no projeto para a disciplina de Estágio Supervisionado. Assim, para cumprir os requisitos da mesma, optou-se pela realização de uma revisão de literatura relativa ao uso de artrópodes como solução biológica na bioconversão de resíduos orgânicos urbanos, a fim de agregar valor econômico e reduzir a geração de impactos ambientais de tais compostos. De qualquer forma, serão também relatados os experimentos que chegaram a ser conduzidos.

Este trabalho se justificativa pela necessidade de estudos voltados a métodos alternativos e sustentáveis às formas de produção modernas. A fim de evitar a chegada a um ponto irreversível quando se fala em consumo e vida no planeta, é que se deve pensar na economia circular como solução para possibilitar a sobrevivência de forma sustentável, de modo a reduzir o desperdício, possibilitando o retorno do resíduo gerado ao sistema, com maior valor, tendo os artrópodes como uma das soluções biológicas (Salomone et al., 2017; Sanandiya et al., 2020).

Tendo em vista a necessidade de melhoria na forma de produção de alimentos nas cidades, no sentido de reduzir o desperdício e otimizar o uso de recursos, o objetivo geral deste projeto é a formação de uma base de literatura para utilização em pesquisas futuras quanto às espécies de artrópodes capazes de atuar como soluções biológicas ao converter resíduos orgânicos em produtos economicamente vantajosos, e assim, preconizar o reconhecimento destes resíduos como bens econômicos e de valor social, geradores de trabalho e renda, sendo parte essencial dos meios de produção.

Os objetivos específicos deste projeto são: (i) identificar quais as principais espécies de artrópodes utilizadas atualmente para a biotransformação de resíduos orgânicos e o porquê; (ii) identificar e descrever o tipo de destino dado a cada espécie (ração animal, biocombustíveis, entre outros); (iii) sumarizar as principais características de cada espécie em relação a custo de produção, características bromatológicas, exigências quanto a estrutura para criação, a fim de estabelecer as vantagens comparativas entre elas e tentar verificar quais espécies apresentam o melhor custo-benefício e conseqüente viabilidade de criação.

2 METODOLOGIA

A pesquisa consistiu em uma revisão de literatura realizada a partir da busca exaustiva às seguintes bases de dados: Portal de Periódicos Capes, Scopus, Scielo, Science Direct e Google Acadêmico. Foram consultados e selecionados artigos científicos, livros, teses e dissertações. Estas plataformas foram selecionadas com base na quantidade de artigos relacionados com a área da Biologia e de sua relevância científica, com a finalidade de abranger uma escala mundial. Os dados relativos a taxonomia e distribuição das espécies consultadas foram confirmados no site gbif.org.

Nas plataformas de busca foram utilizadas as palavras-chaves artrópodes, bioconversão e resíduos orgânicos, e suas variações, como Arthropoda, Arthropod, Artrópod\$, nos idiomas Português e Inglês. Foi realizado o método de busca booleana com o auxílio dos termos “AND” e “OR” com as palavras combinadas.

Desta forma, a partir dos títulos das pesquisas, e, quando necessário, dos resumos, buscava-se selecionar os materiais que apresentassem alguma relação com o uso de artrópodes na redução ou na biotransformação de qualquer resíduo de origem orgânica.

Em função do enorme número de retornos de algumas plataformas de pesquisa e da grande quantidade de literatura cinza ou não pertinente ao assunto, os termos isolados, ou seja, quando não adicionados das demais palavras-chaves, foram descartados da pesquisa.

No caso da base Google Acadêmico, os termos ‘Arthropod AND Bioconversion’, Bioconversion AND "Organic residues" e Bioconversion AND "Organic waste" não foram utilizados, em função da enorme quantidade de material não pertinente ao assunto.

Ao final da pesquisa às bases de dados, foram encontrados 903 resultados relacionados com as palavras-chaves informadas. Tendo em vista que muitos deles se repetiram ao longo da busca, ao final, foram selecionados 356 arquivos, entre artigos, livros, teses de doutorado, dissertações de mestrado e monografias. Destes, 200 foram relativos a *Hermetia illucens* exclusivamente, ou seja, 56,18% do total.

A partir de certo momento, verificou-se que muitos artigos apresentavam informações que se repetiam, com mudanças na abordagem e nos métodos de análise. Sendo assim, ao final, dos 356 selecionados, 25 foram inicialmente descartados, por serem considerados literatura cinza ou por apresentarem conteúdo pouco relevante para as questões abordadas e 150 arquivos foram efetivamente utilizados na revisão bibliográfica. A tabela 1 mostra o número de arquivos inicialmente selecionados em cada base de dados para compilar as informações.

TABELA 1: BASES DE DADOS UTILIZADAS E NÚMERO DE RETORNOS PARA CADA COMBINAÇÃO DE PALAVRAS-CHAVES.

PALAVRAS-CHAVE - Artrópodes; Bioconversão; Resíduos orgânicos.	BASES DE DADOS									
	Scholar Google		Scielo		Scopus		Periódicos CAPES		Science Direct	
	Encontrados	Utilizados	Encontrados	Utilizados	Encontrados	Utilizados	Encontrados	Utilizados	Encontrados	Utilizados
Artrópodes AND Bioconversão	108	9	0	0	0	0	1	0	0	0
Artrópod\$ AND Bioconversão	119	11	0	0	0	0	1	0	0	0
Arthropoda AND Bioconversão	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Bioconversão AND "Resíduos orgânicos"	532	10	1	0	0	0	0	0	0	0
Artrópodes AND Bioconversão AND "Resíduos orgânicos"	20	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Artrópod\$ AND Bioconversão AND "Resíduos orgânicos"	21	9	0	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda AND Bioconversão AND "Resíduos orgânicos"	21	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Arthropod AND Bioconversion	1950	NA	0	0	9	2	82	20	206	9
Arthropoda AND Bioconversion	212	23	0	0	5	0	34	8	25	2
Bioconversion AND "Organic residues"	2840	NA	1	0	26	3	181	7	263	11
Bioconversion AND "Organic waste"	12400	NA	1	0	347	66	850	82	2091	67
Arthropod AND Bioconversion AND "Organic residues"	169	17	0	0	0	0	3	2	4	1
Arthropod AND Bioconversion AND "Organic waste"	443	88	0	0	0	0	12	10	20	9
Arthropod AND Bioconversion AND ("Organic waste" OR "Organic residues")	531	102	0	0	0	0	13	10	23	10
Arthropoda AND Bioconversion AND "Organic residues"	162	18	0	0	0	0	2	1	0	0
Arthropoda AND Bioconversion AND "Organic waste"	445	130	0	0	0	0	7	3	3	1
Arthropoda AND Bioconversion AND ("Organic waste" OR "Organic residues")	536	135	0	0	0	0	8	3	3	1
TOTAL	20522	572	3	0	387	71	1194	149	2638	111
SELECIONADOS	903									

3 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO PILOTO COM *Tenebrio molitor*

De outubro de 2020 a fevereiro de 2021, foram realizados testes com a espécie *Tenebrio molitor*, na Casa da Videira, localizada em Curitiba/PR.

Para este estudo foram adquiridas 800 larvas de um revendedor na cidade de Curitiba/PR (denominado grupo 1) e mais 2.200 larvas que já pertenciam à criação particular da própria aluna (grupo 2), totalizando 3.000 larvas, alocadas em duas caixas distintas e tampadas. Outros dois recipientes com as mesmas dimensões dos anteriores foram separados para receber pupas e adultos, que viessem a se desenvolver ao longo do estudo, totalizando quatro caixas, inicialmente.

As caixas, de plástico preto, apresentavam as seguintes dimensões: 20 cm de altura, 40 cm de largura, 50 cm de comprimento. Foram realizados 5 furos de aproximadamente 5 cm de diâmetro em cada tampa, a fim de possibilitar a entrada de oxigênio e um pouco de luz (figura 1). Os furos foram cobertos com tela, a fim de evitar a entrada de outros animais.

Como substrato, foram fornecidos resíduos oriundos da padaria da Casa da Videira: farinha de trigo, farinha de arroz, resíduos de queijo, restos de cereais e de produtos já processados na própria casa, como pães e massas em pedaços. Além disso, foram colocadas frutas e verduras cortadas em pedaços, como fonte de umidade (figura 1). Todos os dias em que houvesse produção, os resíduos deveriam ser recolhidos da padaria e depositados em tambor específico (figura 2). As quantidades de substrato fornecidas aos dois grupos iniciais foram as mesmas, ou seja, em torno de 1,5 kg por caixa.

Diariamente, era procedida à verificação quanto à presença de pupas e adultos, para em seguida separá-los nas caixas específicas. Conforme necessidade, caso houvesse resíduos não aproveitados em excesso, era peneirado o substrato para retirar restos de ecdise das larvas e trocar os alimentos úmidos.

Inicialmente, as caixas foram mantidas empilhadas em local abrigado de vento, chuva e sol, a fim de possibilitar um maior conforto térmico aos insetos (figura 2). Cerca de um mês depois, foi criado um local específico para alocar os tenébrios (figura 2), localizado próximo ao espaço reservado às composteiras e à criação de minhocas e abelhas nativas, para centralizar os invertebrados em apenas um ponto da casa.

FIGURA 1: À ESQUERDA, DISPOSIÇÃO DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* NA CAIXA COM SUBSTRATO SECO, JUNTAMENTE COM FRUTAS E VERDURAS. À DIREITA, DETALHE DOS FUROS REALIZADOS NAS TAMPAS.



FONTE: A autora (2020).

FIGURA 2: À ESQUERDA, DISPOSIÇÃO INICIAL DAS CAIXAS PLÁSTICAS CONTENDO DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO DE *Tenebrio molitor* AO LADO DE TAMBOR NO QUAL ERAM ARMAZENADOS OS RESÍDUOS. À DIREITA, ABRIGO EM QUE FORAM MANTIDOS OS INSETOS POR UM MÊS.



FONTE: A autora (2020).

Após um mês do início do projeto, foi observada uma grande quantidade de pupas. Eram retiradas em torno de 30 a 50 pupas por dia. O tempo de ecdise de pupa para adulto variou entre 9 e 14 dias. A partir do aparecimento do primeiro besouro, os próximos eram colocados todos juntos na mesma caixa até se completar duas semanas, sendo formados novos grupos. O substrato dessas duas semanas era separado para verificar o tempo de eclosão de larvas.

No momento em que foram verificadas as maiores taxas de desenvolvimento, constatou-se que o local construído estava se tornando excessivamente quente, com incidência de sol em algumas horas do dia, o que resultou em problemas de hipertermia e consequente morte de cerca de um terço das larvas. Desta forma, optou-se por manter as caixas no local originalmente criado ao início do estudo.

Além da ocorrência de hipertermia, ao longo do estudo, outros eventos prejudicaram o desenvolvimento dos tenébrios: invasão por formigas, ratos, moscas e ácaros. Houve várias tentativas de isolar a criação, através da imersão das caixas em água, uso de óleos e graxas nas bordas para criar barreiras mecânicas contra formigas, sendo eficaz até certo ponto.

O problema que gerou os maiores desafios e culminou com o fim do estudo foi a proliferação excessiva de ácaros. Como havia a necessidade de guardar ao menos parte do substrato para manter os ovos e possibilitar a análise da capacidade de reprodução dos besouros, não foi possível fazer o controle adequado destes aracnídeos invasores.

Observou-se que o substrato contaminado com ácaros fermentava, gerando um ambiente excessivamente úmido, que resultou, também, na morte dos tenébrios. Apesar de todos os eventos acima mencionados, ainda foi possível observar uma pequena taxa reprodutiva.

A conclusão foi: *Tenebrio molitor* é uma espécie adequada para biotransformação de resíduos orgânicos secos, porém existe a necessidade de maior controle de outros artrópodes e vertebrados que venham a prejudicar a criação. Desta forma, se propõe que a alocação desta espécie seja feita em locais internos, com maior controle de temperatura e esterilização do substrato. A criação realizada com temperatura ideal controlada, ou seja, entre 25 e 30°C pode gerar boa produtividade ao longo do ano todo, mesmo em regiões frias, como no sul do Brasil. O resíduo restante dos tenébrios pode ser mantido em áreas externas para decomposição final por ácaros, formigas e moscas.

O mesmo estudo foi iniciado com a espécie *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) (Coleoptera: Tenebrionidae), tenébrio-gigante. Foram adquiridas 50 larvas e mantidas em condições semelhantes às dos tenébrios. Porém, ao longo dos quatro meses, foram observadas apenas mudas em instares larvais, notadas pela presença de restos de escdise, mas não se formaram pupas, nem besouros, para que as análises pudessem prosseguir.

Na sequência, pretendia-se iniciar análises com mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), porém, em função de problemas logísticos gerados tanto pela pandemia, quanto pela chegada do inverno, não foi possível dar continuidade ao estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ASPECTOS GERAIS

Diferentes seres vivos estão envolvidos com a decomposição da matéria orgânica, em diferentes escalas e etapas do processo: desde bactérias e fungos, a minhocas e larvas de insetos (Diener et al., 2009).

As minhocas são os organismos mais utilizados na biotransformação e apresentam amplo potencial de emprego na gestão de resíduos orgânicos urbanos (Sridhar & Ambarish, 2013). Porém, estudos mostram que larvas de moscas, por exemplo, podem ser até cinco vezes mais eficazes na redução de resíduos quando comparadas a minhocas (Zhang et al., 2012). Além disso, a compostagem é um processo que leva em torno de 120 dias (Ataíde et al., 2020), enquanto a bioconversão com o auxílio de artrópodes pode ocorrer em menos de um mês (Giannetto et al., 2020).

Os artrópodes representam o maior e mais diverso grupo de seres vivos do planeta, sendo composto por mais de um milhão de espécies (Sridhar & Kadamannaya, 2009; Tavares, 2016; Ataíde et al., 2020). Trata-se de um grupo muito conhecido popularmente por gerar perdas na agricultura, por estar envolvido com a transmissão de doenças, mas também por gerar riquezas advindas de serviços ambientais como a polinização e o controle natural de insetos invasores, além de serem fontes de recursos alimentares e matéria-prima para a indústria (Tavares, 2016).

O grande potencial dos artrópodes para bioconversão está relacionado com a sua capacidade de transformar, de forma rápida, uma infinidade de fontes de resíduos alimentares, entre eles, compostos orgânicos de origem animal e vegetal em produtos de alto valor, como rações e biocombustíveis, por exemplo. Ao consumir os resíduos gerados por animais de produção como porcos e galinhas, por exemplo, os artrópodes fecham o ciclo produtivo, pois, ao final, se tornam alimento destes mesmos animais (Rumpold et al., 2017; Ohja et al., 2020; Ravi et al., 2020).

Pelo fato de muitos artrópodes apresentarem comportamento sinantrópico e serem dependentes de nutrientes presentes em resíduos humanos para seu desenvolvimento, é comum encontrar grande diversidade de espécies em aterros e sistemas de compostagem (Ataíde et al., 2020).

Ataíde et al. (2020), por exemplo, identificaram 3 classes (Insecta, Arachnida e Diplopoda), 11 ordens e 23 famílias do Filo Arthropoda, em pesquisas realizadas em um dos maiores aterros brasileiros, localizado em Belo Horizonte/Minas Gerais, conforme mostra o quadro 1. Trata-se das três classes mais diversas do reino animal (Sridhar & Kadamannaya, 2009).

QUADRO 1: COMUNIDADE DE ARTRÓPODES ENCONTRADA EM ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE/MG.

Classe	Ordem	Família
Insecta	Diptera	Psychodidae
		Calliphoridae
		Syrphidae
		Ephydriidae
		Stratiomyidae
		Ulidiidae
		Dolichopodidae
		Chironomidae
	Coleoptera	Staphilinidae
Curculionidae		
Coccinellidae		
Bruchidae		
Colembola	Hypogastruridae	
Hymenoptera	Formicidae	
Hemiptera	Phylloxeridae	
	Cicadellidae	
Blattodea	Blattidae	
Orthoptera	Acrididae	
Lepidoptera	Noctuidae	
Arachnida	Araneae	Mygalomorphae
	Acari	Ixodidae
Diplopoda	Polydesmida	Polydesmidae

FONTE: Adaptado de Ataíde et al. (2020).

4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ESPÉCIES POTENCIAIS PARA BIOCONVERSÃO

A compilação de dados sobre a espécie é essencial para o estabelecimento de padrões que melhorem as condições de criação dos animais, proporcionando, assim, aumento de rendimento e redução de custos, com responsabilidade sócio-ambiental (Rajendran et al., 2018; Bosch et al., 2020).

A análise de alguns aspectos pode auxiliar na escolha dos bioconversores: características comportamentais, dados reprodutivos, duração do ciclo de vida, hábitos alimentares, possí-

vel relação com doenças, distribuição geográfica, adaptabilidade à criação em massa e em condições de laboratório (Sridhar & Ambarish, 2013; Morales-Ramos et al., 2014; Rajendran et al., 2018; Fowles & Nansen, 2019; Riudavets et al., 2020).

Quanto a aspectos biológicos, é interessante que a espécie seja generalista e consuma grande quantidade de alimentos, com rápido desenvolvimento e alta fecundidade (Morales-Ramos et al., 2014; Fowles & Nansen, 2019).

Alguns pontos-chave facilitam a criação em cativeiro: tolerância a variações de umidade e temperatura; hábitos comunitários; baixa variação na dieta ao longo dos diferentes estágios de vida; baixa suscetibilidade a doenças; comportamento não agressivo e de fácil manipulação (Fowles & Nansen, 2019).

Características como criação de espécies preferencialmente nativas ou que não apresentem facilidade de dispersão, nem potencial invasor, são fatores indispensáveis para evitar problemas ecológicos (Fowles & Nansen, 2019).

Aspectos nutricionais como alta porcentagem de proteínas e palatabilidade para produção de ração, ou de quantidades suficientes de gorduras quando da produção de biodiesel, por exemplo, são importantes para o resultado final pois, entre outros fatores, aumentam o valor de mercado. Sendo assim, os critérios de seleção dependem do objetivo final da bioconversão (Fowles & Nansen, 2019).

4.3 FATORES QUE INTERFEREM NO DESENVOLVIMENTO E NA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DOS ARTRÓPODES

O tempo de desenvolvimento e o valor nutricional da biomassa dos artrópodes dependem de fatores intrínsecos à espécie, estágio de vida, ou fatores abióticos como clima e estação, além de dieta e de condições de criação (Rajendran et al., 2018; Riudavets et al., 2020).

Riudavets et al. (2020) mostraram, em seu estudo com *Epehstia kuehniella* Zeller, 1879 (Lepidoptera: Pyralidae), *Tenebrio molitor* e *Hermetia illucens*, que a composição da dieta interfere muito nos resultados dentro da própria espécie, tanto em relação a mortalidade, tempo de desenvolvimento e redução do resíduo, quanto nas taxas de proteína e gordura presentes nas larvas.

Os resultados deste trabalho mostram que o conteúdo de proteína da biomassa de insetos de diferentes ordens varia de 13 a 77% de sua matéria seca, com uma grande oscilação entre e dentro das ordens de insetos (Riudavets et al., 2020).

Um dos fatores que pode influenciar na quantidade e no tipo de aminoácidos presentes no organismo dos artrópodes é a forma de desenvolvimento: holometábolo - com metamorfose completa, ou hemimetábolos - com metamorfose incompleta (Ooninx & Finke, 2020).

Em espécies holometábolos, os padrões de aminoácidos parecem se manter constantes, mesmo com as mudanças de estágios de desenvolvimento e de dieta. Nas larvas de *Hermetia illucens*, por exemplo, oito dietas diferentes não alteraram a composição de aminoácidos na fase pré-pupa, quando testadas. Em *Tenebrio molitor*, foram observadas diferenças nas porcentagens de aminoácidos quando comparadas larvas com adultos. Em *Musca domestica* Linnaeus, 1758 (Diptera: Muscidae) observou-se diferenças na composição de aminoácidos entre larvas e pupas, em animais com a mesma dieta (Ooninx & Finke, 2020).

Os estoques de gordura são geralmente maiores no último instar larval e na fase de ninfa. Porém, isso pode variar de acordo com o tipo de desenvolvimento: larvas de espécies holometábolos têm maior teor de gordura do que adultos. Esta redução de gordura também pode ser observada em insetos que sofrem diapausa ou hibernação. Isso ocorre porque a gordura é usada como fonte de energia durante a pupação ou na diapausa. *Drosophila melanogaster* Macquart, 1843 (Diptera: Drosophilidae), *Musca domestica*, *Hermetia illucens* e *Tenebrio molitor* são alguns exemplos (Ooninx & Finke, 2020). Por outro lado, nos organismos hemimetábolos, o conteúdo de gordura de adultos recém-emergidos é semelhante quando comparado ao estágio avançado das ninfas (Ooninx & Finke, 2020).

Liu et al. (2017) mostraram em seu estudo, a influência das mudanças metabólicas na composição nutricional de *Hermetia illucens*, do ovo ao adulto. Foi observado um aumento progressivo na taxa de gordura até o nível máximo de 28,4% em massa seca na fase pré-pupa. Já a proteína bruta sofreu decréscimo na fase larval com mínimo de 38% até 46,2% no pico, também observado na fase pré-pupa. As pupas reduziram seu nível de gordura de 24,2% a 8,2%, até chegar à ecdise. Uma queda acentuada na gordura bruta foi observada desde as primeiras pré-pupas até as pupas conforme foram se aproximando da ecdise. Na fase adulta, a proteína bruta e a gordura atingiram o valor máximo de 57,6% e 21,6%, respectivamente, algum tempo após a morte.

A nutrição é o fator mais importante para o crescimento e reprodução dos artrópodes, influenciando, por consequência, na sua constituição nutricional, nas taxas de ácidos graxos, proteínas, vitaminas, carotenóides e minerais (Varelas & Langton, 2017; Rumbos & Athanassiou, 2021). A porcentagem de gordura na alimentação, por exemplo, tem relação direta, principalmente com os níveis de gordura e umidade corporal. Um aumento no teor de gordu-

ra, com quantidades estáveis de umidade e proteína, dilui as concentrações desta última, conforme estudos realizados por Pearincott (1960 apud Oonincx & Finke, 2020), com moscas-domésticas (*Musca domestica*).

Wang et al. (2016 apud Callegari, 2017) mostraram o quanto a dieta interfere no organismo dos artrópodes. Em seu estudo, foram adicionadas nanopartículas de carbono na alimentação de bichos-da-seda [*Bombyx mori* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Bombycidae)] e o resultado foi a produção de fibras com maior resistência.

Harsányi et al. (2020) concluíram que a alimentação com dietas pobres em nutrientes, no caso, vegetais, resultou em baixa concentração de proteína e alta concentração de gordura nas larvas das três espécies avaliadas *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* e *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) (Orthoptera: Gryllidae), quando comparados aos insetos alimentados com ração de frango.

Lalander et al. (2019) demonstraram em seu experimento com *Hermetia illucens*, que os níveis de proteína bruta corporal variam de acordo com a dieta. Foram testados onze tipos de resíduos orgânicos urbanos, havendo variação final de 39,1 a 44,2% na proteína bruta das larvas. Ocorreu maior variação na taxa de bioconversão, no tempo de desenvolvimento larval e no peso final das pré-pupas. Segundo Lalander et al. (2019), os parâmetros que mais interferiram no desenvolvimento das larvas foram a quantidade de sólidos voláteis e a taxa de proteína do substrato.

O teor de gordura em matéria seca dos insetos varia entre 10 e 70%, incluindo glicérides, ceras, esteróis, vitaminas lipossolúveis, entre outros. Esta porcentagem, assim como as proteínas, é influenciada por peculiaridades da espécie, estágio de desenvolvimento, dieta e temperatura. Na maioria das espécies, as fêmeas apresentam maior reserva de gordura, sendo os indivíduos selvagens menos ricos neste composto, devido à menor necessidade de gasto energético com forrageamento, quando comparados aos animais cativos (Oonincx & Finke, 2020).

Dietas enriquecidas com ômega 3 geram maior acúmulo deste ácido graxo no organismo, assim como minerais como cálcio, ferro, zinco e manganês. Também existem pesquisas mostrando que, em algumas espécies, ocorre aumento de vitaminas A e E no organismo quando estes nutrientes são fornecidos na alimentação de insetos (Oonincx & Finke, 2020).

Pimentel et al. (2017) realizaram análises morfofuncionais em *Hermetia illucens*, a fim de verificar como a disponibilidade diferencial de proteínas na dieta desta espécie afeta a expressão de genes relacionados ao acúmulo de nutrientes no organismo. Eles demonstraram que dietas ricas em proteína geram maior expressão de genes de hexamerina, com conseqüente

acúmulo protéico no corpo larval. Por outro lado, dietas pobres em proteínas podem gerar larvas mal nutridas com menor teor de proteína e maior teor de lipídios. O gene de hexamerina funciona como um marcador que indica o estado nutricional das larvas, podendo ser utilizado em estudos futuros.

A quantidade de alimento também interfere no ganho de massa seca. Segundo estudos realizados por Diener et al. (2009) mostraram que, em caso de escassez nutricional, as larvas se alimentam até alcançar a reserva de energia mínima necessária para realizar o desenvolvimento da pupa. Ocorre um lapso de tempo entre o peso crítico e a secreção do hormônio responsável pela metamorfose (PTTH – hormônio pró-toracicotrópico), que faz com que a larva pare de se alimentar. Essa pode ser a explicação para o ganho de peso nas pré-pupas com dietas variadas. No mesmo estudo, houve redução do peso dos adultos cujas larvas passaram por estresse alimentar e as fêmeas adultas pesaram 1,3-1,5 vezes mais do que os machos (o que é normal de ocorrer em algumas espécies de artrópodes) (Diener et al., 2009).

A disponibilidade de alimento está diretamente ligada à densidade de animais, sendo este outro fator importante a ser considerado na criação em cativeiro. Diener et al. (2009) concluíram, em seu estudo, que larvas alimentadas com 100 mg de ração de galinha/dia, em densidade de 5 larvas/cm², podem render 2,5 kg de massa de pré-pupa em um ciclo de vida.

Sullivan & Sokal (1963 apud Barragan-Fonseca et al., 2018) propuseram dois tipos básicos de respostas à densidade elevada em diferentes espécies de dípteros: ocorre uma redução no número de indivíduos capazes de completar seus ciclos de vida, com os adultos emergentes mantendo o tamanho corporal normal, ou; é mantida a sobrevivência da maioria, porém acompanhada pela redução de massa corporal. No segundo tipo de resposta, perdas substanciais em números ocorrem apenas em densidades acima das quais o peso adulto cai abaixo de um limite crítico, conforme já mencionado por Diener et al. (2009).

Em contrapartida, densidades larvais mais baixas nem sempre maximizam o desenvolvimento: em algumas espécies, agregações larvais geram calor, e, com isso, melhoria na assimilação dos alimentos, além de oferecer proteção contra baixas temperaturas e predadores (Barragan-Fonseca et al., 2018).

O consumo varia de acordo com os hábitos alimentares da espécie. A tabela 2 mostra, como exemplo, a variação na taxa de consumo de *Hermetia illucens* de acordo com o tipo de alimento, em estudo desenvolvido por Diener et al. (2009).

TABELA 2: CONSUMO DIÁRIO DE LARVAS DE *Hermetia illucens*, ALIMENTADAS COM DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS.

Resíduo	Consumo diário em mg/larva
Ração de galinha	100
Restos de cozinha	61
Restos vegetais	98
Banana verde	103
Esterco suíno	158
Esterco de aves	175
Fezes humanas	130

FONTE: Adaptado de Diener et al. (2009).

O fotoperíodo é mais um ponto importante, não só na indução de diapausa, como também na composição corporal de ácidos graxos insaturados. A exposição a raios UVB gera a síntese de vitamina D3 em algumas espécies, mostrando que muitos fatores ambientais são essenciais para o bom desenvolvimento de animais saudáveis com bom incremento de nutrientes (Oonincx & Finke, 2020).

O conhecimento sobre a relação simbiótica que ocorre entre os artrópodes e os microorganismos que habitam seu organismo também é importante para determinar o melhor substrato para a sua manutenção. Isso possibilita que sejam fornecidas condições que favoreçam seu desenvolvimento e o melhor aproveitamento dos resíduos, além de proporcionar segurança alimentar aos consumidores (Callegari, 2017).

Estudos que promovem o isolamento e a caracterização de cepas bacterianas presentes no trato digestório dos insetos vem sendo desenvolvidos para melhorar a degradação de proteínas e compostos como o fósforo orgânico e, assim, aumentar a conversão alimentar (Callegari, 2017).

Sabe-se que o substrato fornecido interfere na composição da microbiota intestinal. Dietas com quantidade excessiva de proteína podem gerar disfunções intestinais e interferir na microbiota. Pesquisas apontam que proteobactérias estão presentes no trato gastrointestinal da maioria das larvas de mosca-soldado (*Hermetia illucens*), mesmo quando tratadas com dietas diferentes. (Osimani et al., 2019).

Quando todos os fatores apontados são observados, o resultado é um bom desempenho da espécie no quesito conversão alimentar, sendo observado, também aspectos relativos a bem-estar animal (Rajendran et al., 2018; Giroto & Cossu, 2019; Riudavets et al., 2020).

4.4 APRESENTAÇÃO DOS GRUPOS DE ARTRÓPODES MAIS ESTUDADOS QUANTO A BIOCONVERSÃO

Nesta seção, serão abordados aspectos taxonômicos e de biologia geral das classes, ordens e espécie de artrópodes mais frequentemente estudadas pelo seu potencial pra bioconversão. As aplicações dos grupos, com maiores detalhes, serão apresentadas na seção 4.6.

Em função da facilidade de criação em cativeiro e das propriedades nutritivas, a mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), o besouro-da-farinha (*Tenebrio molitor*) e a mosca-doméstica (*Musca domestica*) são as espécies mais estudadas para a criação comercial e a produção de alimentos e rações (van Huis et al. 2013).

Classificações taxonômicas como subfilos, ordens, classes e espécies de artrópodes que apresentam o maior número de estudos voltados à bioconversão e consequente criação em cativeiro serão apresentados a seguir.

4.4.1 Subfilo Crustacea - Classe Malacostraca – Ordem Isopoda – Subordem Oniscidea

Malacostraca é uma classe do sufilo Crustacea a qual pertencem 67.000 espécies de camarões, caranguejos, siris e também animais terrestres como o tatuzinho-de-jardim. Este último se enquadra na ordem Isopoda que apresenta 10.000 espécies que habitam água doce, salgada e o solo. A subordem Oniscidea é a mais abundante e diversificada de Crustacea, com 5.000 espécies e abrange espécies terrícolas (Valério-Bernardo, 2016).

O grande sucesso de colonização no ambiente terrestre desta subordem é devido à independência da água para a respiração e a reprodução, além da facilidade de locomoção na terra, a proteção exoesqueletal e a possibilidade de reduzir a perda de água através da superfície do corpo pela capacidade de se enrolar. A fecundação ocorre externamente ao corpo, no marsúpio presente nas fêmeas, onde os ovos se desenvolvem. Na eclosão, os animais nascem com apenas seis pares de pereópodes, faltando o último apêndice, que se desenvolverá até a fase adulta. Não ocorre dimorfismo sexual na maioria das espécies (Valério-Bernardo, 2016).

Os isópodes (Malacostraca: Isopoda) são constituintes importantes da fauna edáfica e participam ativamente da reciclagem de nutrientes e da formação do solo, pois se alimentam preferencialmente de matéria orgânica em decomposição (Valério-Bernardo, 2016). Representantes da ordem Isopoda são mostrados na figura 3.

FIGURA 3: TATUZINHOS-DE-JARDIM (MALACOSTRACA: ISOPODA) LOCALIZADOS EM MADEIRA EM DECOMPOSIÇÃO.



FONTE: A autora (2021).

4.4.2 Subfilo Myriapoda - Classe Diplopoda

Diplopoda é uma classe caracterizada por animais terrestres que apresentam o corpo alongado e segmentado, contendo dois pares de pernas em cada segmento corporal. Existem em torno de 11.000 espécies descritas e presentes em quase todos os continentes (exceto na Antártida), de uma estimativa de aproximadamente 80.000 espécies existentes. Trata-se da terceira classe mais diversa de artrópodes, ficando atrás apenas das classes Insecta e Arachnida (Sridhar & Kadamannaya, 2009; Chagas-Jr. & Barbosa, 2016; Silva, 2017).

Após todo o desenvolvimento dentro do ovo (período que varia entre as espécies), existe a fase de pupa, semelhante à dos insetos. Em seguida, ocorre a primeira muda, alcançando, então, o chamado estágio I, caracterizado pela existência de três pares de pernas e ausência de olhos funcionais. Na sequência ocorrem três estágios de desenvolvimento em que se formam os olhos, mais pernas e as glândulas de veneno. Ao final destes estágios, a maioria das espécies abandona o ninho e passa a se alimentar, dando continuidade às ecdises até alcançarem o estágio adulto. A quantidade de mudas varia de acordo com a espécie (Chagas-Jr. & Barbosa, 2016).

Em função de seus hábitos detritívoros, ou seja, de consumirem matéria orgânica de origem vegetal e animal em decomposição, são por isso, considerados potenciais para uso em

bioconversão. Pelo fato de serem animais sensíveis a alterações de umidade, pH e composição do solo, também são considerados bioindicadores (Sridhar & Kadamannaya, 2009; Silva, 2017; Antunes et al., 2019).

Os diplópodes são representantes da macrofauna edáfica, que vive dentro do solo, e, por isso, são seqüestradores de carbono, ou seja, ajudam na fixação deste componente e geram grande parte da composição do solo (Antunes et al., 2019). Porém, algumas espécies foram introduzidas pelo homem, e criaram problemas ecológicos, como os milípedes do gênero *Arthrosphaera*, considerados fauna invasora na Índia, por exemplo (Sridhar & Kadamannaya, 2009). *Arthrosphaera* é composto por animais grandes (5 a 15cm), desprovidos de glândulas secretoras de veneno, sem odor e com expectativa de vida que pode chegar a 11 anos (Sridhar & Ambarish, 2013).

São animais, em sua maioria, especializados na digestão de matéria orgânica rica em celulose e lignina, graças à ação de microorganismos presentes em seu trato digestório (Antunes et al., 2019). Essa atividade detritívora pode ser otimizada quando da presença de fungos e bactérias que aumentam a biodisponibilidade de proteínas e lipídios, em especial o ergosterol, que é fundamental para o desenvolvimento de determinadas espécies de diplópodes (Sridhar & Kadamannaya, 2009). Byzov et al (1993, apud Correia, 2014) foram os responsáveis pelos primeiros estudos de interações simbióticas entre diplópodes e leveduras, actinomicetos e bactérias.

Estima-se que 30% do que os milípedes consomem é assimilado. Diplópodes do gênero *Glomeris* Latreille, 1802 (Glomerida: Glomeridae) podem consumir 10 vezes a sua massa corporal ao longo de um ano (Sridhar & Kadamannaya, 2009).

Existem poucos estudos relacionados com gongocompostagem, que é a compostagem com auxílio de diplópodes. Antunes & Silva são alguns dos pesquisadores brasileiros que tem pesquisado espécies como *Trigoniulus corallinus* (Eydoux & Souleyet, 1842) (Spirobolida: Trigoniulidae) (Figura 4), *Glyphiulus granulatus* (Gervais, 1847) (Spirostreptida: Cambalopsidae) e *Rhinocricus botocudus* Schubart, 1962 (Spirobolida: Rhinocricidae), e seu potencial na bioconversão de diferentes resíduos orgânicos.

FIGURA 4: *Trigoniulus corallinus* (DIPLOPODA: SPIROBOLIDA).

FONTE: Antunes et al. (2019).

4.4.3 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta – Ordem Blattodea

A ordem Blattodea inclui cupins e baratas. Das quatro mil espécies de baratas descritas no mundo, 644 ocorrem no Brasil. A maioria habita florestas, apresenta hábitos saprófagos ou onívoros, podendo ser encontradas também em jardins e sistemas agrícolas. Algumas espécies são consideradas sinantrópicas, estando presentes em habitações em todos os continentes. Entre elas, podemos citar espécies como *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (Blattodea: Blattidae), *Supella longipalpa* (Fabricius, 1798) (Blattodea: Ectobiidae), *Periplaneta australasiae* (Fabricius, 1775) (Blattodea: Blattidae) e *Blatta orientalis* Linnaeus, 1758 (Blattodea: Blattidae) (Rafael et al., 2008; Correia, 2014). Destas, apenas a última não apresenta registros no Brasil (gbif.org, 2021).

As baratas são os insetos que mais causam rejeição à população humana devido aos hábitos que algumas espécies sinantrópicas possuem de viver em ambientes como esgotos, bueiros, lixeiras e fossas sanitárias (Rafael et al., 2008). Apesar disso, já foram descritas muitas aplicações úteis das baratas ao ser humano (Correia, 2014).

Periplaneta americana, conhecida popularmente como barata-de-esgoto ou barata-vermelha, é uma das espécies urbanas mais comumente encontradas em residências e em restaurantes, havendo registros em todas as cidades brasileiras. O adulto varia entre 40 e 50 mm de comprimento, excluindo as antenas (figura 5). Possui hábitos noturnos: sua ocorrência diurna representa indícios de superpopulação. Pode se proliferar e reproduzir com facilidade, pois seus hábitos são pouco exigentes: aceita grande diversidade de alimento e vive em qualquer lugar escuro, quente e úmido.

FIGURA 5: EXEMPLAR DE BARATA-VERMELHA (*Periplaneta americana*).

FONTE: Rafael et al. (2008).

Os insetos da ordem Blattodea mais numerosos e capazes de digerir lignina e celulose presentes em resíduos vegetais são os cupins. Essa habilidade se deve à presença dos microorganismos simbiotes que habitam o seu intestino, entre eles protistas intestinais e bactérias que auxiliam na fixação de nitrogênio e carbono. Esta relação é reconhecida há 200 anos e pesquisada há pelo menos um século (Correia, 2014; Tokuda et. al., 2014; Sharma et al., 2020).

Os cupins são insetos com 4 a 12 mm, presentes em todos os continentes. Já foram descritas 2761 espécies distribuídas em 7 famílias (Sharma et al., 2020). Apesar do pequeno tamanho, estes animais consomem cerca de 3-7 bilhões de toneladas de lignocelulose anualmente.

Embora exista uma grande quantidade de estudos sobre o potencial dos cupins para aumentar a fertilidade do solo, pesquisas que envolvem o potencial de cupins no reaproveitamento de resíduos orgânicos ainda são incipientes (Sharma et al., 2020).

4.4.4 Subfiló Hexapoda - Classe Insecta – Ordem Orthoptera

A ordem Orthoptera é composta por gafanhotos, grilos, esperanças e paquinhas. São insetos com tamanho variando entre 5 e 150 mm de comprimento, hábitos terrestres, com aparelho bucal mastigador, predominantemente fitófagos, raramente predadores (Morales-Ramos et al., 2014).

O Grilo-doméstico (*Acheta domesticus*) é uma das espécies de ortóptera criadas para fornecimento a animais domésticos ou cativos (Morales-Ramos et al., 2014). Originário da Europa, hoje pode ser encontrado em outros continentes.

Quanto à reprodução, as fêmeas de *Acheta domesticus* costumam escolher solos arenosos e argilosos com alto teor de umidade para oviposição, o que facilita o desenvolvimento dos ovos, que eclodem após 13 dias. Os adultos vivem de 70 a 90 dias, podendo chegar a 257 dias. *Acheta domesticus* é tipicamente cinza ou castanho claro, cresce até 16–21 mm de comprimento e tem asas traseiras longas quando adulto (Lyn et al., 2012; Diehl et al., 2014). Um grilo encontrado em madeira em decomposição na região metropolitana de Curitiba é apresentado na figura 6, como exemplo.

FIGURA 6: NINFA DA ORDEM ORTHOPTERA LOCALIZADA EM MADEIRA EM DECOMPOSIÇÃO.



FONTE: A autora (2021).

Gafanhotos da espécie *Locusta migratoria* (Linnaeus, 1758) (Orthoptera: Acrididae) também são uma fonte de alimento comum no comércio de animais de estimação. Por se tratar

de uma espécie originalmente de regiões desérticas, podem ser criados em condições de maior temperatura e menor umidade. Sua dieta consiste basicamente em matéria vegetal, sendo esta também a sua fonte de água. Consume grandes quantidades de alimento e pode, inclusive praticar canibalismo. As fêmeas realizam oviposição geralmente em areia úmida. Os ovos eclodem após 10 dias e as ninfas levarão cerca de dois meses para se tornar um animal adulto (Diehl et al., 2014).

4.4.5 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta – Ordem Lepidoptera

Lepidoptera é a segunda maior e mais diversa ordem na classe Insecta, sendo amplamente difundida e popularmente reconhecida. É composta, principalmente, por borboletas e mariposas, divididas em 126 famílias (Perveen & Khan, 2017).

Os insetos da ordem Lepidoptera são holometábolos, ou seja, sofrem metamorfose completa. O dimorfismo sexual é muito comum em lepidópteros, sendo observado em famílias como Pieridae, Nymphalidae, Papilionidae e Psychidae (Perveen & Khan, 2017).

Os adultos normalmente saem prontos da pupa para a reprodução, apresentam vida curta e muitas espécies não se alimentam nesta fase. As lagartas são bastante móveis e capazes de escalar superfícies e os adultos, com exceção de algumas espécies de bicho-da-seda, são capazes de voar (Diehl et al., 2014).

Entre as espécies da ordem Lepidoptera, muitas são conhecidas por gerar prejuízos a produtores rurais. *Ephestia kuehniella*, a mariposa-da-farinha, é um inseto cosmopolita que se alimenta de produtos armazenados e subprodutos de cereais, como farinha e outros produtos secos. Por suas propriedades nutricionais, os ovos desta espécie são usados como uma fonte de alimento artificial para a criação em larga escala de predadores de insetos-praga e parasitóides (Riudavets et al. 2020).

Outra espécie problemática para o cultivo de grãos é *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae). Exótica no Brasil, vem gerando problemas para produtores de milho, soja e algodão. Porém, estudos de Dar et al. (2018) mostraram que cepas da bactéria *Klebsiela sp.* no intestino das larvas são capazes de decompor lignocelulose, podendo ser utilizadas na produção de biocombustíveis. Outra espécie com potencial em biotransformação de resíduo vegetal e uso em biocombustíveis foi *Scirpophaga incertulas* Walker, 1863 (Lepidoptera: Crambidae) (Bashir et al., 2013).

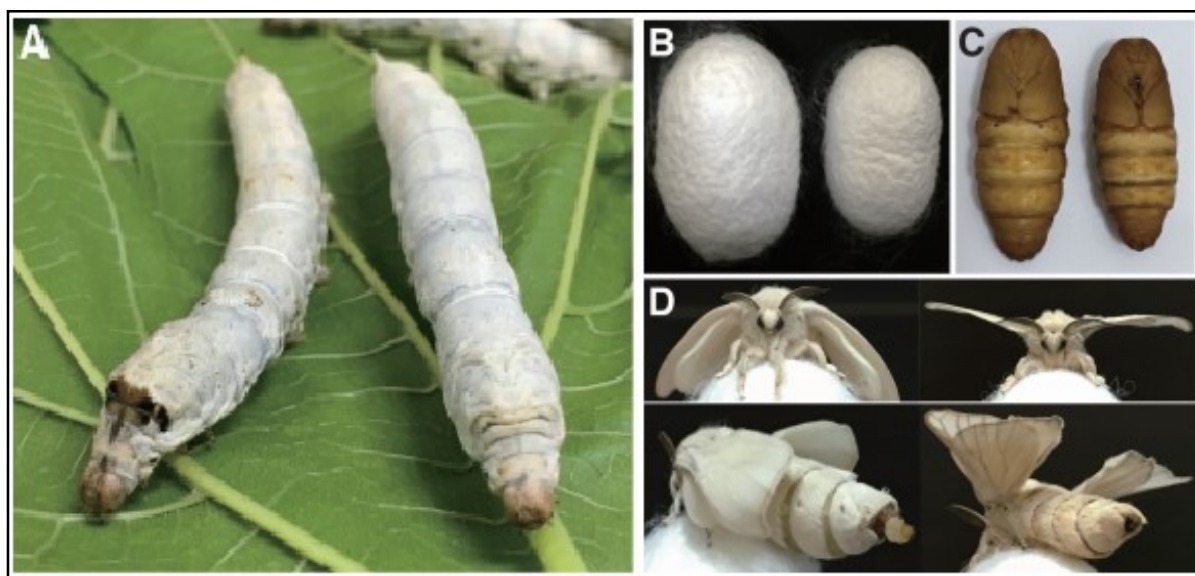
O bicho-da-seda (*Bombyx mori*), uma espécie de mariposa, é o único inseto considerado completamente domesticado. Foi originado a partir do seu homólogo selvagem *Bombyx*

mandarina e vem sendo explorado para a produção de seda há mais de cinco mil anos (Callegari, 2017; Katsuma et al., 2018). Até a descoberta de *Drosophila melanogaster*, era considerado o organismo modelo para estudos genéticos. Hoje também é consumido como alimento no Japão e na China (Diehl et al., 2014), onde existem 10 milhões de produtores desta espécie (Callegari, 2017).

Bombyx mori alimenta-se, principalmente, de folhas de amoreira. Sua criação em cativeiro com outros resíduos vegetais necessita de suplementação com aminoácidos. Além da produção de seda, as pupas descartadas podem ser usadas como fonte de alimento para animais de criação e pessoas, em função do seu alto valor nutricional (Morales-Ramos et al., 2014).

As larvas de *Bombyx mori* levam de 20 a 30 dias para se desenvolver. A confecção do seu casulo ocorre nos seus três últimos dias de desenvolvimento. O período de pupa dura entre duas a três semanas. Os adultos saem prontos para a reprodução, porém não tem a capacidade de voar e não necessitam de alimentação. As fêmeas põem até 350 ovos que eclodem após três semanas (Diehl et al., 2014). Os estágios de desenvolvimento de *Bombyx mori* são apresentados na figura 7.

FIGURA 7: ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE *Bombyx mori*. A) LARVAS EM V INSTAR. B) CASULO. C) PUPA. D) ADULTO.



FONTE: Katsuma et al. (2018).

4.4.6 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta – Ordem Diptera

Os insetos da ordem Diptera são muito utilizados para fins de bioconversão, pelo fato de apresentarem ciclo de vida curto e se alimentarem de diversos subprodutos de origem humana e animal (Kenis et al., 2018). Há mais de 40 anos existem inovações técnicas relativas a bioconversão de esterco animal usando larvas de dípteros (Wang et al., 2013).

As duas espécies da ordem Diptera mais comumente utilizadas para fins de bioconversão são *Hermetia illucens* e *Musca domestica*. Embora a biologia de *Musca domestica* seja conhecida e estudada há mais tempo, é provável que hoje haja menos utilização e pesquisas em relação a esta espécie, tendo em vista seu potencial na transmissão de doenças (Kenis et al., 2018; Parry et al., 2019).

4.4.6.1 Família Muscidae

As moscas da família Muscidae são as mais comumente encontradas em ambientes antrópicos e representam cerca de 91% de todas as moscas presentes em habitações humanas, sendo insetos amplamente distribuídos em todo o mundo. São encontradas em diferentes tipos de resíduos urbanos e rurais, não sendo bem vistas pelo ser humano, principalmente em função das doenças a que estão associadas (Zheng & Zhou, 2013).

Originária de savanas do centro asiático, a mosca-doméstica [*Musca domestica*] hoje está distribuída em todos os continentes (Ileke et al., 2020). Apresenta um ciclo de vida curto, com tempo médio de 7 a 10 dias em condições ótimas, podendo chegar a 49 dias em locais frios. A 25-30°C, condição ideal para a espécie, uma fêmea produz entre 500 a 700 ovos, podendo chegar a 2.000 ovos. A oviposição ocorrerá 4-20 dias após a cópula, em substrato úmido e no escuro. A eclosão dos ovos se dá após 12 a 15 horas. O desenvolvimento das larvas ocorre em 3 instares por 4 a 5 dias, sendo necessários 5 a 6 dias para a pupa se tornar um adulto (Diehl et al., 2014; Čičková et al., 2015; Niu et al., 2016; Hasan & Leong, 2018).

Autores como Ileke et al. (2020) e Wang et al. (2013) relatam o uso de *Musca domestica* em Entomologia Forense, manejo de resíduos, produção de biomassa, além de fins medicinais. A figura 8 apresenta larvas e pupas de moscas presentes em composteira.

FIGURA 8: LARVAS (A) E PUPAS (B) DE MOSCAS EM COMPOSTEIRA.



FONTE: A AUTORA (2021).

Musca autumnalis De Geer, 1776 (Diptera: Muscidae) é outra espécie desta família que pode ser utilizada em bioconversão. Porém, seu potencial para transmissão de doenças em animais de produção reduz a quantidade de estudos a seu respeito. As larvas utilizam esterco úmido, de preferência bovino, como substrato e alimento (Čičková et al., 2015), enquanto os adultos se alimentam de sangue, na natureza (Diehl et al., 2014).

O ciclo de vida se assemelha ao de *Musca domestica*, porém *Musca autumnalis* é muito mais sensível a variações de temperatura, sendo o ideal entre 25 e 30°C (Čičková et al., 2015).

4.4.6.2 Família Stratiomyidae

A principal representante da família Stratiomyidae é a mosca-soldado (*Hermetia illucens*), também conhecida pela sigla BSF, ou *black soldier fly*, espécie atualmente com grande número de publicações relacionadas a bioconversão de resíduos orgânicos e produção de proteína, nos últimos trinta anos (Diener et al., 2011; Kenis et al., 2018). Segundo Bosch et al. (2020), entre os anos 2002 e 2016 havia 124 publicações na *Web of Science*. Entre 2017 e 2018, esse número aumentou para 173, ou seja, em dois anos, foram publicados mais artigos que nos quinze anos anteriores.

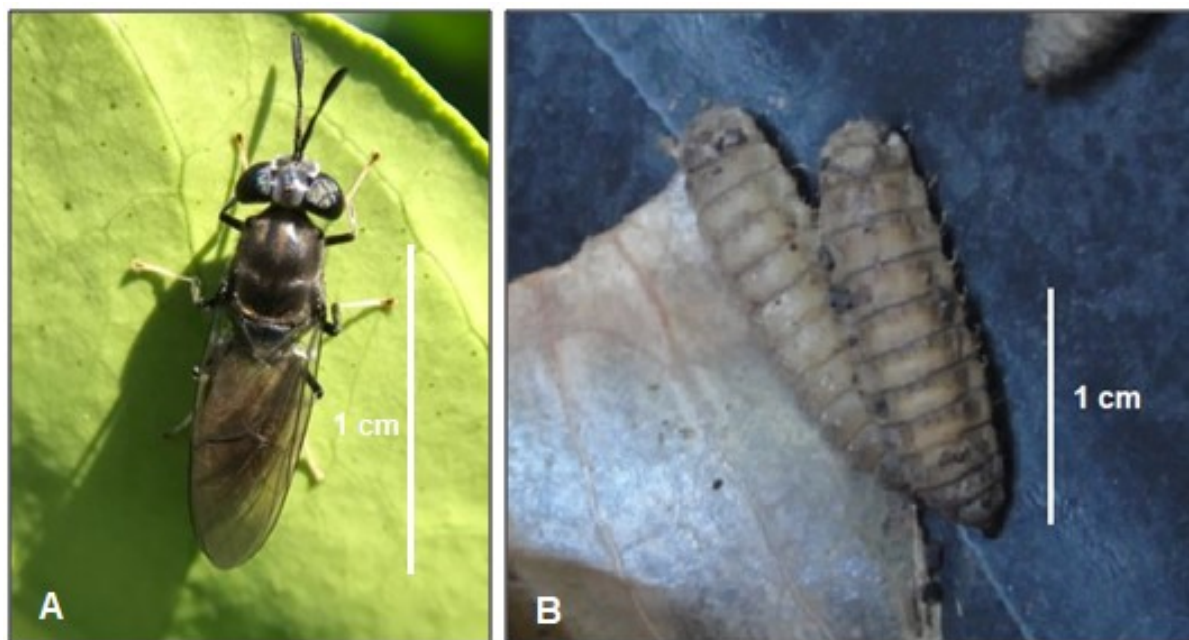
Originária de áreas tropicais e subtropicais da América, hoje está distribuída em outros continentes. As larvas de *Hermetia illucens* apresentam hábitos saprófitas, ou seja, se alimentam de matéria orgânica em decomposição, incluindo diferentes tipos de esterco, além de fru-

tas, vegetais e seus subprodutos (Diehl et al., 2014; Ushakova et al., 2018; Parry et al., 2019). Em 1997, Sheppard desenvolveu o primeiro sistema para tratamento de esterco usando *Hermetia illucens* (Liu et al., 2019).

O período de desenvolvimento de *Hermetia illucens* dura entre 20 e 35 dias em condições ótimas, podendo chegar a 4 meses em locais frios (Lohri et al., 2017). Existem diferentes relatos em relação à capacidade reprodutiva das fêmeas: Salomone et al. (2017) reporta 900 ovos; Ståhls et al. (2020), 300 a 1.000 ovos; outros autores informam médias entre 200-600 ovos (Čičková et al., 2015; Surendra et al., 2016; Singh & Kumari, 2019; Wong et al., 2019). A oviposição ocorre uma única vez, normalmente em fendas, a temperaturas normalmente acima de 26°C. Os ovos eclodem após 4 dias, em condições ótimas. As larvas apresentam 6-7 ínstaes e atingem entre 18 e 30 mm de comprimento em 14 a 22 dias de desenvolvimento. A pupa pode levar até 14 dias para se transformar em adultos e estes sobrevivem por cerca de 10 dias. O acasalamento inicia dois dias após a metamorfose do adulto. (Čičková et al., 2015; Surendra et al., 2016; Salomone et al., 2017; Singh & Kumari, 2019; Wong et al., 2019; Ståhls et al.; 2020).

A pupa e o adulto de *Hermetia illucens* são mostrados na figura 9.

FIGURA 9: *Hermetia illucens*. A) ADULTO. B) PUPA.



FONTE: A) gbif.org. Liz Carregarian (2021). B) A autora (2021).

4.4.6.3 Outras famílias da ordem Diptera

Muitas espécies de moscas da família Calliphoridae com importância em biotransformação são sinantrópicas e cosmopolitas. As larvas da maioria das espécies desta família apresentam hábito saprófago, podendo ser alimentadas com carne fresca ou em decomposição, além de esterco animal. Também por esse motivo, são insetos de grande preocupação médica, veterinária e apresentam utilidade em Entomologia Forense (Cickova et al., 2015; Ulanova et al., 2020).

Entre algumas espécies relacionadas com estudos em bioconversão, podemos citar *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) (Diptera: Calliphoridae), *Chrysomya chloropyga* (Wiedemann, 1818) (Diptera: Calliphoridae), *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) (Diptera: Calliphoridae) e *Chrysomya putoria* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Calliphoridae).

As fêmeas ovopositam 2.000–3.000 ovos ao longo da vida em locais úmidos associados a recursos apropriados para o desenvolvimento larval. Após a eclosão, desenvolvem em média 3 instares larvais e o ciclo de vida completo da maioria das espécies leva de 2 a 3 semanas, podendo ser mais curto em temperaturas mais altas (Ulanova et al., 2020). Trata-se de uma família de moscas consideradas de fácil criação em condições de laboratório. (Parry et al., 2019).

O gênero *Lucilia* constitui um pequeno grupo de moscas-varejeiras, sendo *Lucilia sericata* frequentemente observada em estudos relativos a bioconversão. Tal espécie pode ser considerada cosmopolita, embora seja mais comumente encontrada no norte da Europa, Austrália e África do Sul. As larvas desta espécie são utilizadas para fins médicos devido à sua capacidade de remover tecido necrótico. Porém, os adultos podem ser vetores de doenças de importância médico veterinária. Em função de seus hábitos, pode ser utilizada na biotransformação de resíduos contendo carne (Ulanova et al., 2020).

As moscas da Família Sarcophagidae também podem ser utilizadas em biotransformação de resíduos, tendo em vista seus hábitos saprófagos. *Sarcophaga carnaria* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Sarcophagidae) em ambiente natural foi observada realizando comportamento parasitóide em minhocas. Também existem relatos de visitação desta espécie em fezes, flores e carniça (Čičková et al., 2015).

As larvas de *Sarcophaga carnaria* se desenvolvem ao longo de 7 dias, em 3 instares. Em seguida permanecem em estágio de pré-pupa por aproximadamente 5 dias sem se alimentar e então se enterram na própria fonte de alimento, onde se transformam em pupa. A fase de pupa

dura em torno de 20 dias. A fêmea adulta pode ovipositar em torno de 150 ovos (Diehl et al., 2014).

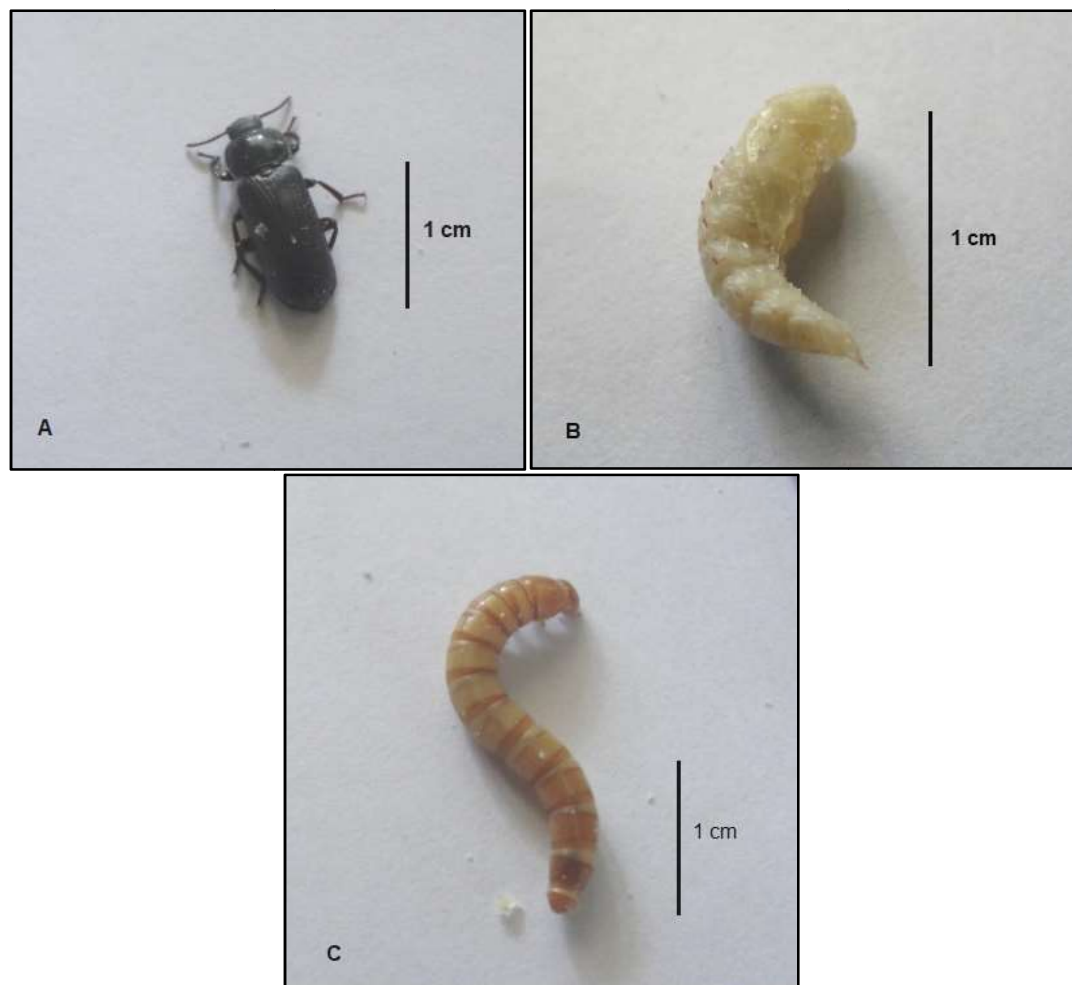
4.4.7 Subfilo Hexapoda - Classe Insecta - Ordem Coleoptera

Coleoptera é a ordem mais representativa entre os insetos, com mais de 400.000 espécies atualmente descritas (Matos et al., 2017). Uma das famílias mais representativas desta ordem é Tenebrionidae, conhecida por apresentar espécies relacionadas com o consumo de grãos e produtos farináceos armazenados, sendo considerada problemática para o setor produtivo (Tavares, 2020). Algumas espécies de Tenebrionidae com maior relevância e estudos relativos a bioconversão serão apresentadas a seguir.

Tenebrio molitor, o besouro-da-farinha, é uma espécie popularmente conhecida desde o início do século XX por ser rica em proteínas e nutrientes, sendo fornecida para animais insetívoros cativos, como aves, répteis, peixes e anfíbios (Li et al., 2020). Trata-se de um besouro de origem européia, porém hoje considerado cosmopolita, encontrado com frequência na indústria de grãos e subprodutos farináceos, onde costuma habitar e se alimentar, gerando prejuízos (Wood, 2017; Loreto, 2019; Tavares, 2020; Silva et al., 2021). Foi a primeira espécie aprovada para consumo humano, em 2015, pela União Européia, o que proporcionou um aumento no número de pesquisas relacionadas com sua criação e propriedades de bioconversão, nos últimos anos (Li et al., 2020; Rumbos et al., 2021; Silva et al., 2021).

O ciclo de vida de *Tenebrio molitor* varia de 120 a 630 dias, a depender das condições de criação. As larvas eclodem após 10 a 12 dias, apresentam entre 8 a 20 ínstars, se desenvolvendo por 2 a 4 meses, podendo chegar a 18 meses. A média de desenvolvimento das pupas varia entre 10 a 14 dias. Os adultos apresentam tempo médio de vida de 2 meses e as fêmeas podem gerar uma prole de 600 ovos. Sua dieta tem por base alimentos secos como farelos e farinhas de diferentes grãos, suplementados com verduras e frutas, como fonte de umidade. A larva madura apresenta coloração marrom clara, tem 20 a 32 mm de comprimento e pesa 130 a 160 mg (Diehl et al., 2014; Makkar et al., 2014; Tavares, 2020). As fases de desenvolvimento de *Tenebrio molitor* são apresentadas na Figura 10.

FIGURA 10: *Tenebrio molitor* EM TRÊS FASES DE DESENVOLVIMENTO. A) BESOIRO ADULTO. B) PUPA. C) LARVA.



FONTE: A autora (2021).

Apesar de serem conhecidos há décadas, principalmente por criadores que os utilizam como fonte de alimento para animais silvestres cativos, os besouros da espécie *Zophobas morio*, também chamados popularmente de tenébrios-gigantes, vem sendo pesquisados com maior frequência desde a década de 1970. Trata-se de uma espécie originária das Américas Central e do Sul, porém que hoje pode ser encontrada também em países da Europa e da Ásia (Rumbos & Athanassiou, 2021).

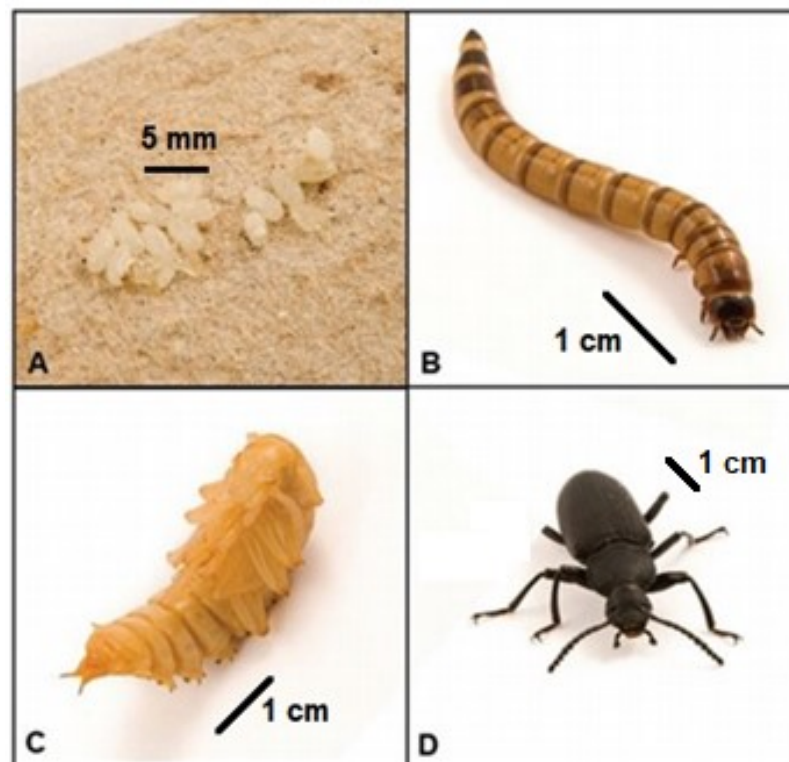
Em relação ao ciclo biológico, suas larvas eclodem, em média, após 8 dias em temperaturas próximas a 25°C e chegam a 55 mm de comprimento. O número e o tempo de duração dos instares larvais dependem de fatores como temperatura, umidade e densidade de animais. Por exemplo, larvas criadas sozinhas podem levar mais tempo para se desenvolver, apresentando entre 11 e 18 instares. Por outro lado, em casos de superlotação, as larvas não conseguem empupar, embora continuem realizando mudas larvais até a morte. Isso se deve, provavelmente,

ao estímulo mecânico entre as larvas, que gera comportamento de defesa contra canibalismo larva-pupa. O tempo de pupa varia entre 13 a 15 dias. Quanto menor a pupa e maior a temperatura, mais rápida será a metamorfose (Rumbos & Athanassiou, 2021).

Seus hábitos alimentares são muito semelhantes aos de *Tenebrio molitor*, embora existam relatos da presença de *Zophobas morio* em guano de morcegos frugívoros e em resíduos orgânicos (Rumbos & Athanassiou, 2021).

Os adultos podem chegar a 57 mm de comprimento, apresentam antenas filiformes e a superfície do élitro é pontuada com nove filas de perfurações com cerdas. A expectativa de vida do adulto chega a 6 meses (Rumbos & Athanassiou, 2021). Os estágios de vida de *Zophobas morio* são apresentados na figura 11.

FIGURA 11: ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE *Zophobas morio*. A) OVOS. B) LARVA. C) PUPA. D) ADULTO.



FONTE: Adaptado de Rumbos & Athanassiou (2021).

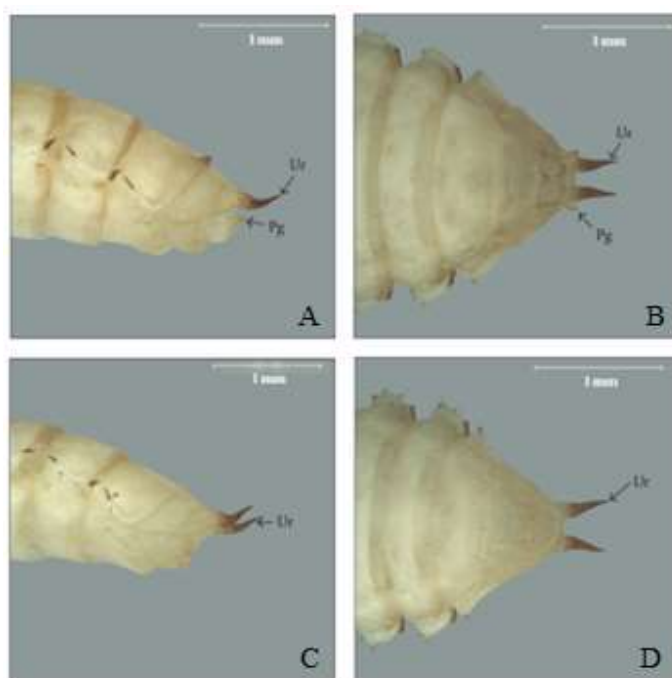
Alphitobius diaperinus Panzer, 1797 (Coleoptera: Tenebrionidae), o tenébrio-pequeno ou besouro-do-lixo, é outra espécie da família Tenebrionidae. Originária de regiões próximas às savanas africanas, é uma espécie sinantrópica conhecida por habitar granjas de frango, onde se alimenta de esterco, restos de ração e matéria orgânica residual (van Broekhoven et al., 2015),

podendo também ser encontrada em locais de armazenamento de grãos (Rumbos & Athanassiou, 2021). Hoje apresenta distribuição mundial, sendo o Brasil um dos países que sofre com os prejuízos gerados por esta espécie, principalmente na criação de frangos (Rumbos et al., 2018).

A eclosão das larvas ocorre em 3 a 7 dias, em temperaturas que variam de 18 a 35°C. O período larval pode durar de 1 a 7 meses, com 6 a 11 mudas. O período de pupa dura, em média, 4 a 14 dias. Os adultos podem viver por até um ano. Uma fêmea produz entre 1.000 e 1.800 ovos durante o seu ciclo reprodutivo. Larvas de *Alphitobius diaperinus* medem entre 12 e 19 mm de comprimento, enquanto os adultos variam entre 5,5 e 8 mm. O ciclo de vida se completa em 30 a 80 dias, a depender das condições de temperatura e umidade (Rumbos et al., 2018).

Da mesma forma que *Tenebrio molitor* e *Zophobas morio*, *Alphitobius diaperinus* apresenta dimorfismo sexual na fase de pupa, podendo ser separados machos e fêmeas através do reconhecimento de estruturas chamadas pigopódios, que se projetam no nono segmento abdominal das pupas fêmeas, e não estão presentes nos machos, conforme se observa na Figura 12. (Rumbos et al., 2018; Esquivel et. al., 2012).

FIGURA 12: ESTRUTURAS OBSERVADAS PARA SEXAGEM DE *Alphitobius diaperinus*. A) PUPA FÊMEA EM VISTA LATERAL COM DETALHE DO PIGOPÓDIO SALIENTE. B) PUPA FÊMEA EM VISTA VENTRAL COM DETALHE DO PIGOPÓDIO SALIENTE. C) E D) VISTAS LATERAL E VENTRAL, RESPECTIVAMENTE, DE UMA PUPA MACHO SEM PIGOPÓDIO.



FONTE: Adaptado de Esquivel et. al., 2012.

Existem estudos como os de Rojas-Jiménez & Hernández (2015) e Matos et al. (2017), em que são analisados coleópteros de famílias menos comumente pesquisadas em relação ao uso em biotransformação, como Scarabaeidae, Passalidae, Cerambycidae e Elateridae, por exemplo, mas que apresentam grande importância em função de seus hábitos xilófagos.

4.5 CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE CADA GRUPO DE ARTRÓPODES BIOTRANSFORMADORES

A seguir, serão apresentadas peculiaridades a nível de classe, ordem e/ou espécie de artrópodes indicados no uso de bioconversão de resíduos orgânicos, conforme disponibilidade encontrada no material pesquisado. O objetivo é tentar estabelecer critérios de comparação relativos a vantagens quanto a criação e bioconversão.

4.5.1 Aspectos bromatológicos

Conforme já foi mencionado no item 3.3 deste trabalho, existem muitas variações na constituição nutricional dos artrópodes, principalmente quando são avaliadas diversas espécies criadas em condições diferentes (Ravi et al., 2020).

Um dos componentes que mais constam nos estudos observados é a porcentagem de proteína. Nos insetos, as proteínas apresentam alto valor nutricional pois contém altos níveis de aminoácidos essenciais, incluindo lisina, triptofano e metionina, ao contrário dos cereais, que apresentam baixos teores destes aminoácidos (Riudavets et al., 2020). Além disso, os níveis de ferro, zinco, cobre, manganês e selênio dos insetos são capazes de atender às necessidades diárias da maioria dos animais (Ooninx & Finke, 2020).

As larvas de mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) apresentam um perfil de aminoácidos essenciais semelhante à farinha fornecida para peixes. Por isso, Lanes et al. (2021) recomendam BSF como substituto para alimentação em peixes, embora, comparativamente, as seis espécies de artrópodes avaliadas neste estudo tenham apresentado valores semelhantes, conforme tabela 3.

A tabela 4 tem por base dados de revisão realizada por Rumbos et al. (2018), em que foram comparadas as taxas de proteína e gordura de determinados insetos com os de farinhas de peixe e de soja. Em sua maioria, as taxas encontradas nos insetos se mantêm próximas às dos alimentos fornecidos a animais.

TABELA 3: QUANTIDADES DE LISINA OBSERVADAS EM SEIS ESPÉCIES DE INSETOS, COMPARADAS COM AS NECESSIDADES NUTRICIONAIS E COM ALIMENTOS FORNECIDOS A PEIXES E CAMARÕES.

NECESSIDADES	LISINA (g/N)
Peixes	4,0-6,0
Camarões	5,2-5,8
COMPOSIÇÃO	
<i>Hermetia illucens</i>	5,4-6,6
<i>Acheta domestica</i>	5,4-5,8
<i>Gryllus assimilis</i>	4,8
<i>Tenebrio molitor</i>	5,4
<i>Musca domestica</i>	5,5-6,1
<i>Alphitobius diaperinus</i>	6,5
Farinha de peixe	7,0-7,5
Farinha de soja	6,1-6,3

FONTE: ADAPTADO DE Lanes et al. (2021)

TABELA 4: TEORES DE PROTEÍNA E GORDURA PRESENTES EM DIFERENTES INSETOS *IN NATURA* E EM PRODUTOS PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL.

ESPÉCIE	% PROTEÍNA	% GORDURA
Mosca-soldado-negra (<i>Hermetia illucens</i>)	41,1-47,6	11,8-36,1
Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	38,9-79,9	1,6-25,7
Grilo-doméstico (<i>Acheta domesticus</i>)	55-73,6	7,9-22,8
Tenébrio-pequeno (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	58-65	13,4-29
Besouro-da-farinha (<i>Tenebrio molitor</i>)	45,1-67,6	14,8-43,1
PRODUTO		
Farinha de peixe	62-70	8,9-9,3
Farinha de soja	43-47	1,5-1,9

FONTE: ADAPTADO DE Rumbos et al. (2018).

Finke et al. (2020) também fizeram uma compilação de dados, a fim de verificar as propriedades nutricionais de determinadas espécies de invertebrados que apresentariam potencial ou que já são utilizadas na alimentação animal, principalmente em aves de cativeiro.

A tabela 5, a seguir, mostra alguns valores de proteína bruta e gordura presentes em invertebrados, tendo havido o cuidado de ajustar valores pelo autor, para que a comparação pudesse ocorrer de forma fidedigna (Finke et al., 2020).

Rumbos et al. (2018) também compararam a quantidade de proteína em g/kg de massa seca em produtos de origem animal, plantas e cereais, com as necessidades diárias de algumas espécies, conforme consta na tabela 6.

TABELA 5: TEORES DE PROTEÍNA E GORDURA PRESENTES EM DIFERENTES INVERTEBRADOS APÓS PROCESSAMENTO.

ESPÉCIE	% PROTEÍNA	% GORDURA
Mariposa-da-cera (<i>Galleria mellonella</i>) - larva	14,1	24,9
Tenébrio (<i>Tenebrio molitor</i>) - larva	18,7	13,4
Tenébrio-gigante (<i>Zophobas morio</i>) - larva	19,7	17,7
Mosca-solcado-negra (<i>Hermetia illucens</i>) - larva	17,5	14
Grilo (<i>Acheta domestica</i>) - adulto	20,5	6,8
Grilo (<i>Acheta domestica</i>) - ninfa	15,4	3,3
Bicho-da-seda (<i>Bombyx mori</i>) - larva	9,3	1,4
Barata-vermelha (<i>Blatta lateralis</i>) - ninfa	19	10
Barata-pintada (<i>Eublaberus distantis</i>) - adulto	26,3	13,6
Mosca-da-fruta (<i>Drosophila melanogaster</i>) - adulto	21	5,9
Tatuzinho-de-jardim (<i>Armadillidium vulgare</i>)	13,3	3,7
Minhoca (<i>Lumbricus terrestris</i>)	10,5	1,6

FONTE: ADAPTADO DE Finke et al. (2020).

TABELA 6: COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE PROTEÍNA ENTRE INSETOS E ALIMENTOS PARA HUMANOS E ANIMAIS.

TIPO DE ALIMENTO HUMANO	TEOR DE PROTEÍNA (g/kg em matéria seca)
Média (várias espécies de insetos)	220-770
Carne bovina	640
Carne suína	730
Carne de peru	660
Carne de frango	860
Carne de peixe	850
TIPO DE ALIMENTO PARA ANIMAIS	TEOR DE PROTEÍNA (g/kg em matéria seca)
Ração a base de insetos	420-750
Cereais	100-200
Legumes	180-450
Plantas oleaginosas	170-540
Subprodutos de origem animal	400-900
Ração de peixe	710-790
ANIMAIS DE PRODUÇÃO	NECESSIDADES (g/kg alimento)
Suínos	140-240
Frangos	190-230
Galinhas poederias	160
Perus	180-300
Gado leiteiro	95-190
Peixes carnívoros	400-600
Peixes onívoros/herbívoros	300-450

FONTE: ADAPTADO DE Rumbos et al. (2018).

Pode-se notar uma diferença nos valores das duas tabelas (4 e 5), tendo em vista o tipo de análise realizada. Em Rumbos et al. (2018), foram apresentados os valores dos animais *in natura* e em Finke et al. (2020), os valores foram ajustados após processamento. Porém, na maioria das espécies, as taxas de proteína estão acima de 10%, havendo maior variação na porcentagem de gordura.

Hermetia illucens é uma espécie que pode se alimentar de uma grande diversidade de resíduos orgânicos, mantendo níveis elevados de proteína em seu organismo (Pamintuan et al., 2019). Foram realizadas comparações em relação a esta espécie, conforme literatura apresentada na tabela 7, mostrando os valores relativos de proteína, gordura e quitina presentes em diferentes estágios de desenvolvimento de BSF criadas com substratos variados.

TABELA 7: TAXAS DE PROTEÍNA, GORDURA E QUITINA PRESENTES EM *Hermetia illucens* EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE VIDA E ALIMENTADAS COM DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS.

ALIMENTO	FASE DE VIDA	PROTEÍNA	GORDURA	QUITINA	REFERÊNCIA
NA (adquirida)	Pré-pupa	32%	37%	9%	Caligiani et al. (2018)
Ração de frango (21% PB)	Pré-pupa	46,20%	28,40%	NA	Liu et al. (2017)
Miúdos de peixe	Larva	38,95%	10,08%	NA	Pamintuan et al. (2019)
Restos de vegetais	Larva	31,95%	40,55%	NA	Pamintuan et al. (2019)
Ração de frango	Larva	34,75%	17,25%	NA	Pamintuan et al. (2019)
Restos de frutas e verduras (10% PB)	Larva de V instar	36,70%	32,97%	19,16% (estimado)	Giannetto et al. (2020)
Restos de frutas e verduras (10% PB)	Pré-pupa	39,88%	30,80%	22,97% (estimado)	Giannetto et al. (2020)
Esterco de galinha, grãos usados da cervejaria e resíduos de cozinha (12 a 20% PB)	Larva	33-41%	30-34%	NA	Shumo et al. (2019)

FONTE: COMPILAÇÃO PRÓPRIA.

Os teores de gorduras e o tipo de ácidos graxos presentes nos artrópodes são importantes, principalmente, quando o objetivo é o uso para produção de alimentos e biodiesel. A quantidade de gordura em *Hermetia illucens* é muito variável, como se pode observar na tabela 7, a partir de estudos de Pamintuan et al. (2019), realizados com larvas de mesma idade em condições semelhantes de temperatura e umidade, apenas variando o substrato fornecido. Outra grande variação está entre os estágios de desenvolvimento: larvas criadas com o mesmo alimento apresentaram 17,25% de gordura, enquanto pré-pupas, 28,4% do mesmo nutriente.

Ainda em relação a lipídios, Surendra et al. (2016) obtiveram, através de criação experimental de larvas de *Hermetia illucens* (BSFL) com resíduos de uma cafeteria, os seguintes valores aproximados: 67% de ácidos graxos saturados (AGS), 15% de ácidos graxos monoinsaturados (AGM).

turados (AGM) e 13% de poliinsaturados (AGP). Em comparação com óleo de soja (15% - AGS; 25% - AGM; 60% - AGP) e óleo de palma (45% - AGS; 46% - AGM; 9% AGP), também utilizados como matéria-prima para biodiesel, o óleo produzido com larvas de BSF apresenta elevados níveis de ácidos graxos saturados, sendo uma boa matéria-prima para tal finalidade.

Em *Tenebrio molitor*, a taxa de gordura em matéria seca pode variar de 14 a 43%, em animais criados com diferentes alimentos (Rumbos et al., 2018). Da mesma forma, *Acheta domestica*, em que a variação nos níveis de gordura vai de 9 a 44%. (Oonincx & Finke, 2020).

Carboidratos estão presentes em pequenas quantidades em insetos: *Tenebrio molitor*, por exemplo, apresenta de 1 a 7%. Uma parte significativa das fibras que compõem o organismo dos insetos é devida à presença de quitina do exoesqueleto. Apesar de representar uma massa relativa pequena proporcionalmente ao total do corpo dos artrópodes, trata-se de um elemento muito importante para o seu organismo e para quem o consome (Oonincx & Finke, 2020).

O complexo melanina-quitina pode ser encontrado em estágios finais de desenvolvimento de algumas espécies de insetos. Devido ao efeito sinérgico, a quitosana e a melanina podem aumentar a atividade biológica uma da outra, fornecendo uma ampla gama de aplicações potenciais (Khayrova et al., 2021). Na tabela 8 constam algumas espécies das quais já foram extraídas quitina, quitosana, melanina ou o complexo. As quantidades por espécie são apresentadas, embora possa haver variações de acordo com o método analítico (Oonincx & Finke, 2020).

TABELA 8: PRODUTOS EXTRAÍDOS DA CUTÍCULA DE ESPÉCIES DE INSETOS E SUA PORCENTAGEM RELATIVA DA CUTÍCULA.

Ordem	Espécie	Produto extraído	Quantidade
Hymenoptera	<i>Apis mellifera</i>	Quitina	18%
		Complexo Quitina-melanina	23%
		Complexo Quitosana-melanina	24%
Lepidoptera	<i>Bombyx mori</i>	Quitina; Quitosana	Quitina = 15–20% Quitosana = 70–80%
		Quitina	11,7–14,6%
Diptera	<i>Hermetia illucens</i>	Quitina; Quitosana	Quitina = 83–87%, Quitosana = 13–43%
		Complexo Quitosana-melanina	28%
		Quitina; Quitosana	Quitina = 4,8–5,4% Quitosana = 66–76%
Coleoptera	<i>Zophobas morio</i>	Quitina; Quitosana	Quitina = 4,8–5,4% Quitosana = 66–76%
Blattodea	<i>Periplaneta americana</i>	Quitina	13–18%

FONTE: ADAPTADO DE Khayrova et al., 2021.

4.5.2 Impactos ambientais

O uso de artrópodes na bioconversão de resíduos parece trazer mais benefícios do que problemas ambientais. Entre as implicações positivas, pode-se dizer que a criação de artrópodes emite menos gases de efeito estufa, necessita de menos água e exige menos espaço quando comparada à criação de bovinos, suínos e aves, havendo menor dependência de grandes áreas e recursos naturais. Esta alternativa também possibilita a exploração de uma ampla diversidade de plantas e resíduos orgânicos, além de valorizar produtos que apenas gerariam a sobrecarga de aterros sanitários (van Huis et al., 2013; Callegari, 2017; Fowles & Nansen, 2019; De Marchi et al., 2021).

Os sistemas de produção de carne, por outro lado, são alguns dos maiores geradores de impactos negativos ao meio: o desmatamento gerado pela alta demanda por terras e o uso excessivo do solo levam à sua erosão; a lixiviação provoca a contaminação de águas superficiais; estes fatores provocam perda de biodiversidade e aumentam os riscos à saúde pública (van Huis, 2015; Allegretti et al., 2018).

Além disso, 14% de todas as emissões de gases de efeito estufa estão relacionadas com a criação de gado, mais de um terço da produção mundial de cereais é usado como ração para a alimentação destes e de outros animais de produção (quantidade suficiente para alimentar pelo menos três bilhões de pessoas) e 68% dos sistemas agropastoris estão ocupados para esta finalidade (van Huis, 2015; Allegretti, 2018). Para cada quilograma de proteína animal são necessários aproximadamente 6 kg de proteína vegetal (van Huis, 2013). E a agricultura que produz grande parte do alimento dos animais de produção é responsável pelo uso de pelo menos 70% da água doce do planeta (Callegari, 2017).

Além da pecuária, a produção de peixes é outra indústria que cresceu muito e se tornou um grande concorrente por recursos alimentares. As rações de peixes carnívoros de cativeiro são produzidas a partir de farinha e óleo de peixe, sendo assim, responsáveis pelo consumo de quase 10% deste recurso alimentar (Law & Wein, 2018).

Autores como Salomone et al. (2017) sugerem o uso da “avaliação do ciclo de vida” para estimar os impactos ambientais gerados por espécies com uso potencial para bioconversão e, assim, tentar otimizar as fases, a fim de reduzir os danos e melhorar o desenvolvimento. Esta análise consiste na avaliação do potencial impacto ambiental associado ao processo produtivo, desde a extração e processamento da matéria-prima, até a fabricação, transporte, uso e descarte final (Salomone et al., 2017).

Guo et al. (2021) testaram o método de avaliação do ciclo de vida em *Hermetia illucens*, chegando ao total de gases gerados e demais impactos. Um montante de 15 toneladas de resíduos orgânicos municipais foi transformado em 6% de pré-pupas, 51% de composto residual e 43% foi correspondente a gases. Os autores concluíram que a maior parte dos gases foi resultante dos processos pós-compostagem, ou seja, na secagem e beneficiamento do produto.

A avaliação do ciclo de vida também foi verificada por Ravi et al. (2020) em projeto piloto para produção de BSF em escala industrial. De uma forma geral, os resultados indicaram menores impactos ambientais quando comparado à produção de rações tradicionais, sendo considerada uma forma potencial para produção de proteínas, fertilizantes e lipídios.

Hackstein e Stumm (1994 apud Salomone et al., 2017) avaliaram as emissões de metano por mais de 110 espécies de diferentes táxons de artrópodes terrestres. Verificou-se que 66 destas espécies não produzem metano, enquanto todos os representantes tropicais de Diplopoda, Blattodea e alguns de Coleoptera produzem este gás, em função da presença de bactérias metanogênicas em seu intestino (Salomone et al, 2017).

No entanto, grande parte das espécies de insetos criados comercialmente, como *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria*, além dos dípteros, por exemplo, se comparam mais favoravelmente do que o gado convencional, não apenas em termos de emissões diretas de GEE, mas também em termos de produção de amônia (van Huis, 2013; Salomone et al, 2017).

Um primeiro estudo de Pang et al. (2019) mostrou que 51% da produção de biocombustíveis a partir de larvas de *Hermetia illucens* correspondem a gases de efeito estufa. Na sequência, os mesmos pesquisadores descobriram que a adição de lodo contendo esterco suíno no substrato pode ser a solução que integra fermentação anaeróbia e larvas de mosca-soldado-negra. A partir dessa união, os ácidos graxos voláteis (AGV) e os resíduos orgânicos não precisam ser extraídos do caldo de fermentação e podem ser diretamente usados na produção de lipídios destinados para produção de biodiesel (Pang et al., 2019).

Isso foi comprovado por Kim et al. (2021) ao demonstrar que o aumento do pH observado quando da biotransformação realizada por *Hermetia illucens* em diferentes resíduos previamente fermentados gera maior fixação de carbono, tendo em vista que o CO₂ é convertido em carbonato. Estes pesquisadores também mostraram que a produção de biodiesel a partir de *Hermetia illucens* emite menos CO₂ quando comparada à compostagem convencional, que utiliza fertilizante à base de nitrogênio (Kim et al., 2021).

A redução no uso de água para a criação de insetos é outro fator importante. Pelo fato de estes animais conseguirem extrair dos alimentos toda a água necessária para sua sobrevivência, os resíduos alimentares podem ser sua única fonte hídrica (Callegari, 2017; Rumpold et al., 2017).

A menor necessidade de espaço e a rapidez na redução dos compostos orgânicos pela biotransformação realizada por alguns artrópodes também são aspectos positivos na questão ambiental. Em seu experimento, Niu et al. (2017) verificaram que 6 g de ovos de *Musca domestica* após a incubação poderiam converter 2,8 kg de resíduos de restaurante em quatro dias em 0,125 m³. Foi necessária apenas a adição de adjuvantes de baixo custo (farelo de painço, silagem de milho, farelo de trigo e serragem, esmagados grosseiramente) para aumentar o rendimento. Sendo assim, a disposição de 1 tonelada de resíduos alimentares só precisa de um espaço de 44,64 m³ e quatro dias para a sua bioconversão.

Outro exemplo é o apresentado por Salomone et al. (2017), em que *Hermetia illucens* transforma 10 toneladas de resíduo orgânico em 300 kg de larvas secas, em pouco mais que duas semanas, em um espaço de 0,661 m³.

Zhang et al. (2012) comparou os resultados de seu experimento com bioconversão de lodo municipal em *Musca domestica* ao de outros autores: enquanto a mosca-doméstica tem a capacidade de converter até 1,98 kg/m²/dia, oligoquetas aquáticas da espécie *Aulophorus furcatus* (Müller, 1773) (Haplotaxida:Naididae) consomem entre 0,140 e 0,180 kg/m²/dia e minhocas [*Eisenia foetida* (Savigny, 1826) (Classicitellata: Lumbricidae)] degradam até 0,247 kg/m²/dia.

Todos esses estudos mostram o quão eficazes, do ponto de vista ambiental, os artrópodes podem ser quando se fala em bioconversão.

4.5.3 Resíduos bioconvertidos

Os dois estudos mais antigos sobre bioconversão encontrados nesta revisão foram os de Ocio et al. (1979) em que moscas da espécie *Musca domestica* bioconverteram resíduos orgânicos municipais, sendo utilizadas, posteriormente, na alimentação de galinhas; e o estudo de Landé (1990) com *Hermetia illucens*, em que utilizou resíduos de café para criação em pequena escala.

O quadro 2 apresenta pesquisas realizadas por autores de todo o mundo com diferentes classes de artrópodes em condições variadas. São mostrados os tipos de substratos utilizados

para bioconversão em cada espécie e os respectivos resultados. Observa-se que em todos os experimentos com diplópodes e isópodes foram fornecidos substratos de origem vegetal, provavelmente pelo fato de fazerem parte da fauna edáfica, decompositores primários de serrapilheira (Correia, 2014). No entanto, trabalhos apresentados em revisão de literatura de Sharma et al. (2020) mostram o potencial que alguns grupos têm de consumir outros tipos de materiais. Os cupins, por exemplo, têm potencial até para consumo de plástico e papelão.

Muitos insetos apresentam a capacidade de degradar frações lignocelulósicas, como celulose, hemicelulose e lignina, através de enzimas endógenas em conjunto com aquelas produzidas por microorganismos endossimbiontes (Tokuda et al., 2014; Rajendran et al., 2018). Essa capacidade de biotransformação foi relatada em aproximadamente 70 espécies de insetos de oito ordens, sendo Coleoptera (besouros) e Blattodea (baratas e cupins) as mais conhecidas. (Rajendran et al., 2018). Pouco se sabe a respeito da microbiota com potencial de quebra de celulose por espécies da ordem Lepidoptera, embora pesquisadores como Dar et al. (2018) já tenham realizados pesquisas com esta finalidade.

Além da ação de microorganismos, enzimas como xilanase, α -amilase e celulase foram encontradas em amostras intestinais de *Glomeris marginata* Berlese, 1892 (Diplopoda: Glomerida) após tratamento bacteriostático, indicando que tais enzimas são produzidas por milípedes (Sridhar & Kadamannaya, 2009).

Os cupins promovem a decomposição e a reciclagem de matéria orgânica, proporcionando a manutenção de propriedades relativas a fertilidade e aeração do solo, decompõem raízes e partes mortas de plantas em pouco tempo, tornando-os disponíveis para outros decompositores. Por esses motivos, eles são considerados os principais artrópodes decompositores das regiões tropicais do planeta (Sharma et al., 2020).

Estes grupos podem ser úteis para outras espécies menos eficientes na decomposição de material rico em celulose e lignina, como as larvas de mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), por exemplo. Esta espécie também tem dificuldade para bioconverter determinados lodos de esgoto, sendo comum a adição de fermentados microbianos ou resíduos de soja ou leite que facilitam a absorção de nutrientes destes compostos e, assim, auxiliam e aumentam as taxas de desenvolvimento das moscas (Raksasat et al., 2020; Wong et al., 2020).

Tenebrio molitor e outros representantes da família Tenebrionidae preferem resíduos secos como farinhas e grãos em geral (Wang et al., 2017). Por isso, são capazes de degradar compostos ricos em celulose e lignina. Rojas-Jiménez & Hernández (2015) e Matos et al. (2017) também pesquisaram espécies de coleópteros com hábitos xilófagos. Sendo assim, di-

plópodes, cupins, baratas e coleópteros podem atuar em conjunto com BSF na biotransformação de resíduos vegetais

Wang et al. (2017) mostraram que larvas de BSF podem ser mais eficazes na bioconversão de compostos vegetais após a ação de *Tenebrio molitor*, ou seja, *Hermetia illucens* é uma espécie que pode se beneficiar pelo fato de ocorrer a disponibilização de nutrientes necessários, sendo possível otimizar o sistema e, assim, gerar um processo com menor impacto ambiental.

Além de compostos vegetais, resíduos contendo altas taxas de proteína e gordura animal também não são bem bioconvertidos por *Hermetia illucens* (Raksasat et al., 2020; Wong et al., 2020). Estudos contendo testes com diferentes resíduos e bioconversão nesta espécie são apresentados na quadro 3. Neste também constam os possíveis usos das larvas após processamento dos resíduos.

Musca domestica pode ser criada com uma boa diversidade de resíduos: carne, frutas, vegetais, leveduras, grãos, esterco fresco com pouco teor de fibra, alimentos processados e outros resíduos com elevado teor de proteína (Čičková et al., 2015; Niu et. al, 2016; Hasan & Leong, 2018). O esterco velho proporciona um ambiente anaeróbico que pode levar as larvas à morte. O ambiente escuro favorece o desenvolvimento das larvas (Diehl et al., 2014).

Wang et al. (2016) comprovaram, em seu estudo com *Musca domestica*, que a ação das larvas em esterco suíno geram aumento de pH, redução de volume em 60% em uma semana, porque provavelmente mantém os resíduos expostos para ação de microorganismos (Wang et al., 2016).

Outras larvas de moscas, como as dos gêneros *Sarcophaga* e *Chrysomya* podem ser alimentadas com carne fresca e em decomposição. Quatro espécies da família Calliphoridae foram testadas por Parry et al. (2019) e apresentaram bom desenvolvimento em resíduos de cozinha, resíduos de matadouro e esterco suíno.

O Grilo-doméstico (*Acheta domesticus*) é uma espécie onívora capaz de se alimentar de uma ampla variedade de materiais orgânicos, embora apresente baixo desenvolvimento em dietas compostas exclusivamente por matéria vegetal (Diehl et al., 2014).

Riudavets et al. (2020) realizaram experimentos com *Ephestia kuehniella*, a mariposa-da-farinha, para bioconversão de resíduos de cervejarias, de granjas e de fábricas de rações. Tais resíduos geraram alta mortalidade nesta espécie.

O quadro 2 apresenta outras espécies e tipos de compostos que estas podem bioconverter.

QUADRO 2: PESQUISAS REALIZADAS COM ARTRÓPODES MOSTRANDO OS TIPOS DE SUBSTRATO UTILIZADOS EM BIOCONVERSÃO E RESULTADOS.

Referências (REF): (1) Schubert (2017); (2) Silva (2017); (3) Lebedev et al. (2020); (4) Antunes et al. (2019); (5) Correia (2014); (6) Diener (2011); (7) Parry et al. (2019); (8) Ulanova et. al. (2020); (9) Yao (2020); (10) Zheng & Zhou (2013); (11) Niu et al. (2017); (12) Zhang et al. (2012); (13) Ocio et al. (1979); (14) Hasan & Leong (2018); (15) Wang et al. (2016); (16) Zhang et al. (2020); (17) Ileke et al. (2020); (18) Wang et al. (2013); (19) Riudavets et al. (2020); (20) Dar et al. (2018); (21) Rumbos et al. (2021); (22) Li et al. (2020); (23) Tavares (2020); (24) Silva et al. (2021).

ORDEM	ESPÉCIE	SUBSTRATO	RESULTADOS	PAÍS	REF
Classe Arachnida					
NA	Ácaros (mesofauna edáfica)	Resíduos de erva-mate, borra de café, esterco bovino, equino e ovino.	Pode-se sugerir a utilização destes resíduos para a vermicompostagem, e recomendar o uso de seus vermicompostos como adubo orgânico com precauções.	Brasil	1
Classe Diplopoda					
Spirobolida	Piolho-de-cobra ou gongolô (<i>Rhinocricus botocudus</i>)	Resíduos de cafeeiro (folhas e ramos) e esterco bovino.	<i>Rhinocricus botocudus</i> sozinho é eficaz na decomposição dos compostos fenólicos, mas a decomposição é mais eficaz na associação com <i>Eisenia andrei</i> .	Brasil	2
Polydesmida	Piolho-de-cobra ou gongolô (<i>Brachydesmus assimilis</i>)	Palha de arroz.	Houve consumo do substrato pela fauna testada, pois não houve alteração na matéria orgânica do solo.	Rússia	3
Julida	Piolho-de-cobra ou gongolô (<i>Cylindroiulus sp.</i>)	Palha de arroz.	Houve consumo do substrato pela fauna testada, pois não houve alteração na matéria orgânica do solo.	Rússia	3
Spirobolida	Milípede-asiático ou gongolô (<i>Trigoniulus corallinus</i>)	Serrapilheira não decomposta: aparas de grama batatais; folhas de gliricídia; de flemingia; de pata de vaca; de bananeira, além de resíduo industrializado, neste caso, pedaços de papelão picado.	Diplópodes da espécie <i>T. corallinus</i> são capazes de ingerir resíduos pobres em nutrientes, porém exibem nitidamente preferência alimentar por resíduos que contenham maiores teores de nutrientes.	Brasil	4
	Gongolô (<i>Trigoniulus corallinus</i>)	As dietas incluíam: duas leguminosas - Flemingia (<i>Flemingia macrophylla</i>) (Willd.) e Gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>) (Jacq); uma gramínea - grama (<i>Paspalum notatum</i>) (Flüggé); e três materiais recalcitrantes - papelão, sabugo de milho e fibra de coco.	A diversidade bacteriana pode ser espécie-específica. Cada espécie apresenta, em seu trato digestivo, bactérias especializadas para sua nutrição e importantes na produção de compostos antimicrobianos em defesa contra patógenos presentes no alimento ingerido.	Brasil	5

QUADRO 2: (CONTINUAÇÃO).

Classe Entognatha					
NA	Colêmbolos (mesofauna edáfica)	Resíduos de erva-mate, borra de café, esterco bovino, equino e ovino.	Pode-se sugerir a utilização destes resíduos para a vermicompostagem, e recomendar o uso de seus vermicompostos como adubo orgânico com precauções.	Brasil	1
Classe Insecta					
Diptera	Mosca (<i>Ornidia obesa</i>)	Resíduos orgânicos municipais diversos misturados.	Mosca citada por Dienes et. al. (2011). Apresenta hábito saprofágico e polinizador. Causadora de doenças em humanos e animais, como miíases. Pode converter 8g/dia, porém necessita de mais estudos.	Costa Rica	6
	Mosca-varejeira (<i>Lucilia sericata</i>)	Resíduos de cozinha, resíduos de matadouro e esterco de suínos.	O tipo de resíduo e a densidade de larvas interferem no desenvolvimento, havendo diferença entre as quatro espécies. Ex; <i>C. chloropyga</i> teve a maior massa, enquanto <i>L. sericata</i> apresentou a menor massa em resíduos de abate. <i>C. putoria</i> , seguido de <i>C. megacephala</i> foi a mais versátil. <i>Lucilia sericata</i> apresentou desempenho médio, mas abaixo das demais, sendo a menos indicada para os resíduos utilizados neste estudo.	África do Sul	7
	Mosca-varejeira (<i>Chrysomya chloropyga</i>)	Resíduos de cozinha, resíduos de matadouro e esterco de suínos.	O tipo de resíduo e a densidade de larvas interferem no desenvolvimento, havendo diferença entre as quatro espécies. Ex; <i>C. chloropyga</i> teve a maior massa, enquanto <i>L. sericata</i> apresentou a menor massa em resíduos de abate. <i>C. putoria</i> , seguido de <i>C. megacephala</i> foi a mais versátil. <i>Lucilia sericata</i> apresentou desempenho médio, mas abaixo das demais, sendo a menos indicada para os resíduos utilizados neste estudo.	África do Sul	7
	Mosca-varejeira (<i>Chrysomya megacephala</i>)	Resíduos de cozinha, resíduos de matadouro e esterco de suínos.	O tipo de resíduo e a densidade de larvas interferem no desenvolvimento, havendo diferença entre as quatro espécies. Ex; <i>C. chloropyga</i> teve a maior massa, enquanto <i>L. sericata</i> apresentou a menor massa em resíduos de abate. <i>C. putoria</i> , seguido de <i>C. megacephala</i> foi a mais versátil. <i>Lucilia sericata</i> apresentou desempenho médio, mas abaixo das demais, sendo a menos indicada para os resíduos utilizados neste estudo.	África do Sul	7

QUADRO 2: (CONTINUAÇÃO).

Classe Insecta					
Diptera	Mosca-varejeira (<i>Chrysomya putoria</i>)	Resíduos de cozinha, resíduos de matadouro e esterco de suínos.	O tipo de resíduo e a densidade de larvas interferem no desenvolvimento, havendo diferença entre as quatro espécies. Ex; <i>C. chloropyga</i> teve a maior massa, enquanto <i>L. sericata</i> apresentou a menor massa em resíduos de abate. <i>C. putoria</i> , seguido de <i>C. megacephala</i> foi a mais versátil. <i>Lucilia sericata</i> apresentou desempenho médio, mas abaixo das demais, sendo a menos indicada para os resíduos utilizados neste estudo.	África do Sul	7
	Mosca-varejeira (<i>Lucilia sericata</i>)	Resíduos pesqueiros da indústria de processamento de alimentos (uma mistura de cabeça, vísceras, escama, pele, nadadeira caudal e osso).	Bactérias presentes tanto na cutícula quanto no trato gastrointestinal das larvas geram potencial para uso em biotransformação de resíduos orgânicos.	Rússia	8
	Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	Resíduos fermentados de giberelina ("hormônio de crescimento para plantas") misturado com esterco suíno. Seu acúmulo no ambiente pode gerar distúrbios endócrinos, além de efeitos carcinogênicos em animais e humanos.	O maior desempenho quanto à bioconversão ocorreu com a concentração de 20% de giberelinas.	China	9
		Lodo de esgoto.	Redução muito grande (em torno de 6.000 vezes) da quantidade de coliformes fecais no lodo. Ocorreu eclosão das larvas, redução das bactérias no lodo, mostrando o potencial das larvas na bioconversão.	China	10
		Restos de restaurante + adjuvantes de baixo custo (farelo de painço, silagem de milho, farelo de trigo e serragem, esmagados grosseiramente).	Avaliado o terceiro ínstar. 1,5 g de ovos de <i>M. domestica</i> após a incubação poderia converter 1 kg de resíduo (700g de resíduo + 300g de adjuvante) em 4 dias. Aproximadamente 400g foram consumidos e o restante se tornou adubo de alta qualidade.	China	11
		Restos de restaurante + adjuvantes de baixo custo (farelo de painço, silagem de milho, farelo de trigo e serragem, esmagados grosseiramente). Adultos criados com mistura de açúcar, leite e ovo de galinha (2:2:1).	Avaliado o terceiro ínstar. 6 g de ovos de <i>M. domestica</i> após a incubação poderia converter 2,8 kg de resíduo em 4 dias em 0.125 m ³ . O adjuvante que possibilitou maior rendimento foi o farelo de trigo. A disposição de 1 tonelada de resíduos alimentares só precisa de um espaço de 44,64 m ³ e quatro dias para ser bioconvertido.	China	11

QUADRO 2: (CONTINUAÇÃO).

Classe Insecta					
Diptera	Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	Esterco suíno/ Lodo municipal.	Redução de 80,2% na umidade, 106 ± 17 kg/(m ³ d) no peso (55-60%), 45% na atividade microbiana. Redução de coliformes fecais e de odor. Produzidos 105-120 kg de larva fresca ou 30-35kg de larva seca por tonelada de composto, além de 300-350kg de composto/tonelada. Essa redução na umidade seria observada em 4 a 8 semanas em sistema anaeróbico de compostagem.	China	12
		Resíduos sólidos municipais.	"Resíduo orgânico municipal pode ser usado como substrato para produzir larvas como uma nova fonte de proteína para dietas avícolas."	Espanha	13
		Esterco bovino.	As larvas de <i>M. domestica</i> reduziram $59,9 \pm 4\%$ do esterco de galinha. Mas o maior desenvolvimento foi no esterco bovino.	Malásia	14
		Esterco suíno.	Comparação com <i>Eisenia foetida</i> : 73,8% em 120 dias; <i>Musca domestica</i> reduz em 43,2% em duas semanas (Diener et al., 2009). Redução da umidade do composto de 82,4 para 49,7%. E do pH de 6,67 para 8,56. Redução em 60% do volume.	China	15
		Esterco suíno.	Comparado com fertilizantes inorgânicos, resultou no aumento das taxas de carbono, nitrogênio e fósforo do solo, além de melhorar a taxa enzimática do solo.	China	16
		Esterco de aves, esterco de porco, intestinos de bovinos e conteúdo ruminal, sangue bovino com farelo de trigo, sangue bovino e conteúdo de intestino, intestino de peixe.	<i>Musca domestica</i> apresenta bom desempenho na maioria dos resíduos apresentados.	Nigéria	17
		Esterco suíno.	Redução em 94% de odor e 92% de <i>E. coli</i> . Redução do peso final do resíduo em 67,2% e em 80% na umidade. Lucro anual variou de US \$ 33,4-46,1 por m ³ . Produção de 95-120 kg de larva/m ³ de esterco.	China	18
	Mosca (<i>Sarcophaga dux</i>)	Esterco de galinhas.	Larvas de <i>S. dux</i> reduziram $25,0 \pm 1,8\%$ de esterco de cabra. Mas o maior desenvolvimento foi no esterco de galinha.	Malásia	14

QUADRO 2: (CONTINUAÇÃO).

Classe Insecta					
Lepidoptera	Mariposa-da-farinha (<i>Ephestia kuehniella</i>)	Subprodutos agroindustriais de cervejarias, granjas e fábricas de rações: farinha de trigo integral e fermento (2: 1).	Baixa taxa de sobrevivência.	Espanha	19
	Mariposa (<i>Helicoverpa armigera</i>)	Palha de capim, casca e palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, serragem.	Descobertas cepas da bactéria <i>Klebsiela</i> sp. no intestino das larvas, capazes de decompor lignocelulose. Potencial para produção de biocombustíveis.	Índia	20
Coleoptera	Tenébrio-pequeno (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	Dez subprodutos do processo de limpeza de sementes de cereais e leguminosas (triticale, aveia, lentilha, tremoço, cevada e outros cereais). 90% farinha e 10% leveduras.	As larvas suportaram todos os subprodutos, porém de desenvolveram melhor com triticale (híbrido de centeio com trigo) e tremoço (leguminosa).	Grécia	21
	Besouro-da-farinha (<i>Tenebrio molitor</i>)	Subprodutos agroindustriais de cervejarias, granjas e fábricas de rações: farinha de trigo integral, farelo de trigo e ração para cães (3.3: 2.5: 1).	Apresentou bom desempenho em todos os substratos, sendo o mais versátil das 3 espécies no estudo.	Espanha	19
		Foram avaliados os substratos de cinco fungos comestíveis (<i>Auricularia cornea</i> , <i>Lentinus edodes</i> , <i>Pleurotus eryngii</i> , <i>P. citrinopileatus</i> e <i>P. ostreatus</i>).	Sobreviveram apenas com substrato de <i>Lentinus edodes</i> , mas com taxa de crescimento reduzida em relação ao controle. Os autores sugerem mais pesquisas com diferentes taxas de substrato e com outros insetos.	China	22
NA	NA	A substituição do farelo de soja pela farinha de insetos pode ser viável na fase inicial e de crescimento. A produção de insetos a partir dos resíduos de produção podem reduzir os custos e fechar a cadeia produtiva. Os tenébrios quando alimentados com trigo contaminado por micotoxinas não apresentaram qualquer resíduo em seu conteúdo cecal, demonstrando-se ser alimento seguro para animais de produção como frangos e atuando como potencial detoxificante desse contaminante nos grãos.	Brasil	23	

QUADRO 2: (CONTINUAÇÃO).

Classe Insecta					
Coleoptera	Besouro-da-farinha (<i>Tenebrio molitor</i>)	Dez subprodutos do processo de limpeza de sementes de cereais e leguminosas (triticale, aveia, lentilha, tremoço, cevada e outros cereais). 90% farinha e 10% leveduras.	As larvas suportaram todos os subprodutos, porém desenvolveram melhor com triticale (híbrido de centeio com trigo) e tremoço (leguminosa).	Grécia	21
		Cama de frango: mistura de excretas, penas e resíduos de ração. Os tratamentos experimentais consistiram de uma dieta controle contendo farelo de trigo (30%), aveia (30%), ração para galinhas (20%) (composição da ração para frangos em estágio final de desenvolvimento), leite em pó (10%) e cevada (10%), e quatro dietas-teste com 25, 50, 75 e 100% de cama de frango em substituição à dieta controle.	Mortalidade de 70% em todos os tratamentos. O tempo total de desenvolvimento larval foi significativamente maior nas dietas com 75 e 100% de cama de frango. A produção de progênie variou significativamente entre os tratamentos, com maiores valores para os insetos alimentados com 50 e 75% de cama de frango, e a taxa instantânea de crescimento populacional foi estatisticamente igual para todos os tratamentos.	Brasil	24
Blattodea	Barata-do-suriname (<i>Pycnoscelus surinamensis</i>)	As dietas incluíam: duas leguminosas - Flemingia (<i>Flemingia macrophylla</i>) (Willd.) e Gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>) (Jacq); uma gramínea - grama (<i>Paspalum notatum</i>) (Flüggé); e três materiais recalcitrantes - papelão, sabugo de milho e fibra de coco.	A diversidade bacteriana pode ser espécie-específica. Cada espécie apresenta, em seu trato digestivo, bactérias especializadas para sua nutrição e importantes na produção de compostos antimicrobianos em defesa contra patógenos presentes no alimento ingerido.	Brasil	5
Classe Malacostraca					
Isopoda	Tatuzinho-de-jardim (<i>Armadillidium vulgare</i>)	Palha de arroz.	Houve consumo do substrato pela fauna testada, pois não houve alteração na matéria orgânica do solo.	Rússia	3
Isopoda	Tatuzinho-de-jardim (<i>Cubaris murina</i>)	As dietas incluíam: duas leguminosas - Flemingia (<i>Flemingia macrophylla</i>) e Gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>); uma gramínea - grama (<i>Paspalum notatum</i>) (Flüggé); e três materiais recalcitrantes - papelão, sabugo de milho e fibra de coco.	A diversidade bacteriana pode ser espécie-específica. Cada espécie apresenta, em seu trato digestivo, bactérias especializadas para sua nutrição e importantes na produção de compostos antimicrobianos em defesa contra patógenos presentes no alimento ingerido.	Brasil	5
	<i>Protracheoniscus kryzhanovskii</i> (Espécie endêmica da Rússia)	Palha de arroz.	Houve consumo do substrato pela fauna testada, pois não houve alteração na matéria orgânica do solo.	Rússia	3

QUADRO 3: PESQUISAS REALIZADAS COM *Hermetia illucens* MOSTRANDO OS TIPOS DE RESÍDUOS UTILIZADOS NA BIOCONVERSÃO E A APLICAÇÃO.

País	SUBSTRATO	RESULTADOS	USO	REFERÊNCIA
Indonésia	Pó de café (20% de proteína).	Larvas com taxa de crescimento lenta (média 25 dias), mas podem converter o pó de café gasto. Pupas contêm proteína total de até 33,45% e 7,64% de lipídios.	Redução de resíduos.	Permana & Putra (2018)
Malásia	Resíduos de coco com fermentação bacteriana (<i>Costridium sp.</i> e <i>Bacillus sp.</i>)	As bactérias auxiliaram no aumento da palatabilidade e possibilitaram aumento no ganho de biomassa. Larvas com 40% de gordura, 35-39% de proteína e 8% de quitina. Ésteres metílicos de ácidos graxos: 98%. Redução de 15,5 mg de resíduo/larva/dia.	Produção de proteína e biocombustíveis.	Wong et al. (2020)
Kenia	Lodo de esgoto suplementado com restos de comida, resíduos de cerveja e cascas de banana.	A suplementação do lodo com 30% de outros substratos orgânicos resultou em um aumento significativo da produção de biomassa, redução de substrato e menor tempo de desenvolvimento larval.	Produção de proteína.	Nyakeri et al. (2019)
Suíça, Bélgica e Holanda	Resíduos de frutas e vegetais; resíduos de supermercados e restaurantes (consistindo em produtos vegetais e animais); sangue de aves; esterco de aves.	A microbiota de BSF pode sofrer variações, de acordo com fatores bióticos e abióticos, além do substrato e até da cepa utilizada. Fermentação do substrato pode auxiliar no ganho de desempenho.	Produção de proteína.	Wynants et al. (2019)
Suíça	Ração e esterco de aves; resíduos de frutas e vegetais; resíduos de restaurantes; resíduos de abatedouros; fezes humanas; lodo de esgoto primário e tratado; ração para cães; resíduos mistos.	A quantidade de sólidos voláteis e a taxa de proteína do substrato são os parâmetros que mais interferem no desenvolvimento larval. Resíduos de matadouro, resíduos de restaurantes, fezes humanas e uma mistura de resíduos de matadouro e frutas e vegetais são os mais adequados para o tratamento de larvas de BSF.	Tratamento de diferentes resíduos.	Lalander et al. (2019)
Nova Zelândia	Resíduos da cervejaria, fase sólida de esterco de porco e grama semidigerida em comparação com alimentação padrão (farelo e farinha de trigo).	O melhor desempenho geral foi em resíduos de cervejaria. Relação proteína: gordura: carboidrato digerível de 2: 1: 2 pode beneficiar o desenvolvimento das larvas. Lignina dificulta o desenvolvimento, caso não haja ação bacteriana prévia.	Tratamento de diferentes resíduos.	Liu et al. (2018)

QUADRO 3: (CONTINUAÇÃO).

China	Resíduos de raiz de cogumelo (<i>Flammulina velutipes</i>) + farelo de trigo e resíduos de cozinha. 12% de proteína.	1 tonelada de resíduo de raiz de cogumelo resulta em: 48-53 kg de pré-pupa + 170 kg de fertilizante orgânico; 1 tonelada de mistura 60% de resíduos de raízes de cogumelos + 40% de farelo geraram: 68-72 kg de pré-pupas + 190 kg de fertilizante orgânico; e 1 tonelada de mistura fresca de 60% de resíduos de raízes de cogumelos + 40% de resíduos de cozinha = 129-163 kg de pré-pupas e 200 kg de fertilizante. 42% de taxa de redução de resíduos.	Produção de biomassa e fertilizante orgânico.	Cai et al. (2019)
Brasil	Resíduos de aquicultura inoculados com <i>Salmonella spp.</i> E <i>Escherichia coli</i> .	Observada a presença de antimicrobianos secretados pelas larvas, que inativaram as bactérias por 5 dias após a sua retirada.	Inativação e redução de microorganismos em resíduos de aquicultura.	Lopes et al. (2020)
China	Resíduo: 80% coletado em residências, restaurantes e cantinas e 20% em pó de casca de arroz. 16% de proteína total; 24% de lipídios; 85% de sólidos voláteis.	6% do resíduo foi transformado em pré-pupa, 51% foi armazenado em composto maturado e 43% foi emitido para o ar. Uma tonelada de resíduo + 0,25 tonelada de pó de casca de arroz renderam 31 kg de pré-pupa seca + 300 kg de composto maturado, com o restante emitido como gás de exaustão para o meio ambiente.	Análise de produção de gases e fluxo de energia/nutrientes.	Guo et al. (2021)
Itália	Mistura de esterco de galinha, água e zeólita (mineral de origem em rochas vulcânicas, com propriedades detoxificantes).	Comparação com polietileno. Bons resultados quanto a crescimento de microorganismos no solo. Precisa de mais estudos quanto a biodegradabilidade do bioplástico. Filme com 0,36 mm.	Bioplásticos - filme a base de proteína.	Setti et al. (2020)
China	Esterco de gado leiteiro.	Em 21 dias, 1200 larvas de BSF bioconverteram 1248,6 g de esterco fresco em: 70,8g de massa seca de larva e 273g de resíduo. As larvas geraram 15,8g de biodiesel a partir da gordura e 54,4g de ração. O resíduo foi hidrolizado e convertido a 96,2 g de açúcar.	Biocombustíveis e ração.	Li et al. (2011)

QUADRO 3: (CONTINUAÇÃO).

EUA	Resíduos da cafeteria de uma universidade (alimentos desperdiçados).	Valores aproximados: 67% de ácidos graxos saturados (AGS), 15% de ácidos graxos monoinsaturados (AGM) e 13% de poliinsaturados (AGP) em 31,8% de lipídios totais e 44% de proteínas.	Biocombustíveis e ração.	Surendra et al. (2016)
Taiwan	Esterco de gado leiteiro. Resíduo passou por digestão anaeróbia pré- via.	Larvas apresentaram bons resultados quanto ao conteúdo de sólidos totais (TS), sólidos voláteis (VS) e nitrogênio para produção de biogás, em pH controlado na digestão anaeróbia.	Biocombustíveis (biogás).	Wee & Su (2019)
Malásia	Resíduos de frutas e comida desperdiçada.	Uso de pré-pupas. Ésteres metílicos de ácidos graxos: 96,15%, em acordo com os padrões estabelecidos para biodiesel.	Biocombustíveis.	Leong et al. (2021)
China	Ração mista de palha de arroz (30%) e resíduos de restaurante (70%) + produto comercial contendo microorganismos funcionais e enzimas.	Cerca de 43,8 g de biodiesel foi produzido. Cerca de 65,5% da celulose, 56,3% da hemicelulose, 8,8% da lignina, 91,6% da proteína e 71,6% dos lipídios da ração foram digeridos. As propriedades das larvas estão de acordo com os parâmetros internacionais de biodiesel.	Biocombustíveis.	Zheng et al. (2012)
Malásia	Lodo de esgoto desidratado com mistura de óleo de palma. Umidade 70%.	A mistura com óleo de palma aumenta a quantidade de proteínas da mistura. Isso melhora o desenvolvimento larval. Melhor proporção: Lodo-óleo: 3:2.	Biocombustíveis.	Raksasat et al. (2021)
Malásia	Três tipos de resíduos orgânicos: lodo de esgoto, resíduos de frutas e resíduos industriais de óleo de dendê.	Larvas criadas apenas com lodo tiveram peso menor. Com a adição de frutas e óleo houve aumento no peso.	Biocombustíveis.	Leong et al. (2016)
China	Glicose, xilose e palha de arroz fermentada com substrato padrão.	BSF consumiu xilose e glicose, produzindo gorduras para uso em biodiesel. As leveduras quebraram a palha de arroz, que foi usada em seguida por BSF, gerando bioetanol e biodiesel.	Biocombustíveis.	Li et al. (2015)

QUADRO 3: (CONTINUAÇÃO).

Malásia	Resíduo de endosperma de coco + pó com mistura de bactérias (fermentação por 7, 14, 21, 24 e 28 dias).60-70% de umidade.	Larvas mais jovens apresentam maiores taxas de éster metílico de ácido graxo (FAME), com melhores resultados para biodiesel. O tempo de fermentação ideal também para obtenção dos melhores índices de FAME foram aos 21 dias. O tempo de fermentação não interferiu no tempo de desenvolvimento, nem no peso das larvas.	Biocombustíveis.	Wong et al. (2019)
China	Esterco de porco com palha de arroz, mais H ₂ . Lodo usado como inóculo.	BSFL pode ser uma das soluções para redução de custo e para fixar o CO ₂ em um ciclo antropogênico do carbono: os AGV do CO ₂ e resíduos orgânicos não precisam ser extraídos do caldo de fermentação e podem ser diretamente usados para acúmulo de lipídios em BSFL para biodiesel.	Biocombustíveis.	Pang et al. (2019)
Malásia	Resíduo de endosperma de coco + mistura com fungo <i>Rhizopus oligosporus</i> .	1% de <i>Rhizopus oligosporus ex situ</i> foi suficiente para aumentar a quantidade de lipídios das larvas.	Biocombustíveis.	Wong et al. (2021)
Itália	Resíduos orgânicos de diferentes fontes urbanas.	10 toneladas de resíduo geram 300 kg de larvas secas e 3.346 kg de resíduos das larvas(33,3%), que podem ser utilizados como fertilizantes. 66,7% de redução de resíduo. Pré-pupa contém 42% de proteína bruta e 35% de gordura bruta.	Biomassa e fertilizantes.	Salomone et al. (2017)
Itália/ Brasil	Resíduos orgânicos compostos por vegetais e frutas (40% peras, 45% bananas, 5 % tomates, 10% vários vegetais de folhas verdes).	Os peixes (<i>Danio rerio</i>) alimentados com pré-pupa tiveram parâmetros de crescimento significativamente maiores em comparação ao tratamento controle, mas nenhuma diferença significativa quando comparada para tratamento V instar.	Biomassa - alimentação de peixes	Lanes et al., 2021
Singapura	Restos alimentares de um restaurante universitário.	Larvas de III instar com 7-10 dias de vida produziram resíduo rico em nitrogênio, fostatos e potássio.	Resíduos das larvas como fertilizante.	Tan et al. (2021)

QUADRO 3: (CONTINUAÇÃO).

China	Palhas de milho, arroz e trigo fermentadas por 24h com <i>Aspergillus</i> , <i>Trichoderma</i> e <i>Bacillus</i> . Controle: farelo de trigo.	48% de redução do substrato. 41% de proteína bruta de larva seca. Resíduo pode ser utilizado como fertilizante. Aumento do ciclo de vida, redução da fecundidade.	Tratamento de diferentes resíduos/Produção de biomassa.	Gao et al., 2019
Suíça	Subprodutos de moinhos, fezes humanas, resíduos de matadouros de aves, esterco de vaca e resíduos de cantinas.	Larvas com menor taxa de bioconversão apresentam maior taxa de proteína final. Necessita maiores estudos, mas é provável que, com cálculo de proteínas, é mais benéfica a mistura de resíduos.	Tratamento de diferentes resíduos/Produção de biomassa.	Gold et al., 2020
China	40% de esterco de bovinos leiteiros (rico em celulose e lignina) e 60% de galinhas.	O processo de co-digestão significativamente aumentou a produção larval, a taxa de conversão alimentar e reduziu a massa de resíduos. Ocorreu alta redução de celulose, lignina e hemicelulose, porém as taxas foram menores no grupo apenas com esterco bovino.	Produção de biomassa e fertilizante orgânico.	Rehman et al. (2017)
Gana	Esterco suíno, de aves, de ovinos e composteira.	O esterco suíno é o que mais atrai as fêmeas para oviposição.	Armadilha para captura de moscas selvagens.	Ewusie et al., 2019

4.5.4 Exigências quanto à criação em cativeiro

Em alguns aspectos, a manutenção de moscas (Diptera) em cativeiro é considerada fácil. Todas as espécies são holometábolos, ou seja, passarão por estágios de desenvolvimento como ovo, larva e pupa. Para que a ecdise ocorra, normalmente as larvas deixam o substrato, facilitando a sua coleta, quando necessário. Além disso, as larvas não conseguem escalar superfícies íngrimes, por exemplo, podendo ser mantidas em caixas sem necessidade de tampa. Um problema é que os dípteros adultos são bons voadores, sendo, por isso, necessários recintos que impossibilitem fugas, que podem gerar problemas ecológicos (Diehl et al., 2014).

Durante a fase de pré-pupa, o aparelho bucal de *Hermetia illucens* se transforma em uma estrutura semelhante a um bico que auxilia na sua saída do substrato de alimentação, para se fixar e empupar em superfícies secas. Esse processo é chamado de capacidade de auto-colheita (*self-harvesting ability*), sendo mais um fator que facilita a criação em cativeiro, pois otimiza a separação das pupas (Wong et al., 2019).

As exigências de *Hermetia illucens* quanto a luminosidade e temperatura podem gerar custos elevados para sua produção, principalmente em locais de clima frio. Seu ciclo de vida é um pouco mais longo quando comparado a outros dípteros: o desenvolvimento do ovo ao adulto leva em torno de um mês, enquanto em outras moscas como *Lucilia sericata*, são necessárias apenas duas semanas em condições ideais para completar seu ciclo (Raksasat et al., 2020; Wong et al., 2020).

As fêmeas adultas de *Musca autumnalis* requerem uma dieta rica em proteínas para fertilidade ideal e desenvolvimento normal dos ovos. Uma dieta artificial composta de ovo em pó, leite em pó, açúcar e água foi desenvolvida para as moscas adultas, havendo sucesso na criação desta espécie em cativeiro (Diehl et al., 2014).

Outros artrópodes potenciais para bioconversão são os cupins. Eles se proliferam com rapidez, são numerosos, ocorrem em diferentes tipos de ambientes e transformam rapidamente compostos vegetais dificilmente degradados por outros animais, em minúsculas partículas. Porém a sua criação não é tão simples a ponto de colocar o resíduo e aguardar a sua ação. Pelo fato de eles serem organismos eussociais, é necessário que as operárias processem o resíduo e retornem para a sua colônia (Sharma et al., 2020).

Desta forma, seria necessária a construção de câmaras para desenvolvimento das colônias, contendo milhões de animais, a fim de possibilitar a sua sobrevivência de acordo com os hábitos da espécie, proporcionando reprodução e continuidade da prole de forma eficaz (Shar-

ma et al., 2020). Por isso, pesquisas relativas ao uso de insetos eussociais em biotransformação se fazem necessárias. (Rajendran et al., 2018).

As condições ideais para criação de algumas espécies em cativeiro são apresentadas no quadro 4, conforme compilação realizada pela autora, como forma de comparação.

QUADRO 4: CONDIÇÕES AMBIENTAIS ÓTIMAS PARA DESENVOLVIMENTO DE ALGUMAS ESPÉCIES DE ARTRÓPODES. Referências (REF): (1) Čičková et al. (2015); (2) Surendra et al. (2016); (3) Salomone et al. (2017); (4) Ushakova et al. (2018); (5) Singh & Kumari (2019); (6) Wong et al. (2019); (7) Ståhls et al. (2020); (8) Diehl et al. (2014); (9) Parry et al. (2019); (10) Niu et al. (2016); (11) Hasan & Leong (2018); (12) Rumbos & Athanassiou (2021); (13) Riudavets et al. (2020); (14) Dar et al. (2018); (15) Lyn et al. (2012); (16) Sridhar & Kadamannaya (2009).

ORDEM	ESPÉCIE	TEMP.	UMID.	DENSIDADE	FOTO-PERÍODO	PARTICULARIDADES	REF
Classe Insecta							
Diptera	Mosca-soldado-negra (<i>Hermetia illuscens</i>)	29 - 31°C 20 - 45°C	50-70% 45 - 90%.	3mg larva/mg substrato 1000 larvas/kg substrato 2,5 larvas/cm ²	12h claro/ 12h escuro	Adultos não se alimentam.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
	Mosca-varejeira (<i>Chrysomya megacephala</i>)	28°C	NA	NA	12h claro/ 12h escuro		8, 9
	Mosca-varejeira (<i>Lucilia sericata</i>)	28 - 35°C	70%	8 larvas/g substrato	14h claro/ 10h escuro ou 12h claro/ 12h escuro		8, 9
	Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	25 - 30°C	NA	NA	Larvas somente em ambiente escuro.	Larvas preferem alimento fresco (aerobiose).	1, 10, 11
	Mosca (<i>Musca autumnalis</i>)	26 - 28°C	50-60%	NA	16h claro/ 8h escuro	Sensíveis a mudanças de temperatura.	1, 8
	Mosca (<i>Sarcophaga carnaria</i>)	26 - 28°C	80%	5.000 larvas/kg	12h claro/ 12h escuro		1, 8
Coleoptera	Besouro-da-farinha (<i>Tenebrio molitor</i>)	25 - 30° C	60-70%	8,5 larvas/g substrato	12h claro/ 12h escuro	Recipientes resistentes: larvas degradam plástico. Risco de canibalismo: separar pupas de larvas e adultos.	12
	Tenébriogigante (<i>Zophobas morio</i>)	25 - 30° C	60-70%	NA	NA		12
	Tenébriopequeno (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	18 - 35° C	55%	NA	NA		12

QUADRO 4: (CONTINUAÇÃO).

Lepidoptera	Bicho-da-seda (<i>Bombyx mori</i>)	25°C	75%	NA	NA		8
	Mariposa-da-farinha (<i>Ephestia kuehniella</i>)	25 ± 1°C	70% ± 10%	NA	NA		13
	Mariposa (<i>Helicoverpa armigera</i>)	28 ± 2 °C	50–60%	NA	NA		14
Orthoptera	Grilo-doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	30°C	até 25% 25 - 50% p/ ninfas	10 a 25 ninfas/cm ² 2.000 grilos/m ²	12h claro/ 12h escuro		8
	Gafanhoto (<i>Locusta migratoria</i>)	32 - 36°C	Mínima possível	1.000 a 1500 animais/m ³	NA		8
Classe Diplopoda							
Sphaerotheriida	Milípedes (<i>Arthrospira spp.</i>)	26 - 28°C 15 - 23°C	NA	NA	NA	Preferem solos ricos em cálcio.	16

4.5.5 Viabilidade econômica

Embora existam vários estudos relativos ao custo de implementação de estruturas para criação de artrópodes com finalidade de bioconversão, em muitos casos, as estimativas são realizadas com base em pesquisas desenvolvidas em laboratório ou são projetos-piloto extrapolados para escala comercial (Čičková et al., 2015; Rajendran et al., 2018). Desta forma, deve-se analisar com cuidado as reais vantagens frente à realidade do mercado (Rajendran et al., 2018).

Enquanto pesquisadores focam em produtos advindos de processos biotecnológicos, os produtores comerciais tem foco na prática e, assim, pensam menos em possibilidades biotecnológicas, em função de custos de implementação (Brandão et al., 2021).

A implantação em maior escala gera novos desafios relativos à manutenção de umidade, radiação solar/fotoperíodo, predadores/parasitas, destino de resíduos perigosos como metais pesados e patógenos (Diener et al., 2009).

Rajendran et al. (2018) em revisão de literatura, mostrou que em um empreendimento simples realizado com pouca estrutura nos Estados Unidos, uma criação de *Hermetia illucens* com alimento à base de esterco de galinha, houve uma economia de U\$ 25.000 por ano, apenas pelo fato de não ter sido necessária a destinação externa dos resíduos. Em outro estudo, Zering et al. (2006 apud Rajendran et al., 2018) apontou uma economia menor, em função da falta de mercado para consumir as larvas, além da instabilidade na produção e de fatores relativos à aprovação da venda perante os órgãos regulatórios do país.

O preço para obtenção de larvas de inseto é alto, principalmente quando comparado com outras fontes de proteína animal. Isso, porque ainda faltam técnicas adequadas e de baixo custo para o desenvolvimento de insetos, e o crescimento larval pode ser influenciado por fatores como nutrição e condições ambientais. No caso de *Tenebrio molitor*, o custo de manutenção se torna maior em relação a outras espécies de artrópodes, porque o ciclo de vida é mais longo (em torno de 120 dias) e o número de ínstaes larvais aumenta em resposta a condições desfavoráveis. Apesar disso, o uso de resíduos como fonte de alimento para artrópodes pode ser uma forma de reduzir custos (Rumbos & Athanassiou, 2021; Silva et al, 2021).

Allegretti et al. (2018) sugerem que a criação de larvas para uso como proteína animal e fonte de fertilizantes, a partir dos resíduos da produção, seja incorporada como parte da cadeia produtiva, a fim de reduzir custos e gerar benefícios ambientais com responsabilidade social.

A automação que possibilite a produção em larga escala é necessária para reduzir custos e atender ao mercado de maneira satisfatória, também no sentido de padronização e segurança do produto e do consumidor (van Huis, 2015).

Estudos que envolvem avaliação do ciclo de vida são importantes no sentido de determinar quais etapas da produção geram resíduos e impactos, como também, auxiliam na delimitação de custos e melhoria dos processos (Salomone et al., 2017).

Barry (2004) desenvolveu um estudo com *Hermetia illucens* nos EUA, em que testou a capacidade de bioconversão a partir de resíduos de uma cafeteria. A conclusão foi que os custos iniciais seriam repostos após três anos, com a economia em relação à destinação dos resíduos, sem contar a venda das pré-pupas, que, a longo prazo, poderia gerar lucro.

Tavares (2020) demonstrou que o uso de 4% de larvas de *Tenebrio molitor* como substitutivo de farelo de soja pode ser viável nas fases inicial e de crescimento de frangos. A produção de insetos a partir dos resíduos de produção pode reduzir os custos e fechar a cadeia produtiva.

Em pesquisas realizadas na China, por Zhang et al. (2012), se observou um lucro de US\$ 33,4-46/tonelada de esterco suíno a partir da bioconversão realizada por larvas de *Musca domestica*.

Outros cálculos são apresentados por Diener et al. (2009). Com área aproximada de 1100 m², 5 trabalhadores permanentes são necessários para processar 3 toneladas de resíduos orgânicos por dia, com o auxílio de *Musca domestica*, sendo: esterco de aves, esterco suíno, vísceras de bovinos e de peixes, misturadas com farelo de trigo. Para tal, estima-se um custo de implantação de US \$ 85.000 e custos operacionais anuais de \$ 35.700.

Benefícios sociais de produtos e processos, incluindo perspectivas ambientais, devem ser evidenciados ao público, a fim de que o consumidor saiba a procedência do produto e de que este é ambientalmente adequado. (Brandão et al., 2021).

O saldo final deve ir além do valor nutricional adicionado através da geração de biomassa (proteína), tendo em vista que os resíduos orgânicos são um passivo ambiental que gera custos para seu tratamento e devida destinação (Allegretti et al., 2018).

Uma vantagem quanto a custos é que muitas biorrefinarias vem sendo projetadas em escala industrial de modo a receber diferentes tipos de compostos, ou seja, resíduos com diversas origens, o que pode reduzir o custo, como também, receber variados tipos de artrópodes (Wang et al., 2017). Porém, o maior problema está relacionado com a produção de gases, principalmente nas etapas de beneficiamento, ou seja, secagem da matéria-prima para venda.

Rajendran et al. (2018) mencionam algumas indústrias já consolidadas na África do Sul, no Canadá e em vários outros países, que produzem óleos, ração animal e componentes com alto valor protéico em escala comercial. E, apesar de estas indústrias estarem localizadas globalmente, elas apresentam as mesmas dificuldades: estabelecer um mercado para a alimentação animal e a certificação em relação à segurança e composição. Além disso, a falta de legislação para produtos à base de insetos pode dificultar a regularização e gerar perda de mercado. Rajendran et al. (2018) ressaltam, ainda, que a maioria dessas empresas foram iniciadas após 2010, e que nos próximos anos, tais questões poderão estar resolvidas. Porém, embora avanços tenham ocorrido quanto à legislação, muito ainda precisa progredir, conforme será abordado na sequência deste trabalho.

4.5.6 Aspectos sanitários e segurança alimentar

Uma questão importante relacionada com artrópodes e bioconversão é a segurança alimentar. A maioria das pesquisas sobre bioconversão está direcionada a aspectos relativos à produção. Porém, pouco se menciona sobre a possibilidade de desenvolvimento de alergias geradas pela ingestão de artrópodes, por exemplo (Marchi et al., 2021).

Marchi et al. (2021) testou, através da investigação de proteínas que compõem o organismo do grilo-doméstico (*Acheta domesticus*), a imunorreatividade cruzada com uma espécie de camarão. Em conclusão, a ingestão de proteínas desta espécie representa um sério risco para a população alérgica a crustáceos, podendo gerar sensibilização primária. Desta forma, é necessário, antes de estimular o consumo, sempre pesquisar e alertar os consumidores sobre potenciais riscos.

Coleópteros da família Tenebrionidae também podem gerar reações alérgicas como rinite, conjuntivite, asma, urticária e angioedema, principalmente em pessoas que apresentem reações a poeira ou a crustáceos. Pode ocorrer reação cruzada entre espécies como *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* e *Alphitobius diaperinus* quando houver exposição prévia (Rumbos et al., 2018).

Em relação a problemas de contaminação, caso a produção apresente microorganismos patogênicos ou micotoxinas em alguma das etapas, isso pode interferir diretamente na saúde dos animais e, por consequência, dos consumidores (van Huis, 2015).

A sensibilidade de alguns artrópodes à presença de fungos produtores de micotoxinas e aflatoxinas mostra que o cuidado com a criação deve ser intenso, de modo a prevenir problemas com os animais e com quem os consome. Fungos dos gêneros *Fusarium* e *Aspergillus*, por exemplo, são causadores de mortalidade em criações de *Tenebrio molitor*, conforme apontam estudos apresentados na revisão de literatura de Schrögel & Wätjen (2019).

Por outro lado, van Broekhoven et al. (2015), em experimentos com *Tenebrio molitor*, *Zophobas atratus* e *Alphitobius diaperinus* mostraram que após exposição a micotoxinas, os níveis presentes no organismo foram baixos, ocorrendo sua depuração após 72h da retirada do composto. Autores como Bily et al. (2004 apud Schrögel & Wätjen, 2019), testaram alimentos contendo a micotoxina zearalenona em lepidópteros e recomendam o jejum de 24 horas antes do uso de larvas. Ressalta-se que as espécies testadas não foram utilizadas como alimento, embora isso possa ser extrapolado. (Schrögel & Wätjen, 2019).

Algumas espécies como *Tenebrio molitor* também evitam grãos contaminados. O fato de haver interferência no desenvolvimento das larvas e na conversão alimentar pode ser um bom indicativo de contaminação. Estes fatores requerem atenção do produtor, pois a tomada de providências reduz a possibilidade de perda dos animais (van Broekhoven et al, 2015; Schrögel & Wätjen (2019).

Em relação à presença de metais pesados, levantamento realizado por Schrögel & Wätjen (2019) mostra que a bioacumulação pode ocorrer de acordo com a espécie, o tipo de metal e varia de acordo com a cadeia alimentar. Cádmio, chumbo e zinco são alguns metais observados em insetos. Moscas-domésticas podem eliminar o metal do organismo através do exoesqueleto durante a ecdise. Jucker et al. (2020) verificaram que *Hermetia illucens* pode acumular cádmio principalmente na larva de IV instar e o metal interfere no tempo de desenvolvimento. O mesmo estudo revelou que a bioacumulação ocorre em menores índices em *Tenebrio molitor* e *Zophobas morio*. A conclusão é de que o ciclo de vida mais longo nos coleópteros pode possibilitar a eliminação do composto pelo organismo (Jucker et al., 2020).

Algumas espécies de grilos se mostraram tolerantes à presença de cádmio após dez gerações expostas a este composto. As moscas-soldado-negras estão mais propensas a acumular cádmio e tenébrios bioacumulam mais arsênio na fase larval (Schrögel & Wätjen, 2019).

A segurança alimentar foi levada em conta quando da criação dos critérios para aprovação do uso de artrópodes na alimentação de animais na União Européia (UE): em função do potencial risco de contaminação por príons, apesar de já haver pesquisas a respeito, apenas em 2017 houve a aprovação do uso de artrópodes para fornecimento a peixes, pela *European Food and Safety Authority* (Rumbos et al., 2018; Osimani et al., 2019; Lanes et al., 2021).

Em relação aos microorganismos, Sanjaya et al. (2019) e Kim et al. (2021) afirmam que *Hermetia illucens* pode reduzir a carga bacteriana, por exemplo, de *Escherichia coli* e de *Salmonella enterica* de diferentes tipos de resíduos. Além disso, Zhang et al. (2012) e Zheng & Zhou (2013) mostraram que *Musca domestica* limita a quantidade de coliformes fecais em lodo de esgoto e outros resíduos potencialmente contaminantes. Esse processo se comprova pela redução de odores em resíduos tratados com estas espécies de moscas (Salomone et al., 2017).

Apesar disso, autores como Wynants et al. (2019), por exemplo, recomendam processos de descontaminação quando do uso das larvas de BSF como alimento, em função da alta ocorrência de *Bacillus* e *Salmonella* no substrato. Já Kim et al. (2021) afirmam que este não seria um problema tão importante, pelo fato de a maioria dos microorganismos deixarem de apresen-

tar potencial patogenicidade após aquecimento, que ocorre nas etapas de preparação de rações ou para comercialização das larvas secas, por exemplo.

A transmissão de doenças por artrópodes é outro ponto importante a ser considerado no momento da escolha das espécies. *Musca domestica* e *Lucilia sericata*, por exemplo, são moscas que podem gerar problemas médicos e veterinários. Já *Hermetia illucens* possui uma particularidade que a difere das demais espécies de moscas: os adultos apresentam parte de seu aparelho bucal atrofiado (Parry et al., 2019). Sendo assim, estas moscas não são atraídas por casas humanas, não são portadoras nem vetores de doenças, pois os adultos não têm necessidade de se alimentar, nutrindo-se a partir de um grande corpo adiposo armazenado desde o estágio larval (Salomone et al., 2017). Estes são alguns dos diferenciais que fazem com que esta espécie tenha obtido tanto espaço em pesquisas e na produção animal (Ushakova et al., 2018; Parry et al., 2019).

Além disso, segundo Miranda et al. (2019), as larvas de BSF competem com as larvas de *Musca domestica*, inibindo sua oviposição, quando do uso simultâneo do substrato, o que pode ser um ponto positivo quando o resíduo está armazenado próximo a instalações humanas e animais.

Alphitobius diaperinus, o tenébrio-pequeno, é outra espécie que gera relativa preocupação à saúde pública, pelo fato de estar relacionada à transmissão, como vetor, de *Salmonella* sp., *Escherichia coli* e vírus patogênicos e habitar granjas produtoras de frango. Apesar disso, em 2017, foi incluída como uma das sete espécies autorizadas para uso na produção de alimentos para peixes na Europa (Rumbos et al., 2018).

4.6 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DOS ARTRÓPODES

4.6.1 Estudos compilados

Os artrópodes são conhecidos por fornecerem produtos como o mel e serviços ecológicos como a polinização, por exemplo. Aplicações deste grupo relacionadas com bioconversão são menos conhecidas. No quadro 5 são apresentados estudos relacionados à bioconversão em diferentes grupos de artrópodes, desenvolvendo-se cada aplicação nas subseções a seguir.

QUADRO 5: ESTUDOS COM ESPÉCIES DE ARTRÓPODES POTENCIAIS E SEU USO EM BIOCONVERSÃO. REFERÊNCIAS (REF): (1) Mosaheb (2018); (2) Watanabe & Tokuda (2010); (3) Bashir et al. (2013); (4) Pasti et al. (1990); (5) Tokuda et al. (2014); (6) Kamal et al. (2020); (7) Fournier(2020); (8) Matos et al. (2017); (9) Rojas-Jiménez & Hernández (2015); (10) Abidin et al. (2020); (11) Gasco et al. (2019); (12) Ocio et al. (1979); (13) Niu et al. (2017); (14) Li et al. (2017); (15) Drillet et al. (2011); (16) Ajiboye et al. (2011).

ORDEM	ESPÉCIE	LOCAL	TIPO DE SUBSTRATO	DESTINO/USO	RESULTADOS/ CONCLUSÃO	REF.
Classe Insecta						
Blattodea	Barata-vermelha (<i>Periplaneta americana</i>)	Malásia	NA	Antimicrobianos.	Os compostos identificados a partir do cérebro e extratos de hemolinfa revelaram atividade antimicrobiana contra bactérias gram-positivas e gram-negativas, vírus e fungos.	1
	Cupim (espécie não informada)	Japão	Resíduos contendo celulose, hemicelulose e lignina.	Biocombustíveis.	Cupins podem realizar o tratamento inicial de trituração do material para chegar, em associação com fungos e bactérias, à glicose necessária para a fabricação de biocombustíveis.	2
	Cupim (<i>Odontotermes hiananensis</i>)	Índia	Biomassa vegetal - árvores decompostas e serrapilheira.	Biocombustíveis.	A simbiose entre artrópodes e os microorganismos de seu trato digestório podem conduzir ao uso destes na produção de combustíveis e produtos químicos derivados de biomassa vegetal.	3
	Cupim. Gêneros: Macrotermes, Armitermes, Odontotermes e Microcerotermes.	Kenya	Material celulósico.	Tratamento de resíduos de origem vegetal.	O fato de quase todas as cepas apresentarem boa capacidade de degradar a fração celulósica do substrato confirma estudos anteriores dos mesmos autores.	4

QUADRO 5: (CONTINUAÇÃO).

Blattodea	Cupim (<i>Hodotermopsis sjostedti</i>)	Japão	Toras e solo obtidos no local de coleta.	Produção de energia a partir de biomassa vegetal.	Avaliadas castas de trabalhadores maduros. Celulases endógenas e aquelas produzidas pelos endossimbiontes são as responsáveis pela quebra da celulose. Este estudo revelou uma seqüência e combinação de processos de conversão de celulose em energia e nutrientes anabólicos essenciais, e propõe um modelo de bioconversão eficiente que pode ser relevante para a produção industrial de biocombustíveis.	5
	Barata-vermelha (<i>Periplaneta americana</i>)	Egito	Coletadas da natureza e eutanasiadas em seguida.	Produção de bioetanol a partir de quitina.	Pelo fato de a cutícula dos insetos ser menos mineralizada, o custo, o tempo e o uso de produtos químicos para extração da quitina em relação aos crustáceos é menor.	6
Coleoptera	Besouro (<i>Goliathus orientalis</i>)	França	Animais já adquiridos mortos.	Quitina/Quitosana.	O exoesqueleto deste besouro apresenta potencial para extração de quitina e transformação em quitosana, podendo ser utilizado na indústria, quando comparado a camarões.	7
	Besouro (<i>Veturius transversus</i>)	Brasil	Hidrolisado hemice-lulósico de bagaço de cana-de-açúcar.	Produção de xilitol - adoçante natural.	O estudo considerou que este besouro xilófago associado a leveduras e outros microorganismos de seu trato intestinal é capaz de assimilar D-xilose e produzir xilitol.	8

QUADRO 5: (CONTINUAÇÃO).

Coleoptera	Besouros (espécie não informada)	Costa Rica	Madeira em decomposição.	Bioprospecção.	Os fungos e bactérias encontrados no trato intestinal das larvas de besouros analisados são capazes de decompor, em diferentes escalas, os compostos oriundos da madeira: celulose, lignina, D-xilose, D-celobiose e D-glucanos. Os besouros xilófagos são uma boa fonte de <i>Trichoderma</i> , <i>Metarhizium</i> , <i>Metacordyceps</i> , <i>Bionectria</i> e outros gêneros de fungos conhecidos por possuírem ampla gama de aplicações biotecnológicas	9
	Tenébrio-gigante (<i>Zophobas morio</i>)	China	Larvas compradas.	Biocombustíveis.	Comparado com biodiesel de óleo de soja.. O autor considera que a espécie é viável para a produção de biocombustíveis, embora mais estudos sejam necessários.	10
	Besouro-da-farinha (<i>Tenebrio molitor</i>)	Itália	NA	Uso em ração de coelhos em crescimento.	As gorduras das larvas são fontes adequadas de lipídios em dietas de coelhos para substituir o óleo de soja sem qualquer prejuízo à saúde e ao crescimento.	11
Diptera	Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	Espanha	Resíduos orgânicos municipais.	Suplemento de proteínas para pintinhos.	Não houve diferenças estatísticas significativas entre os grupos (farinha de soja; farinha com 12% de proteína de larva; farinha com 9% alimento de peixe), quanto a ganho de peso.	12

QUADRO 5: (CONTINUAÇÃO).

Diptera	Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	China	Restos de restaurante + adjuvantes de baixo custo (farelo de painço, silagem de milho, farelo de trigo e serragem, esmagados grosseiramente).	Biocombustíveis e adubo.	Os autores considera necessário mais pesqui- sas sobre a qualidade do adubo produzido com as fezes das larvas, além do biocombustível.	13
	Mosca-doméstica (<i>Musca domestica</i>)	Japão	Larvas compradas secas e realizado extrato líquido.	Produção de medicamentos.	Comparativo da proteína contida nos ovos de galinha. Potencial dos aminoácidos e bioati- vos como antioxidantes, antihipertensivos, anti-diabéticos. Recomendenda-se mais estudos para a produção de medicamentos.	14
Hymenoptera	Formiga-da-Índia (<i>Tetramorium bicarinatum</i>)	Malásia	NA	Antimicrobianos.	Bicarinalina é um peptídeo presente no vene- no desta formiga e apresenta atividade antimicrobiana.	1
Lepidoptera	Mariposa (<i>Scirpo- phaga incertulas</i>)	Índia	Biomassa vegetal - planta- ção de arroz em fase de colheita.	Biocombustíveis.	A simbiose entre artrópodes e os microorga- nismos de seu trato digestório podem conduzir ao uso destes na produção de combustíveis e produtos químicos derivados de biomassa vegetal.	3
Orthoptera	Gafanhoto- migratório (<i>Locus- ta migratoria</i>)	Malásia	NA	Antimicrobianos.	Atividade antimicrobiana seletiva contra bac- térias gram-positivas e gram-negativas, sem afetar células eucarióticas.	1

QUADRO 5: (CONTINUAÇÃO).

Classe Malacostraca						
Isopoda	Tatuzinho-de-jardim [<i>Armadillidium sp.</i> Brandt, 1831 (Isopoda: Armadillidiidae)]	Índia	Biomassa vegetal - árvores decompostas e serrapilheira.	Biocombustíveis.	A simbiose entre artrópodes e os microorganismos de seu trato digestório podem conduzir ao uso destes na produção de combustíveis e produtos químicos derivados de biomassa vegetal.	3
Classe Hexanauplia						
Harpacticoida	Copépodes [<i>Tigriopus californicus</i> (Baker, 1912) (Harpacticoida: Harpacticidae)]	Japão	NA	Alimentação de peixes e outros organismos aquáticos.	Estes animais são capazes de biossintetizar ômega 3 e outros ácidos graxos. Podem ser utilizados na produção de probióticos e suas larvas podem alimentar peixes e crustáceos.	15
	Náuplios copépodes (espécie não informada)	Nigéria/ Brasil	Esterco de aves, suínos, bovinos e coelhos.	Alimentação de peixes e outros organismos aquáticos.	Esterco de aves são os melhores para possibilitar o desenvolvimento. Estes organismos, combinados com microalgas, são fontes de ácidos graxos insaturados.	16

4.6.2 Proteína e alimentação animal/humana

A produção de alimentos gera consideráveis impactos ambientais. Por isso, dietas sustentáveis e a redução do desperdício são alternativas que precisam ser levadas cada vez mais em consideração tanto pela população, quanto pela indústria e pelos produtores (van Huis, 2015).

Os resíduos orgânicos são uma fonte natural de nutrientes que podem ser facilmente incorporada na cadeia alimentar (Mahjoub & Domscheit, 2020). E os insetos são considerados uma fonte de proteína sustentável que pode ser incorporada em rações (Ravi et al., 2020).

A produção de ração a base de insetos é mediada por dois ciclos de conversão: de produtos orgânicos em insetos, e então de insetos em animais de produção. Com o crescente interesse em reduzir os impactos da produção em todo o mundo, a reciclagem de alimentos de baixo custo de oportunidade (resíduos de alimentos, subprodutos do processamento de alimentos e resíduos da agricultura) vem sendo pesquisada por muitos autores a fim de incorporar os insetos no ciclo produtivo de alimentos (Ravi et al., 2020).

Os artrópodes mais utilizados na alimentação animal são grilo-doméstico (*Acheta domestica*), barata [*Blatta lateralis* Serville, 1838 (Blattodea: Ectobiidae)], o besouro-da-farinha (*Tenebrio molitor*), o tenébrio-gigante (*Zophobas morio*), a mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), a mosca-doméstica (*Musca domestica*), além de cupins e lagartas de lepidópteros (Morales-Ramos et al., 2014; van Huis, 2015). Finke et al. (2020) mencionam, entre outros artrópodes, os milípedes como fonte de alimento para animais.

Em função da dificuldade e do custo de produção de determinadas farinhas para peixes, países da União Européia vêm conduzindo pesquisas a fim de implementar o uso de insetos na alimentação destes animais (Lanes et al., 2021).

Também devido a essa dificuldade, em 2017 foi autorizada, pela *European Food and Safety Authority*, a introdução das seguintes espécies para fornecimento a peixes na Europa: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domestica*, *Grylloides sigillatus* (F.Walker, 1869) (Orthoptera: Gryllidae) e *Gryllus assimilis* (Fabricius, 1775) (Orthoptera: Gryllidae) (Rumbos et al., 2018; Osimani et al., 2019; Lanes et al., 2021).

Em estudo conduzido por Osimani et al. (2019), foram fornecidas pré-pupas e larvas de V instar de BSF a peixes da espécie *Danio rerio* (Hamilton, 1822) (Cypriniformes: Cyprinidae). Os animais alimentados com pré-pupa tiveram parâmetros de crescimento e ganho de

peso significativamente maiores em comparação ao tratamento controle com ração. Porém, não foram notadas diferenças significativas entre o grupo controle e os grupos alimentados com larvas de V instar. Isso mostra que os insetos são uma boa fonte de nutrientes para peixes, podendo ser utilizados como suplemento ou mesmo como fonte principal de determinados componentes orgânicos (Osimani et al., 2019).

Neste mesmo experimento, foi avaliada a microbiota dos peixes. Demonstrou-se que larvas de *Hermetia illucens* inibem a ação de enterobactérias. Os dados do estudo sugerem que a microbiota intestinal de *Danio rerio* pode ter sido influenciada pela microbiota presente nas larvas e em seus compostos bioativos (Osimani et al., 2019). Lanes et al. (2021) também relatam atividade imunoestimulante em peixes alimentados com BSF. De acordo com seus resultados, este benefício está relacionado com a quitina presente no exoesqueleto dos artrópodes.

Van Huis (2013) menciona, em seu levantamento, que 15% de farinha de camarão contendo 2,8% de quitina, usada em dietas de frangos de corte gerou um aumento da população de lactobacilos intestinais e a redução de *Escherichia coli* intestinal e *Salmonella* cecal.

Com isso, pode-se dizer que muitos elementos constituintes do organismo de artrópodes têm o potencial de substituir o uso de antibióticos e/ou probióticos em animais de produção, apresentando grande importância em um momento em que existem cepas bacterianas resistentes a muitos medicamentos, e que geram, inclusive, riscos à saúde humana (van Huis, 2013).

Larvas de *Tenebrio molitor* e *Hermetia illucens* também foram utilizadas em dietas de coelhos em crescimento, em substituição ao óleo de soja, como fonte de gordura. E a conclusão a que Gasco et al. (2019) chegaram foi que as larvas são fontes adequadas de lipídios, boas substitutas para o óleo de soja, e não geram qualquer prejuízo em relação a desempenho de crescimento, digestibilidade aparente, características da mucosa intestinal e saúde. Desta forma, conclui-se que os artrópodes parecem boas fontes de nutrientes para animais de produção, entre aves, mamíferos e peixes, por exemplo.

Os insetos usados para alimentação humana e animal são recomendados como uma solução alternativa pela *Food and Agriculture Organization*, para reduzir o preço da ração, e, conseqüentemente, dos produtos de origem animal, gerando menos impacto ambiental (FAO, 2019; Guo et al., 2021).

Existem previsões de que a população mundial atinja 9 bilhões de pessoas em 2050. Destas, 1 bilhão passa por situações de fome ou escassez alimentar (Cardoso, 2016). Além disso, o aumento na demanda por proteína animal pode crescer substancialmente com o aumento da população, principalmente em países com maior poder aquisitivo (van Huis, 2013). Desta

forma, os insetos podem ser uma alternativa, por apresentarem altos percentuais de proteína, inclusive mais ricos neste nutriente quando comparados a leguminosas como feijão (23,5%), lentilha (26,7%) ou soja (41,1%) (Cardoso, 2016), além de serem boas fontes de aminoácidos e ácidos graxos (Oonincx & Finke, 2020).

Historicamente, a Ásia é um grande consumidor de invertebrados (Giroto & Cossu, 2019). Por outro lado, em muitas sociedades, ocorre um grau de aversão ao seu consumo (van Huis, 2013; Cardoso, 2016).

Das mais de um milhão de espécies de insetos descritas, apenas cerca de 2.000 são consumidas pela população, mundialmente (van Huis, 2015; de Marchi et al., 2021). Isso significa que os insetos apresentam um grande potencial, porém seu uso na alimentação carece de mais estudos e investimentos (Rumpold et al., 2017; Jongema, 2017; Varelas & Langton, 2017).

Ramos-Elorduy (2009 apud Tavares, 2020) relatou que 2.086 espécies de insetos são consumidas por 3.071 grupos étnicos em 130 países, devido ao alto conteúdo de proteínas e minerais, além de seu sabor e palatabilidade. Entre as ordens de insetos mais consumidos na alimentação humana, estão: Coleoptera (31%), Lepidoptera (18%), Hymenoptera (15%), Orthoptera (13%), Hemiptera (11%), Diptera e outros (12%) (van Huis, 2015; Wong et al., 2019).

Muitos vertebrados, incluindo o ser humano, apresentam quitinases, enzimas capazes de quebrar quitina, fator que facilita a alimentação com artrópodes (Oonincx & Finke, 2020). Sendo que, em países na África, na América do Sul e na Ásia, existem pessoas que consomem algum tipo de artrópode, provavelmente em função do histórico de vulnerabilidade alimentar destes continentes ou por questões culturais. Mais de 80 espécies de gafanhotos e grilos são consumidos nestes três continentes (van Huis et al., 2013).

Os cupins do gênero *Macrotermes*, que cultivam fungos, são os insetos mais amplamente utilizados como alimentos em países da África. Em todo o mundo, pelo menos 43 espécies de térmitas comestíveis são usadas para alimentação humana e animal (Varelas & Langton, 2017).

Na Austrália, larvas de mariposa que se alimentam de madeira em decomposição, além de coleópteros da família Cerambycidae são importantes alimentos nas regiões de deserto, sendo, há muito tempo, componentes básicos na dieta de mulheres e crianças aborígenes (van Huis, 2013; Varelas & Langton, 2017).

Além das sociedades tradicionais, existem culturas em que os insetos vêm sendo inseridos no mercado progressivamente. Nos EUA, por exemplo, grilos são consumidos em formato

de barras de cereal. Já na Tailândia, onde existe tradição quanto ao consumo de insetos, existem 20.000 produtores de variadas espécie, com produção de 7.500 toneladas por ano (van Huis, 2015).

Kim et al. (2021) em sua revisão de literatura, verificaram que a carne de gado alimentado com ração à base de larvas de *Hermetia illucens* não teve diferença significativa em relação a sabor, odor e textura. Os teores de proteínas, lipídios, água e matéria seca também se mantiveram semelhantes. Salsichas produzidas com larvas de *Hermetia illucens* também foram similares às produzidas comercialmente (Kim et al., 2021).

Outra vantagem no uso de insetos é que entre 40% a 80% da sua biomassa é considerada comestível (Rajendran et al., 2018), enquanto 55% da carcaça dos frangos e porcos e 40% da carcaça dos bovinos pode ser consumida (Cardoso, 2016).

Estima-se que em torno de 92% das espécies consumidas como alimento por seres humanos seja colhida diretamente da natureza (van Huis, 2013; Varelas & Langton, 2017). No entanto, insetos como bichos-da-seda e abelhas são domesticados há muito tempo em função de seus subprodutos, embora os próprios insetos também possam ser consumidos (van Huis, 2013).

Em países como México e Tailândia, por exemplo, a coleta manual de grilos e formigas prejudiciais às lavouras, com uso consequente para alimentações animal e humana, se mostrou uma boa forma de controle biológico (van Huis, 2013).

4.6.3 Fertilizantes

Um estudo conduzido por Zhang et al. (2020) na China, comparou as propriedades do solo em uma fazenda de plantação de crisântemos (*Chrysanthemum morifolium*) com o composto final de uma usina de compostagem usando mosca-doméstica (*Musca domestica*).

Esta pesquisa testou três tipos de fertilizantes, sendo um de origem inorgânica pura, outro misturado com o composto orgânico (usina de compostagem com esterco biotransformado por *Musca domestica* e um terceiro apenas de origem orgânica, além do controle. Os tratamentos foram aplicados no solo por 5 anos (de 2011 a 2016). A partir dos resultados, Zhang et al. (2020) concluíram que, tanto a adubação experimental em vaso quanto as investigações de campo corroboraram a hipótese de que o vermicomposto melhorou a disponibilidade de nutrientes do solo, aumentou a taxa de carbono, nitrogênio e fósforo, bem como suas atividades enzimáticas. Além disso, Zhang et al. (2020) relataram que *Musca domestica* também é capaz de

reduzir significativamente os antibióticos presentes no esterco suíno após uma semana de atividade.

Wang et al. (2016) supõem que a biodegradação de lignina e proteínas presentes em esterco suíno por *Musca domestica* liberam moléculas para decomposição por microorganismos, contribuindo para a maior rapidez na decomposição e maior estabilidade do produto final, quando comparado ao trabalho efetuado por minhocas, por exemplo (Wang et al., 2016).

O resíduo gerado por *Hermetia illucens* na biodegradação de grãos e substratos fermentados também pode ser utilizado como fertilizante. Porém, boa parte do nitrogênio é perdida em forma de amônia. Desta forma, Beesigamukama et al. (2021) foram alguns dos pesquisadores que desenvolveram métodos na tentativa de seqüestrar este nutriente, a fim de melhorar a composição final do fertilizante.

Os diplópodes são outro grupo com potenciais biotransformadores de resíduos orgânicos em biofertilizantes. Segundo Sridhar & Kadamannaya (2009), 90% da camada superior do solo das regiões temperadas do hemisfério Norte são formadas por fezes ricas em minerais e restos de decomposição resultantes da atividade de artrópodes. Porém, estudos sobre esta atividade são ainda escassos (Sridhar & Kadamannaya, 2009).

Desta forma, pode-se dizer que os artrópodes degradam e digerem resíduos orgânicos com diferentes composições, resultando em produtos de boa qualidade para uso como fertilizantes agrícolas. Além disso, eles atuam na biorremediação do solo ao gerar melhoria das condições de saneamento. Para países em desenvolvimento, esta pode ser uma opção econômica e ambientalmente correta para a gestão de resíduos orgânicos (Rajendran et al., 2018).

4.6.4 Polímeros orgânicos

Recentemente, um novo grupo de materiais, os “bioplásticos”, surgiram no mercado. Trata-se de compostos inovadores e ecológicos derivados de fontes renováveis, como óleos, gorduras e proteínas de insetos, amido de milho, gorduras vegetais e subprodutos agrícolas, muitas vezes, a partir de processos mediados por microrganismos e animais. A degradação dos bioplásticos ocorre por ação de bactérias, leveduras e/ou fungos. Eles também podem ser compostados e, portanto, usados como fertilizantes e condicionadores de solo (Setti et al., 2020).

Os insetos também secretam diferentes tipos de polímeros e resinas que têm aplicações comerciais como seda, mel e quitina (Rajendran et al., 2018).

A quitina é o segundo biopolímero mais abundante da natureza, ficando atrás apenas da celulose. Trata-se do principal componente do exoesqueleto e dos epitélios respiratório, excretório e digestório, além da epiderme e de tecidos com coloração iridescente nos artrópodes. Esta substância foi descoberta em 1811 por Henri Braconnot e utilizada mais recentemente na Biomedicina, com diferentes finalidades (Khoushab & Yamabhai, 2010; Abidin et al., 2020; Mahjoub & Domscheit, 2020).

As mais abundantes fontes de quitina, atualmente, são os resíduos gerados na pesca de crustáceos, podendo ser utilizado em biorrefinarias, embora este potencial ainda não seja utilizado com frequência. Estudos relativos à obtenção deste composto a partir de insetos ainda são escassos (Abidin et al., 2020; Mahjoub & Domscheit, 2020; Brandão et al., 2021; Khayrova et al., 2021; Santana et al., 2021).

Kamal et al. (2020) conseguiram extrair quitina de baratas da espécie *Periplaneta americana* através de metodologia simples e de baixo custo. Constataram que, apesar de crustáceos poderem apresentar até 40% de quitina (o dobro do encontrado nos insetos), a forma de criação de camarões e caranguejos, por exemplo, é muito mais complicada, quando comparadas a baratas e a quitina extraída é muito semelhante em estrutura.

A quitosana é uma substância obtida a partir da desacetilação da quitina, utilizada como adubo na agricultura e no tratamento de água, como floculante para clarificação, remoção de íons metálicos e redução de odores. Na indústria alimentícia, tem grande utilidade na incorporação de fibras dietéticas em produtos industrializados, assim como agente conservante em função de suas propriedades fungicida e bactericida. Por se tratar de um biopolímero com características hidrofóbicas pode ser utilizado na produção de embalagens para envolver alimentos. Quitosana e quitinas quimicamente modificadas também são utilizadas na fabricação de papel e de fibras têxteis (Azevedo et al., 2007; Mahjoub & Domscheit, 2020).

Na indústria de cosméticos quitosana é utilizada em produtos com ação esfoliante, no tratamento contra acne, hidratante capilar e creme dental. Em biofarmacêutica, propriedades imunológicas, antitumorais, hemostáticas, cicatrizantes e anticoagulantes vêm sendo estudadas. Porém sua maior aplicação é na área Biomédica, em que a quitosana é utilizada para fabricação de fios de sutura, implantes dentários, implantes ósseos, lentes de contato, peles artificiais, entre outros (Azevedo et al., 2007; Mahjoub & Domscheit, 2020).

A melanina é outro biopolímero extraído do exoesqueleto de alguns insetos e apresenta efeito sinérgico quanto à atividade biológica da quitina. Ela possui grande potencial antioxidan-

te, além de muitas aplicações em biofísica, ciência de materiais, cosméticos e saúde (Khayrova et al., 2021).

A fim de reduzir o impacto gerado por plásticos utilizados na agricultura para cobrir culturas e estufas, Setti et al. (2020) criaram um tipo de filme biodegradável à base de proteína extraída de pré-pupas de *Hermetia illucens*. Os resultados iniciais foram promissores, mas ainda são necessários estudos em relação ao aumento da vida útil do material, que se degrada muito rapidamente em contato com o solo.

4.6.5 Biocombustíveis

Tendo em vista que o petróleo é uma matéria-prima cara, não renovável, que gera poluição atmosférica e cujas reservas fósseis podem se esgotar em futuro próximo, existe a necessidade crescente de desenvolver combustíveis a partir de processos sustentáveis, econômicos e energeticamente eficientes (Wang et al., 2017).

As matérias-primas usadas para produção do biodiesel podem ser classificadas em: óleos vegetais, resíduos de óleos de cozinha, gorduras animais, microorganismos e larvas de artrópodes. A viabilidade econômica do biodiesel depende, em grande parte, do custo destas matérias-primas que, segundo pesquisadores como Niu et. al (2017), Ishak & Kamari (2019) e Pang et al. (2019), correspondem a 70 a 95% do custo de produção.

Segundo Wang et al. (2017), a produção de bioetanol a partir de resíduos lignocelulósicos não é exatamente sustentável, pois necessita de grandes quantidades de água e alto custo de produção, o que o torna pouco competitivo do ponto de vista econômico.

Da mesma forma, os biocombustíveis produzidos a partir de matérias-primas de primeira geração, como milho e cana-de-açúcar, podem contribuir com o aumento de preço dos alimentos, em função da competição por espaço de terra para cultivo, enquanto as biorrefinarias baseadas em insetos utilizam materiais residuais como matérias-primas e, portanto, podem evitar tal conflito (Wang et al., 2017; Rajendran et al., 2018).

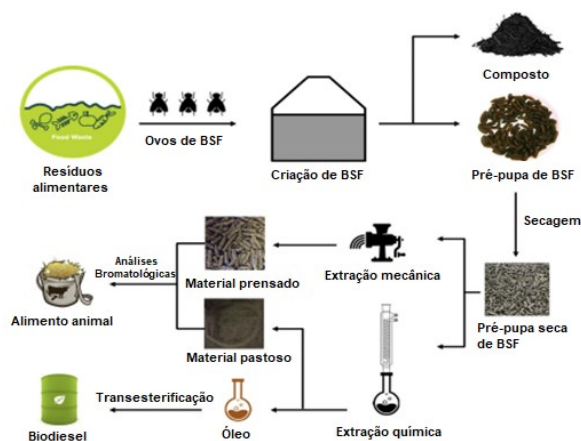
Entre as larvas de insetos, várias espécies foram analisadas para mensurar seus respectivos desempenhos na produção de biodiesel: *Sarcophaga carnaria*, *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, *Musca domestica*, *Lucilia sericata*, *Hermetia illucens* e algumas espécies de formigas (Hymenoptera: Formicidae) (Wong et al., 2019).

Uma vez que larvas e pré-pupas de insetos apresentam elevado teor de gordura, estas podem ser potenciais matérias-primas para produção de biodiesel (Rajendran et al., 2018). Microorganismos como leveduras, microalgas, bacilos e fungos também estão disponíveis para a

produção de biodiesel devido à sua capacidade de acumular grandes quantidades de lipídios celulares, além de realizar processos fermentativos (Niu et al., 2017; Pleissner & Rumpold, 2018). A associação de artrópodes e microorganismos é uma combinação promissora para produção, tanto de biodiesel, quando de bioetanol (Bashir et al., 2013; Kamal et al., 2020).

Surendra et al. (2016) concluiu, através de criação experimental de larvas pré-pupa de *Hermetia illucens* com resíduos de uma cafeteria, que o biodiesel obtido a partir dos lipídios desta espécie ficou dentro da faixa recomendada pelo padrão internacional, com menor viscosidade e maior estabilidade oxidativa (Li et al., 2011; Surendra et al., 2016). Um resumo ilustrado do processo de produção de biodiesel e alimento animal a partir de larvas de BSF, proposto por Surendra et al. (2016) é mostrado na figura 13.

FIGURA 13: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL E ALIMENTO ANIMAL A PARTIR DE LARVAS DE BSF.



FONTE: Adaptado de Surendra et al. (2016).

A partir de levantamentos realizados por Watanabe & Tokuda (2010) e Bashir et al. (2013), cupins (Blattodea: Termitidae) podem produzir biocombustíveis a partir de resíduos contendo celulose, hemicelulose e lignina, com o auxílio de fungos e bactérias.

Bashir et al. (2013) também testaram crustáceos do gênero *Armadillidium* (Malacostraca: Isopoda) e mariposas da espécie *Scirpophaga incertulas* (Lepidoptera: Crambidae) e descobriram o mesmo potencial de biotransformação.

Kamal et al. (2020) testaram também o uso de quitina extraída de baratas da espécie *Periplaneta americana* para produção de bioetanol. Foi possível extrair em torno de 74% do total deste composto através da fermentação com o uso de cepas de fungos da espécie *Mucor circinelloides* isolados de abelhas. O produto final poderia ser utilizado na fabricação de bioetanol.

4.6.6 Biotransformação de resíduos compostos por celulose

Os processos térmicos e bioquímicos para quebra da biomassa lignocelulósica são os geradores dos maiores custos para as biorrefinarias e impactos ao meio ambiente. A hidrólise da celulose normalmente é realizada por fungos, bactérias e protozoários (Gasco et al., 2019), porém poucos microorganismos são realmente eficazes na conversão de glicose e xilose (monossacarídeos resultantes da quebra da lignocelulose) em etanol (Pasti et al., 1990; Bashir et al., 2013; Rojas-Jiménez & Hernández, 2015; Matos et al., 2017).

Por esse motivo, pesquisadores têm investido em alternativas de baixo custo como os insetos para realizar a bionconversão (Li et al., 2015). Li et al. (2015), por exemplo, descobriram que *Hermetia illucens* pode quebrar xilose e glicose e gerar gorduras para uso como biodiesel.

Outra atividade enzimática foi relatada por Matos et al. (2017): estes pesquisadores verificaram a capacidade das leveduras do trato intestinal dos besouros da espécie *Veturius transversus* (Coleoptera: Passalidae) em assimilar D-xilose, monossacarídeo mais comum obtido da quebra da hemicelulose, e produzir xilitol, substância comumente utilizada pela indústria para produção de adoçantes naturais (Rojas-Jiménez & Hernández, 2015).

4.6.7 Medicamentos e princípios ativos

A necessidade de descoberta e exploração de produtos químicos biodegradáveis para desenvolvimento de medicamentos e controle da fauna danosa à agricultura continua incentivando pesquisas de novas moléculas naturais advindas de plantas e animais. A depender de seus hábitos, os artrópodes podem responder rapidamente a infecções microbianas, produzindo moléculas induzidas pelo sistema imunológico que incluem peptídeos e polipeptídeos antibacterianos e antifúngicos. Tais substâncias químicas são utilizadas em comportamentos de comunicação e defesa que ainda estão sendo descobertos e poderão servir como matéria-prima na produção de antibióticos, agentes antitumorais, além de serem úteis no controle biológico de outras espécies prejudiciais à agricultura (Rumpold et al., 2017; Mudalungu et al., 2021).

Peptídeos antimicrobianos estão presentes na hemolinfa dos insetos, sendo componente inato da imunidade. Yi et al. (2014) mostraram que estes peptídeos podem ter atividade biológica significativa contra fungos, vírus, parasitas e bactérias resistentes a determinados antibióticos. Sendo assim, os artrópodes podem servir como organismo-modelo no desenvolvimento

de medicamentos de próxima geração que podem combater patógenos resistentes principalmente a antibacterianos (Mudalungu et al, 2021).

Em levantamento realizado por Mosaheb (2018), foram apresentados estudos com gafanhotos da espécie *Locusta migratoria*, sendo verificada atividade antimicrobiana seletiva em todo o seu organismo contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, sem ação prejudicial a células eucarióticas.

Também em revisão de literatura realizada por Mudalungu et al, 2021, foram elencados insetos das ordens Diptera (em particular *Hermetia illucens*), Coleoptera, Orthoptera e Lepidoptera como portadores de microorganismos produtores de substâncias químicas com atividades antibacteriana, antifúngica, antimalárica, antiinflamatória e citotóxica.

Li et al. (2017) pesquisaram o conteúdo de aminoácidos presentes nas larvas de *Musca domestica* e verificaram alto potencial para atividade anti-oxidante, anti-hipertensiva e anti-diabética, em função da presença de compostos bioativos específicos.

Li et al. (2014, apud Callegari, 2017) relataram que as pupas do bicho-da-seda (*Bombyx mori*) podem ser utilizadas na produção de proteínas com finalidade biomédica. Uma proteína foi obtida pela fusão entre uma subunidade da toxina da cólera e 42 aminoácidos do peptídeo β -amiloide a fim de desenvolver um medicamento de uso oral de baixo custo com ação contra a doença de Alzheimer.

Islam & Yang (2016 apud Rumbos & Athanassiou, 2021) propuseram o uso de probióticos de larvas de *Zophobas morio* como substitutivo de antibióticos em frangos de corte.

Estes são apenas alguns dos estudos que mostram a utilidade dos artrópodes para a saúde humana e animal.

4.6.8 Bioindicadores

A análise de genes ligados à *heat shock protein* em algumas espécies de artrópodes pode ser indicativo de contaminação ambiental. Em *Hermetia illucens* foi observado que esta proteína está presente em diferentes estágios de desenvolvimento, havendo relação direta com seu metabolismo: larvas de instar V apresentam menor quantidade. (Giannetto et al., 2017).

Coelho et al. (2017) também analisaram *heat shock protein* em diplópodes da espécie *Rhinocricus padbergi* (Diplopoda: Spirobolida) para análise de estresse na presença de xenobióticos. Foram analisados efluentes de usina de cana-de-açúcar e biossólidos produzido por uma estação de tratamento de águas residuais, contaminadas com fertilizantes cujo uso é autorizado

pela legislação brasileira. Os resultados demonstraram que a técnica de imunomarcagem no organismo teste pode ser uma ferramenta satisfatória para investigação do potencial tóxico de amostras ambientais e para análise de novas substâncias descartadas no meio ambiente (Coelho et al., 2017).

4.7 BEM-ESTAR ANIMAL

O bem-estar animal é um assunto discutido nas últimas décadas, principalmente em relação aos animais de produção. Em geral, este debate não tem sido aplicado a invertebrados, em função, provavelmente, da menor preocupação envolvida com tal grupo, por ser menos próximo taxonomicamente do ser humano. No entanto, conforme aumenta a necessidade de criação de artrópodes em cativeiro, para as diversas finalidades já apontadas nesta pesquisa, deve-se aumentar, também, a preocupação relativa às condições de vida destes, de modo a gerar um ambiente o mais próximo possível do seu natural (Boppré & Vane-Wright, 2019).

Apesar de haver poucos estudos que comprovem que os artrópodes apresentam consciência ou sentem dor, estes animais devem ser tratados com respeito, afinal, fazem parte da natureza e apresentam funções ecológicas. Neely et al. (2011 apud Giroto & Cossu, 2019) descobriram que os genes responsáveis pela nocicepção (percepção sensorial de estímulos nocivos potencialmente prejudiciais) em insetos foram os mesmos encontrados em mamíferos, o que sugere que ao menos algumas espécies podem sentir dor, sofrimento ou algum tipo de estresse e desconforto quanto expostos a situações adversas (Van Huis et al., 2013; Giroto & Cossu, 2019).

Um dos quesitos preconizados para gerar bem-estar é proporcionar ao animal, um ambiente em que ele possa manifestar comportamentos naturais e intrínsecos à espécie. Por isso, o ideal seria a manutenção de animais em condições de semi-domesticação, ou seja, em contato com populações selvagens (van Huis et al., 2013). A semi-domesticação de determinadas espécies pode ser uma solução sustentável para o suprimento de alimentos, pois mantém a variabilidade genética, reduz o risco de doenças nos animais cativos, como também as chances de extinções devidas à superexploração (van Huis et al., 2013; Varelas & Langton, 2017) e possibilita que a maioria dos animais mantenha os hábitos naturais da espécie (Boppré & Vane-Wright, 2019).

A grande variedade de hábitos de vida dos insetos e a falta de informações acessíveis sobre o melhoramento industrial são fatores que dificultam a determinação de padrões gerais para o bem-estar dos artrópodes (Boppré & Vane-Wright, 2019).

Por isso, já que estudos aprofundados sobre as condições de cativeiro e as formas de eutanásia aconselhadas para cada espécie são escassos, os procedimentos devem apresentar como base, pesquisas em ordens/classes próximas, de modo a chegar o mais próximo possível do padrão fisiológico e, assim, evitar o sofrimento.

Trata-se de um campo de estudos emergente para os entomologistas que, juntamente com pesquisas envolvendo Ecologia, Fisiologia e Etologia, podem trazer melhorias nas condições de criação de insetos e outros artrópodes (Boppré & Vane-Wright, 2019).

4.8 LEGISLAÇÃO

Pelo fato de ainda ser uma novidade na indústria de alimentos mundial, muitos países restringem o uso de artrópodes na alimentação humana e animal (Allegretti et al., 2018). A União Européia (UE) é o bloco de países que apresenta mais avanços recentes quanto à regulamentação sobre o uso de artrópodes. Em 2015, a UE estabeleceu diretrizes para produção e venda de insetos para alimentação humana e animal e desde 2017 existe regulamentação sobre o uso de larvas em alimentação na aquicultura (Schrögel & Wätjen, 2019).

De acordo com o Regulamento de Subprodutos Animais (ABP) da UE 1069/2009, o fornecimento de fontes proteicas a animais de criação é permitido apenas após processamento, como óleo ou proteína hidrolizada, por exemplo, a fim de evitar a transmissão de príons, como o causador de encefalopatia espongiiforme. O fornecimento de insetos para alimentação humana e animal apenas é autorizado quando estes fazem parte de criações realizadas especificamente para esta finalidade (Allegretti et al., 2018; Schrögel & Wätjen, 2019).

Ainda conforme este regulamento, os insetos não patogênicos são classificados como material de baixo risco, sendo, portanto, considerados adequados para alimentação de animais de criação. No entanto, outras normativas da ABP européia determinam que insetos criados a base de esterco não podem ser fornecidos para animais de produção, enquanto substratos vegetais e alimentos não processados, como laticínios e ovos, são permitidos. (Allegretti et al., 2018).

A comercialização de produtos a base de insetos na Europa é regulada pela *European Food Safety Authority*, devendo haver registro das empresas, a fim de que seus produtos pos-

sam ser disponibilizados no mercado. Apenas Bélgica, Holanda, Luxemburgo, França e Reino Unido apresentam este tipo de produto em seu mercado interno. (Giroto & Cossu, 2019).

Apesar de o continente asiático apresentar a história mais longa em relação ao uso de artrópodes na alimentação humana e animal, ainda não existem políticas e regulamentações específicas para este fim. Da mesma forma, na América, ainda é necessário que sejam desenvolvidas estruturas regulatórias e legislações específicas para o uso de farinhas de insetos como ração animal e para melhorar as metodologias de avaliação de risco alimentar (Giroto & Cossu, 2019).

Nos Estados Unidos, a *Food and Drug Administration* (FDA), que seria o órgão responsável pela regulamentação do uso de insetos como alimento, não fornece qualquer documento de orientação que trate deste assunto. Os insetos são mencionados apenas em níveis de contaminação em produtos agrícolas, sendo definidos limites quanto a sua presença (Giroto & Cossu, 2019).

Na Austrália, os insetos são considerados uma nova fonte de alimento. Sendo assim, tudo o que for produzido com esta matéria-prima deve ter aprovação do FSANZ (*Food Standards Australia and New Zealand*) antes da venda. Alguns produtos já apresentam aprovação prévia, como os produzidos a partir de larvas e besouros de *Tenebrio molitor* e de grilos (Insecta: Orthoptera). Estes produtos podem ser fornecidos a peixes, aves, porcos e outros animais de estimação. Porém, sendo os insetos considerados animais de produção, é vetado o uso de esterco, restos de comida ou produtos de carne não processados em sua alimentação (DiGiacomo & Leury, 2019).

A legislação brasileira não prevê a presença de proteína a partir de artrópodes em alimentação animal e humana. O Brasil segue o Codex Alimentarius, padrão de referência internacional para alimentos e rações instituído pela FAO e pela Organização Mundial da Saúde. A única exigência neste sentido, é que os ingredientes usados para produção de rações sejam "seguros e adequados" e não representem um risco inaceitável para a saúde do consumidor. Sendo assim, não existem, hoje, normas no Codex sobre o uso de insetos em ração animal, sendo estes considerados impurezas que devem ser evitadas (Allegretti et al., 2018).

4.9 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

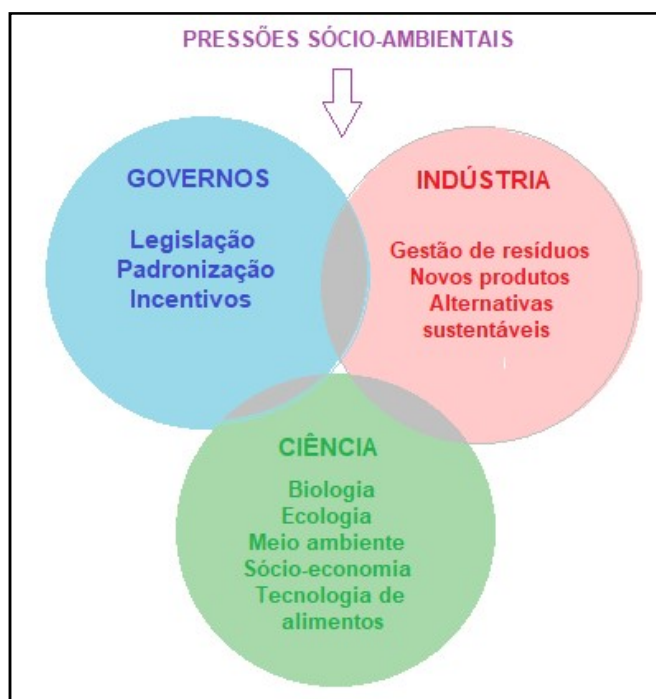
Embora a criação comercial de insetos seja favorecida pelas condições climáticas de países tropicais, como o Brasil, a produção em larga escala requer investimentos científicos, regulatórios e tecnológicos, conforme ilustra a figura 14 (Allegretti et al., 2018).

Regulamentações claras são necessárias e devem ser implementadas, não apenas para definir melhores práticas que assegurem a saúde da população humana, mas também gerem os devidos cuidados em relação ao bem-estar durante a criação em massa de artrópodes (Makkar et al., 2014).

Animais reproduzidos em cativeiro, dentro da mesma linhagem e sem contato com populações selvagens, se tornam mais suscetíveis a determinados patógenos que podem exterminar populações (van Huis, 2015; Ravi et al., 2020). Neste sentido, estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de melhorar a imunidade e aspectos reprodutivos em *Tenebrio molitor* e *Musca domestica* (Eriksson & Picard, 2021), porém outras alternativas são necessárias.

O desenvolvimento tecnológico que possibilite um bom desempenho e a redução de impactos do processo de produção de artrópodes é imprescindível para que esta se torne realmente uma alternativa sustentável para os métodos de produção tradicionais (Van Huis, 2013).

FIGURA 14: RESPONSABILIDADES COMPARTILHADAS ENTRE GOVERNO, INDÚSTRIA E A CIÊNCIA, PARA PROMOVER A APLICAÇÃO DOS ARTRÓPODES NA BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS.



FONTE: ADAPTADO DE Van Huis (2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem muitas espécies de artrópodes, principalmente de insetos, cuja produção vem ocorrendo em todo o mundo há pelo menos uma década. Observa-se que muitas das espécies mais utilizadas são, de alguma forma, prejudiciais aos seres humanos. Seria interessante o uso de espécies potencialmente problemáticas para agricultura ou saúde pública, de forma controlada, na tentativa de mudar a sua ação: torná-las soluções ao invés de problema. Entre as sugestões, estaria o estudo de cupins, formigas e baratas.

Apesar de a literatura considerar *Tenebrio molitor* e *Zophobas morio* espécies de fácil criação em cativeiro, algumas condições mínimas relativas à sua biologia devem ser respeitadas, a fim de garantir o seu desenvolvimento. Questões sanitárias que impeçam a ação de outros animais também são indispensáveis.

A partir de todos os dados apresentados, pode-se dizer que a maioria das espécies abordadas possui exigências quando à criação. Todas as espécies apresentam vantagens e desvantagens, quando comparadas. Por isso, é necessário pensar que estudos e investimentos são inevitáveis, mas que, a longo prazo, haverá retorno no sentido econômico, ambiental e social.

A implementação de um sistema de criação de artrópodes diretamente no local de criação animal, com diferentes espécies da região sendo utilizadas de forma complementar, poderia fechar um ciclo em que cada espécie atinja sua melhor performance com um tipo de substrato, a baixo custo, possibilitando o reaproveitamento de resíduos, proporcionando bem-estar animal. Além disso, um sistema implantado na região de produção pode possibilitar a geração de empregos, bem como reduzir custos e impactos com o transporte dos resíduos. Isso gera desenvolvimento local, com a valorização dos resíduos ocorrendo próximo da população e servindo, também, como um potencial educador.

Como apontado neste trabalho, muitas vantagens ocorrem quando inseridos artrópodes na biotransformação de resíduos. Estes apresentam um importante papel ecológico em muitos aspectos e a sua presença nos meios de produção pode conduzir o ser humano para um caminho mais próximo do natural, em que os animais desempenham suas funções e auxiliam o retorno dos nutrientes à natureza.

Devido à diversidade de artrópodes no Brasil e, tendo em vista que a criação de animais nativos é mais adequada, por reduzir a necessidade de adaptação dos animais a fatores climáticos, por exemplo, além das questões ecológicas, seria interessante o desenvolvimento de pesquisas com espécies brasileiras. Porém, poucos estudos tratam a respeito de espécies nati-

vas, embora a maioria das pesquisas aqui apresentadas tenha mostrado espécies exóticas adaptadas ao Brasil.

A poluição ambiental, o aumento da população, a escassez de água potável e o mau uso da terra estão gerando a necessidade de desenvolver métodos e tecnologias alternativas para a alimentação e a manutenção da sociedade moderna (Cadinu et al., 2020).

Porém, apenas a conversão alimentar em artrópodes não é suficiente para degradar totalmente a alta diversidade de resíduos orgânicos presentes (Fowles e Nansen, 2019). É preciso reduzir o consumo e repensar o estilo de vida moderno.

A produção de artrópodes pode trazer muitos benefícios sócio-ambientais, contribuir para alcançar objetivos de sustentabilidade e promover novas oportunidades de mercado. Porém, são exigidas muitas mudanças governamentais e culturais, além de desenvolvimento de tecnologias para que ocorra a implementação de um sistema concreto e eficaz (Mahjoub & Domscheit, 2020). Trata-se de mudanças importantes e necessárias, pois conforme apontado neste trabalho, várias aplicações são possíveis, com resultados promissores.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-SHAFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 27, n. 4, p. 1275–1290, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>. Acesso em: 14 jun. 2021.
- ABIDIN, N. A. Z.; KORMIN, F.; ANUAR, N. A. F. M.; BAKAR, M. F. A. The potential of insects as alternative sources of chitin: An overview on the chemical method of extraction from various sources. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 14, 4978, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms21144978>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- AGENDA 2030. A Integração dos ODS. 2021. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/sobre/>. Acesso em: 10 out. 2020.
- AJIBOYE, O.; YAKUBU, A. F.; ADAMS, T. E.; OLAJI, E. D.; NWOGU, N. A. A review of the use of copepods in marine fish larviculture. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 21, n. 2, p. 225–246, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9169-3>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- ALLEGRETTI, G.; TALAMINI, E.; SCHMIDT, V.; BOGORNI, P. C.; ORTEGA, E. Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 403-412. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.244>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- AMASUOMO, E.; BAIRD, J. The Concept of Waste and Waste Management. **Journal of Management and Sustainability**, v. 6, n. 4, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.5539/jms.v6n4p88>. Acesso em: 10 out. 2020.
- ANTUNES, L. F. S.; SCORIZA, R. N.; SILVA, D. G.; CORREIA, M. E. F. Consumo de resíduos agrícolas e urbanos pelo diplópode *Trigoniulus corallinus*. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 162-168, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6192>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- ATAÍDE, L. M. S.; RESENDE, M. C.; LOPES, S. R.; et al. Communities of arthropods associated with the composting process of the organic solid waste produced in a landfill in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08467-z>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; FOOK, M. V. L.; COSTA, A. C. F. M. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2.3, p. 27–34, 2007. Disponível em: https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/4_diversidade/alimentacao/Textos/Quitina_Quitosana.pdf. Acesso em: 13 jun. 2021.

- BARRAGAN-FONSECA, K. B.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/eea.12716>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- BARRY, T. Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*). Doctor of Philosophy. University of North Texas. **UNT Digital Library**, p. 176, 2004. Disponível em: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc4639/>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- BASHIR, Z.; KONDAPALLI, V. K.; ADLAKHA, N.; et al. Diversity and functional significance of cellulolytic microbes living in termite, pill-bug and stem-borer guts. **Scientific Reports**, v. 3, n. 2558, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep02558>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- BESIGAMUKAMA, D.; MOCHOGE, B.; KORIR, N. K.; et al. Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. **Waste Management**, v. 119, p. 183–194, 2021. The Author(s). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.043>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- BOSCH, G.; OONINCX, D. G. A. B.; JORDAN, H. R.; et al. Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 6, n. 2, p. 95–109, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0004>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- BRANDÃO, A. S.; GONÇALVES, A.; SANTOS, J. M. R. C. A. Circular bioeconomy strategies: From scientific research to commercially viable products. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126407>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 227, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3. Acesso em: 16 out. 2020.
- VAN BROEKHOVEN, S.; OONINCX, D. G. A. B.; VAN HUIS, A.; VAN LOON, J. J. A. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. **Journal of Insect Physiology**, v. 73, p. 1–10, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- CADINU, L. A.; BARRA, P.; TORRE, F.; DELOGU, F.; MADAU, F. A. Insect Rearing:

- Potential, Challenges, and Circularity. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4567, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12114567>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- CAI, M.; ZHANG, K.; ZHONG, W.; et al. Bioconversion-Composting of Golden Needle Mushroom (*Flammulina velutipes*) Root Waste by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) Larvae, to Obtain Added-Value Biomass and Fertilizer. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 2, p. 265–273, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0063-2>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- CALIGIANI, A.; MARSEGLIA, A.; LENI, G.; et al. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. **Food Research International**, v. 105, p. 812–820, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- CALLEGARI, M. The gut microbiome associated to honeybees and waste-reducing insects. Università degli studi di Milano. Dipartimento di Scienze per gli Alimento, la Nutrizione e L'ambiente, 2017. Tesi di dottorato. 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.13130/m-callegari_phd2017-12-21. Acesso em: 25 jun. 2021.
- CAPPELLOZZA, S.; LEONARDI, M. G.; SAVOLDELLI, S.; et al. A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy. **Animals**, v. 9, n. 5, p. 278, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.3390/ani9050278>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- CARDOSO, S. A. E. Utilização De Insetos Na Alimentação Humana E Animal. 79 f. Mestrado Integrado em Medicina Veterinária. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias - Faculdade de Medicina Veterinária. Lisboa, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10437/7638>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- CHAGAS-JR., A.; BARBOSA, J. P. P. P. – Capítulo 31: Myriapoda – Diplopoda, Chilopoda, Pauropoda e Symphyla. In: FRANSOZO, A.; NEGREIROS-FRANSOZO, M. L. Zoologia dos Invertebrados. **Editora Roca**, Rio de Janeiro, 1 ed, 2016, p. 514-530.
- ČIČKOVÁ, H.; NEWTON, G. L.; LACY, R. C.; KOZÁNEK, M. The use of fly larvae for organic waste treatment. **Waste Management**, v. 35, p. 68–80, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- COELHO, M. P. M.; MOREIRA-DE-SOUSA, C.; DE SOUZA, R. B.; et al. Toxicity evaluation of vinasse and biosolid samples in diplopod midgut: heat shock protein in situ localization. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 27, p. 22007–22017, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/179082>. Acesso em: 24 jun 2021.
- CORREIA, D. S. Estudo de Diversidade Genética e Produção de Enzimas Celulolíticas em

Bactérias Associadas ao Trato Intestinal de Invertebrados Saprófagos. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação Agropecuária, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Seropédica, RJ, 109f., 2014. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/2318/2/2014%20%20Dayana%20da%20Silva%20Correia.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

DAR, M. A.; SHAIKH, A. A.; PAWAR, K. D.; PANDIT, R. S. Exploring the gut of *Helicoverpa armigera* for cellulose degrading bacteria and evaluation of a potential strain for lignocellulosic biomass deconstruction. **Process Biochemistry**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.08.001>. Acesso em: 19 jun. 2021.

DEMIRBAS, A. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Conversion and Management*, v. 52, n. 2, p. 1280–1287, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.025>. Acesso em: 10 out. 2020.

DIEHL, E.; VALSAMAKIS, G.; MERKUS, K.; et al. Alternative invertebrate protein as a source for animal feed. 120f, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/11399886/Alternative_invertebrate_protein_as_a_source_for_animal_feed. Acesso em: 24 jun. 2021.

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. **Waste Management and Research**, v. 27, n. 6, p. 603–610, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>. Acesso em: 19 jun. 2021.

DIENER, S.; STUDDT SOLANO, N. M.; ROA GUTIÉRREZ, F.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and Biomass Valorization**, v. 2, n. 4, p. 357–363, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DIGIACOMO, K.; LEURY, B. J. Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs? **Animal**, v. 13, n. 12, p. 3022-3030, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731119001873>. Acesso em: 19 jun. 2021.

DRILLET, G.; FROUËL, S.; SICHLAU, M. H.; et al. Status and recommendations on marine copepod cultivation for use as live feed. **Aquaculture**, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.027>. Acesso em: 24 jun. 2021.

EWUSIE, E. A.; KWAPONG, P. K.; OFOSU-BUDU, G.; SANDROCK, C.; et al. The black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Trapping and culturing of wild colonies in Ghana. **Scientific African**, v. 5, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00134> . Acesso em: 19 jun. 2021.

ERIKSSON, T.; PICARD, C. J. Genetic and genomic selection in insects as food and feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, p. 1–22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0097>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ESQUIVEL, J. F.; CRIPPEN, T. L.; WARD, L. A. Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)-Part I: Morphological features for sex determination of multiple stadia. **Psyche: A Journal of Entomology**, London, v. 2012, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2012/328478> Acesso em: 21 jul. 2021.

FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>. Acesso em: 07 out. 2020.

FAUZIAH, S. H.; PERIATHAMBY, A. Sustainable Household Organic Waste Management via Vermicomposting. *Malaysian Journal of Science*. v. 28, n.2, p. 135- 142, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.22452/mjs.vol28no2.3>. Acesso em: 16 out. 2020.

FARIA, A. C. E. A. DE; CARMINO HAYASHI; SOARES, C. M.; GONÇALVES, G. S. Avaliação dos grupos zooplanctônicos em tanques experimentais submetidos à adubação com diferentes substratos orgânicos Evaluation of zooplankton groups in experimental ponds with the use of different organic substrates. **Acta Scientiarum : Biological Sciences**, v. 22, n. 0, p. 375–381, 2000. Disponível em: Acesso em:

FOURNIER, P.; SZCZEPANSKI, C. R.; GODEAU, R. P.; Godeau, G. Chitosan Extraction from *Goliathus orientalis* Moser, 1909: Characterization and Comparison with Commercially Available Chitosan. **Biomimetics**, v. 2, n. 5, p. 15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biomimetics5020015>. Acesso em: 12 jun. 2021.

FOWLES, T. M.; NANSEN, C. Artificial selection of insects to bioconvert pre-consumer organic wastes. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 3, p. 1–14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0577-z>. Acesso em: 12 jun. 2021.

FOWLES, T.M.; Nansen, C. Insect-Based Bioconversion: Value from Food Waste. *Food Waste Management*. Springer Nature, pp 321-346, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12. Acesso em: 03 abr. 2021.

FUSS, M.; BARROS, R. T. V.; POGANIETZ, W. R. Designing a framework for municipal solid waste management towards sustainability in emerging economy countries - An application to a case study in Belo Horizonte (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, v. 178, p. 655–664, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.051>. Acesso em: 22 out.

2020.

GAO, Z.; WANG, W.; LU, X.; et al. Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 974–980, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.074> . Acesso em: 13 jun. 2021.

GASCO, L.; DABBOU, S.; TROCINO, A.; et al. Effect of dietary supplementation with insect fats on growth performance, digestive efficiency and health of rabbits. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2019. Disponível em: Acesso em: 13 jun. 2021.

GIANNETTO, A.; OLIVA, S.; LANES, C. F. C.; et al. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. **Journal of Biotechnology**, v. 307, p. 44–54, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>. Acesso em: 19 jun. 2021.

GIANNETTO, A.; OLIVA, S.; MAZZA, L.; et al. Molecular characterization and expression analysis of heat shock protein 70 and 90 from *Hermetia illucens* reared in a food waste bioconversion pilot plant. **Gene**, v. 627, p. 15–25, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2017.06.006>. Acesso em: 19 jun. 2021.

GIROTTI, F.; COSSU, R. Role of animals in waste management with a focus on invertebrates' biorefinery: An overview. **Environmental Development**, v. 32 , n. 7, p. 100454, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.08.001>. Acesso em: 14 jun. 2021.

Global Biodiversity Information Facility – GBIF. 2021. Disponível em: www.gbif.org.

GOLD, M.; J. K.TOMBERLIN; STEFAN DIENER; ZURBRÜGG, C.; MATHYSA, A. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. **Waste Management**, v. 82, p. 302–318, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022> . Acesso em: 19 jun. 2021.

GOLD, M.; CASSAR, C. M.; ZURBRÜGG, C.; et al. Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. **Waste Management**, v. 102, p. 319–329, 2020. Disponível em: Acesso em: 19 jun. 2021.

GUO, H.; JIANG, C.; ZHANG, Z.; LU, W.; WANG, H. Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). **Science of The Total Environment**, v. 750, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141656>. Acesso em: 19 jun. 2021.

- HASNOL, S.; KIATKITTIPONG, K.; KIATKITTIPONG, W.; et al. A Review on Insights for Green Production of Unconventional Protein and Energy Sources Derived from the Larval Biomass of Black Soldier Fly. **Processes**, v. 8, n. 5, p. 523, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr8050523>. Acesso em:
- HARSÁNYI, E.; JUHÁSZ, C.; KOVÁCS, E.; HUZSVAI, L.; PINTÉR, R.; FEKETE, G.; VARGA, Z. I.; ALESKZA, L.; GYURIKZA, C. Evaluation of Organic Wastes as Substrates for Rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* Larvae as Alternative Feed Supplements. **Insects**, v. 11, n. 9, p. 604, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects11090604> . Acesso em: 24 jun. 2021.
- HASAN, H. A.; LEONG, K. P. Growth of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) and *Sarcophaga dux* (Diptera: Sarcophagidae) larvae in poultry and livestock manures: Implication for animal waste management. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 3, p. 880–884, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.07.001>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- VAN HUIS, A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 563–583, 2013. Disponível em: <http://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- VAN HUIS, A. Edible insects contributing to food security? **Agriculture and Food Security**, v. 4, n. 20, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- ILEKE, K. D.; OLAOYE, M. F. O.; OLABIMI, I. O. Beneficial utilization of house fly, *Musca domestica* [Diptera: Muscidae]. **Lebanese Science Journal**, v. 21, n. 2, p. 0–3, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22453/LSJ-021.2.146-155>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- ISHAK, S.; KAMARI, A. A review of optimum conditions of transesterification process for biodiesel production from various feedstocks. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 5, p. 2481–2502, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02279-6>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- JONGEMA, Y. List of edible insects of the world. 2017. Disponível em: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm> Acesso em: 12 jun. 2021.
- JUCKER, C.; DEFILIPPO, F.; LUPI, D.; P. GIGANTE, S. SAVOLDELLI, E. FERRETTI, M. CURATOLO, A. BASSI, P. B.; DOTTORI, M. Bioaccumulation of cadmium in *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Hermetia illucens*. **Insect as food & feed/processing, conservation & food safety of insect products**, v. 6, n. 1, p. 16, 2020. Disponível em:

<http://hdl.handle.net/2434/803322>. Acesso em: 24 jun. 2021.

KABEYA, N.; OGINO, M.; USHIO, H.; HAGA, Y.; SATOH, S.; NAVARRO, J. C. A complete enzymatic capacity for biosynthesis of docosahexaenoic acid (DHA, 22 : 6n-3) exists in the marine Harpacticoida copepod *Tigriopus californicus*. **Open Biology**, v. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsob.200402>. Acesso em: 24 jun. 2021.

KAMAL, M.; ADLY, E.; ALHARBI, S. A.; et al. Exploring simplified methods for insect chitin extraction and application as a potential alternative bioethanol resource. **Insects**, v. 11, n. 11, p. 788, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.3390/insects11110788>. Acesso em: 24 jun. 2021.

KATSUMA, S.; KIUCHI, T.; KAWAMOTO, M.; FUJIMOTO, T.; SAHARA, K. Unique sex determination system in the silkworm, *Bombyx mori*: Current status and beyond. **Proceedings of the Japan Academy Series B: Physical and Biological Sciences**, v. 94, n. 5, p. 205–216, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.2183/pjab.94.014>. Acesso em: 28 jul. 2021.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. **Urban Development**; Washington, DC: World Bank, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> Acesso em: 26 mai. 2021.

KENIS, M.; BOUWASSI, B.; BOAFO, H.; et al. Small-Scale Fly Larvae Production for Animal Feed. **Edible Insects in Sustainable Food Systems**. p.239–261, 2018. Disponível em: http://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_15. Acesso em: 24 jun. 2021.

KHAYROVA, A.; LOPATIN, S.; VARLAMOV, V. Obtaining chitin, chitosan and their melanin complexes from insects. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 167, p. 1319-1328 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.086>. Acesso em: 19 jun. 2021.

KHOUSHAB, F.; YAMABHAI, M. Chitin Research Revisited. **Marine Drugs**, v.8, n. 7, p. 1988–2012, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/md8071988>. Acesso em: 12 jun. 2021.

KIM, C. H.; RYU, J.; LEE, J.; 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, p. 161, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9010161>. Acesso em: 19 jun. 2021.

LALANDER, C.; DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; VINNERÅS, B. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 211–219, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>. Acesso em: 13 jun. 2021.

- LANES, C. F. C.; PEDRON, F. A.; BERGAMIN, G. T.; et al. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae and Prepupae Defatted Meals in Diets for Zebrafish (*Danio rerio*). **Animals**, v. 11, n. 3, p. 720, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11030720>. Acesso em: 26 jun. 2021.
- LARDÉ, G. Recycling of coffee pulp by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. **Biological Wastes**, v. 33, n. 4, p. 307–310, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(90\)90134-E](https://doi.org/10.1016/0269-7483(90)90134-E). Acesso em: 28 jun. 2021.
- 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. Disponível em: <http://doi.org/10.3934/bioeng.2018.4.226>. Acesso em: 26 jun. 2021.
- LEBEDEV, Y. M.; GONGALSKY, K. B.; GORBUNOVA, A. Y.; ZAITSEV, A. S. Rice Straw Decomposition by Woodlice (Isopoda, Oniscidea) and Millipedes (Myriapoda, Diplopoda) in the Soils of Kalmykia in a Laboratory Experiment. **Arid Ecosystems**, v. 10, n. 3, p. 251–254, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S2079096120030026>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- LEONG, S. Y.; KUTTY, S. R. M.; BASHIR, M. J. K.; LI, Q. A circular economy framework based on organic wastes upcycling for biodiesel production from *hermetia illucens*. **Engineering Journal**, v. 25, n. 2, p. 223–234, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4186/ej.2021.25.2.223>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G.; SHAPIRO-ILAN, D. Introduction. **Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates and Entomopathogens**. p.3–16, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-391453-8.00001-7>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- LEUNG, D.; YANG, D.; LI, Z.; et al. Biodiesel from *Zophobas morio* larva oil: Process optimization and FAME characterization. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 51, n. 2, p. 1036–1040, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ie201403r>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- LI, H.; INOUE, A.; TANIGUCHI, S.; et al. Multifunctional biological activities of water extract of housefly larvae (*Musca domestica*). **PharmaNutrition**, v. 5, n. 4, p. 119-126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2017.09.001>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- LI, L.; XIE, B; DONG, C.; et al. Can closed artificial ecosystem have an impact on insect microbial community? A case study of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). **Ecological Engineering**, v. 86, p. 183–189, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.015>. Acesso em: 18 jun. 2021.

- LI, Q.; ZHENG, L.; QIU, N.; et al. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. **Waste Management**, v. 31, p. 1316–1320, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.005>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- LI, T. H.; CHE, P. F.; ZHANG, C. R.; ZHANG, B.; ALI, A.; ZANG, L. S. Recycling of spent mushroom substrate: Utilization as feed material for the larvae of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Plos One**, v. 15, n. 8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237259>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- LI, W.; LI, M.; ZHENG, L.; et al. Simultaneous utilization of glucose and xylose for lipid accumulation in black soldier fly. **Biotechnology for Biofuels**, v. 14, n. 8, p. 117, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0306-z>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- LIU, C.; WANG, C.; YAO, H. Comprehensive Resource Utilization of Waste Using. **Animals**, v. 9, p. 349, 2019. Disponível em: <https://doi:10.3390/ani9060349>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- LIU, X.; CHEN, X.; WANG, H.; et al. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. **PLoS ONE**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601> Acesso em: 19 jun. 2021.
- LIU, Z.; MINOR, M.; MOREL, P. C. H.; NAJAR-RODRIGUEZ, A. J. Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. **Environmental Entomology**, v. 47, n. 6, p. 1609–1617, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.1093/ee/nvy141> Acesso em: 13 jun. 2021.
- LOHRI, C. R.; DIENER, S.; ZABALETA, I.; MERTENAT, A.; ZURBRÜGG, C. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 16, p. 81–130, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- LOPES, I. G.; CECILIA LALANDER; ROSE MEIRE VIDOTTI; VINNERÅS, B. Reduction of Bacteria in Relation to Feeding Regimes When Treating Aquaculture Waste in Fly Larvae Composting. **Front. Microbiol.**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01616>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- LORETO, N. **Larval performance , morphological , behavioural and electrophysiological studies on *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera : Tenebrionidae)**. Università Politecnica delle Marche Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali Scuola di dottorato in Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali – XVII° ciclo. **PhD. Thesis**, 2019. Disponível em:

<http://hdl.handle.net/11566/263534> Acesso em: 13 jun. 2021.

LYN, J.; AKSENOV, V.; LEBLANC, Z.; ROLLO, C. D. Life History Features and Aging Rates: Insights from Intra-specific Patterns in the Cricket *Acheta domesticus*. **Evolutionary Biology**, v. 39, n. 3, p. 371–387, 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.5772/intechopen.70452>>. Acesso em: 31/7/2021.

MAHJOUB, B.; DOMSCHEIT, E. Chances and challenges of an organic waste-based bioeconomy. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 25, p. 100388, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100388>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MAIOLO, S.; PARISI, G.; BIONDI, N.; et al. Fishmeal partial substitution within aquafeed formulations: life cycle assessment of four alternative protein sources. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 8, p. 1455–1471, 2020. Acesso em: 19 jun. 2021.

MAKKAR, H. P. S.; TRAN, G.; HEUZÉ, V.; ANKERS, P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, v. 197, p. 1–33, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>. Acesso em: 22 out. 2020.

MARCHI, F. L. ; MAINENTEA, M.; LEONARDI, S.; SCHEURER, A.; WANGORSCH, V.; MAHLERCD, R.; PILOLLIE, D.; SORIO, G. Z. Allergenicity assessment of the edible cricket *Acheta domesticus* in terms of thermal and gastrointestinal processing and IgE cross-reactivity with shrimp. **Food Chemistry**, v. 359, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129878>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MATOS, I. T. S. R.; ASSUNÇÃO, E. N.; DO CARMO, E.; SOARES, V. M.; ASTOLFI-FILHO, S. Isolation and characterization of yeasts able to assimilate sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate and produce xylitol associated with *Veturius transversus* (passalidae, coleoptera, and insecta). **International Journal of Microbiology**, v. 2017, n. January, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/5346741>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MIRANDA, C. D.; JONATHAN A. CAMMACK; JEFFERY K. TOMBERLIN. 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, p. 440, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/insects10120440>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MORAIS, A. T. S. Efeito de diferentes compostos no desenvolvimento larval da mosca-soldado-negra (*Hermetia* sp.) e eficiência no processo de decomposição desses resíduos. 41f. (Graduação em Agronomia) Campus Parauapebas, **Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA**, 2020. Disponível em: bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1661. Acesso em: 24

jun. 2021.

MOSAHEB, M. U. W. F. Z.; KHAN, N. A.; SIDDIQUI, R. Cockroaches, locusts, and envenomating arthropods: A promising source of antimicrobials. **Iranian Journal of Basic Medical Sciences**, v. 21, n. 9, p. 873-877, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.22038/IJBMS.2018.30442.7339>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MUDALUNGU, C. M.; TANGA, C. M.; KELEMU, S.; TORTO, B. An overview of antimicrobial compounds from african edible insects and their associated microbiota. **Antibiotics**, v. 10, n. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antibiotics10060621>. Acesso em: 24 jun. 2021.

NIU, Y.; ZHENG, D.; YAO, B.; et al. A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. **Waste Management**, v. 61, p. 455-460, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.054>. Acesso em: 13 jun. 2021.

NYAKERI, E. M.; AYIEKO, M. A.; AMIMO, F. A.; SALUM, H.; OGOLA, H. J. O. An optimal feeding strategy for black soldier fly larvae biomass production and faecal sludge reduction. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 5, n. 3, p. 201–213, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0017>. Acesso em: 24 jun. 2021.

OCIO, E.; VIÑARAS, R.; REY, J. M. House fly larvae meal grown on municipal organic waste as a source of protein in poultry diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 227–231, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(79\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(79)90016-6). Acesso em: 12 jun. 2021.

OHJA, S.; BUBLER, S.; SCHLUTER, O. K. Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. *Waste management*, v. 118, p. 600-609, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.010>. Acesso em: 16 jun. 2021.

OONINCX, D. G. A. B.; FINKE, M. D. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. **Journal of Insects as Food and Feed**, p. 1–22, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0050>. Acesso em: 24 jun. 2021.

OSIMANI, A.; MILANOVIĆ, V.; RONCOLINI, A.; et al. *Hermetia illucens* in diets for zebrafish (*Danio rerio*): A study of bacterial diversity by using PCR-DGGE and metagenomic sequencing. **PLoS ONE**, v. 14, n. 12, p. 1–14, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0225956>. Acesso em: 19 jun. 2021.

PAMINTUAN, K. R. S.; CAJAYON, J. A. B.; DABLEO, G. B. Growth characteristics and lipid content of black soldier fly (*hermetia illucens*) larva reared in milkfish offal and mixed vegetable wastes. **ACM International Conference Proceeding Series**, p. 163–168, 2019.

- Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3375923.3375957>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- PANG, W.; HOU, D.; KE, J.; et al. Production of biodiesel from CO₂ and organic wastes by fermentation and black soldier fly. **Renewable Energy**, v. 149(C), p. 1174–1181, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.099>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- PARODI, A.; BOER, I. J. M. DE; GERRITS, W. J. J.; et al. Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing – A mass balance approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122–488, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122488>. Disponível em: Acesso em: 19 jun. 2021.
- PARRY, N. J.; PIETERSE, E.; WELDON, C. W. Stocking rate and organic waste type affect development of three *Chrysomya* species and *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae): Implications for bioconversion. **Journal of Applied Entomology**, v. 144, n. 1–2, p. 94–108, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jen.12712>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- PASTI, M. B.; POMETTO, A. L.; NUTI, M. P.; CRAWFORD, D. L. Lignin-solubilizing ability of actinomycetes isolated from termite (termitidae) gut. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 56, n. 7, p. 2213–2218, 1990. Disponível em: <http://doi.org/10.1128/aem.56.7.2213-2218.1990>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- PERMANA, A. D.; RAMADHANI EKA PUTRA, J. E. N. Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Coffee Ground. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 187, n. 1, p. 0–7, 2018. Disponível em: Acesso em:
- PERVEEN, F. K.; KHAN, A. Introductory Chapter: Lepidoptera. **Lepidoptera**, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.5772/intechopen.70452>. Acesso em: 30 jun. 2021.
- PIETZSCH, N.; RIBEIRO, J. L. D.; MEDEIROS, J. F. DE. Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste : A systematic literature review. *Waste Management*, v. 67, p. 324–353, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.004>. Acesso em:
- PIMENTEL, A. C.; MONTALI, A.; BRUNO, D.; TETTAMANTI, G. Metabolic adjustment of the larval fat body in *Hermetia illucens* to dietary conditions. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 20, n. 4, p. 1307–1313, 2017. Disponível em: Acesso em: 13 jun. 2021.
- PLEISSNER, D.; RUMPOLD, B. A. Utilization of organic residues using heterotrophic microalgae and insects. **Waste Management**, v. 72, p. 227–239, 2018. Disponível em: Acesso em: 14 jun. 2021.
- QASIM, M.; XIAO, H.; HE, K.; et al. Impact of landfill garbage on insect ecology and human health. *Acta Tropica*, v. 211, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105630>. Acesso em: 22 out. 2020.

- QI, X.; LI, Z.; AKAMI, M.; MANSOUR, A.; NIU, C. Fermented crop straws by *Trichoderma viride* and *Saccharomyces cerevisiae* enhanced the bioconversion rate of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 28, p. 29388–29396, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06101-1>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- RAO, D. History of Composting. 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1408.8402>. Acesso em: 22 out. 2020.
- RAFAEL, J. A.; DA SILVA, N. M.; DIAS, R. M. N. S. Baratas (Insecta, Blattaria) sinantrópicas na cidade de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 173–177, 2008. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100020>. Acesso em: 31/7/2021.
- RAJENDRAN, K.; SURENDRA, K. C.; TOMBERLIN, J. K.; KHANAL, S. K. Insect-based biorefinery for bioenergy and bio-based products. **Waste Biorefinery: Potential and Perspectives**, p. 657–669, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63992-9.00022-7>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- RAKSASAT, R.; LIM, J. W.; KIATKITTIPONG, W.; et al. A review of organic waste enrichment for inducing palatability of black soldier fly larvae: Wastes to valuable resources. **Environmental Pollution**, v. 267, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115488>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- RAKSASAT, R.; KIATKITTIPONG, K.; KIATKITTIPONG, W.; et al. Blended Sewage Sludge–Palm Kernel Expeller to Enhance the Palatability of Black Soldier Fly Larvae for Biodiesel Production. **Processes**, v. 9, n. 2, p. 297, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9020297>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- RANA, S.; MISHRA, P.; GUPTA, R.; WAHID, Z.; SINGH, L. Circular economy: transforming solid-wastes to useful products. **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**, p. 223–240, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-64309-4.00010-6>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- RAVI, H. K.; DEGROU, A.; COSTIL, J.; et al. Larvae Mediated Valorization of Industrial, Agriculture and Food Wastes: Biorefinery Concept through Bioconversion, Processes, Procedures, and Products. **Processes**, v. 8, n. 7, p. 857, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr8070857>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- RAVI, H. K.; DEGROU, A.; COSTIL, J.; et al. Effect of devitalization techniques on the lipid, protein, antioxidant, and chitin fractions of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae.

European Food Research and Technology, v. 246, n. 12, p. 2549–2568, 2020b. Disponível em: Acesso em: 12 jun. 2021.

REHMAN, K. UR; CAI, M.; XIAO, X.; et al. Cellulose decomposition and larval biomass production from the co-digestion of dairy manure and chicken manure by mini-livestock (*Hermetia illucens* L.). **Journal of Environmental Management**, v. 196, p. 458–465, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.047%0A>. Acesso em: 19 jun. 2021.

RIUDAUVETS, J.; CASTAÑÉ, C.; AGUSTÍ, N. et al. Development and Biomass Composition of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae), *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), and *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Different Byproducts of the Agri-Food Industry. **Journal of Insect Science**, v. 20, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa085>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ROJAS-JIMÉNEZ, K.; HERNÁNDEZ, M. Isolation of fungi and bacteria associated with the guts of tropical wood-feeding coleoptera and determination of their lignocellulolytic activities. **International Journal of Microbiology**, v. 2015, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/285018>. Acesso em: 12 jun. 2021.

RUMBOS, C. I.; KARAPANAGIOTIDIS, I. T.; MENTE, E.; ATHANASSIOU, C. G. The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? **Reviews in Aquaculture**, v. 11, n. 4, p. 1418–1437, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12300>. Acesso em: 13 jun. 2021.

RUMBOS, C. I.; ATHANASSIOU, C. G. The superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): A ‘sleeping giant’ in nutrient sources. **Journal of Insect Science**, v. 21, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab014>. Acesso em: 24 jun. 2021.

RUMBOS, C. I.; BLIAMPLIAS, D.; GOURGOUTA, M.; MICHAIL, C. G. A. V. Rearing *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* Larvae on Seed Cleaning Process Byproducts, v. 12, n. 4, p. 293, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects12040293>. Acesso em: 19 jun. 2021.

RUMPOLD, B. A.; KLOCKE, M.; SCHLÜTER, O. Insect biodiversity: underutilized bioresource for sustainable applications in life sciences. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 5, p. 1445–1454, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0967-6>. Acesso em: 12 jun. 2021.

SALOMONE, R.; SAIJA, G.; MONDELLO, G.; et al. Environmental impact of food waste

- bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, n. 2, p. 890–905, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- SANANDIYA, N. D.; OTTENHEIM, C.; PHUA, J. W.; et al. Circular manufacturing of chitinous bio-composites via bioconversion of urban refuse. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61664-1>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- SANJAYA, Y.; SUHARA; NURJHANI, M.; HALIMAH, M. The role of black soldier fly (BSF) *hermetia illucens* as organic waste treatment. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1317, n. 1, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012094>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- SANTANA, A. A.; SILVA, D.; CEUMA, U.; et al. Bioconversion of Food Waste into Bioplastics. In book: Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products: Advances in Science, Technology & Innovation. 2021. Disponível em: http://doi.org/10.1007/978-3-030-61837-7_17. Acesso em: 24 jun. 2021.
- SCHRÖGEL, P.; WÄTJEN, W. Insects for food and feed-safety aspects related to mycotoxins and metals. **Foods**, v. 8, n. 8, p. 288, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.3390/foods8080288>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- SCHUBERT, R. N. Estudo da fauna edáfica na vermicompostagem de resíduos orgânicos. Tese de Doutorado. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3775>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- SETTI, L.; FRANCIÀ, E.; PULVIRENTI, A.; et al. Bioplastic Film from Black Soldier Fly Prepupae Proteins Used as Mulch: Preliminary Results. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 933, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070933>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- SHARMA, R.; KAUR, R.; RANA, N.; et al. Termite's potential in solid waste management in Himachal Pradesh: A mini review. **Waste Management and Research**, v. 39, n. 4, p. 546–554, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.1177/0734242X20957394>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- SHUMO, M.; OSUGA, I. M.; KHAMIS, F. M.; et al. The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 10110, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1038/s41598-019-46603-z>. Acesso em: 19 jun. 2021.

- SILVA, L. B.; DE SOUZA, R. G.; DA SILVA, S. R.; et al. Development of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) on Poultry Litter-Based Diets: Effect on Chemical Composition of Larvae. **Journal of Insect Science**, v. 21, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa145>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- SILVA, V. M. DA. Artrópodes da classe Diplopoda: qualidade e atributos do solo e decomposição de resíduos de cafeeiro. Universidade Federal do Espírito Santo Doutorado em Produção Vegetal. 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/7608>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- SINGH, A.; KUMARI, K. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 251, n. September, p. 109569, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- SRIDHAR, K. R.; AMBARISH, C. N. Pill millipede compost: A viable alternative to utilize urban organic solid waste. **Current Science**, v. 104, n. 11, p. 1543–1547, 2013. Disponível em: www.jstor.org/stable/24092479. Acesso em: 13 jun. 2021.
- SRIDHAR, K. R.; KADAMANNAYA, B. S. Pill millipedes - an overview. **Organic Farming: Methods, Economics and Structure**. p.59–91, 2009. Disponível em: <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2012.1209>. Acesso em: 24 jun. 2021.
- STÅHLS, G.; MEIER, R.; SANDROCK, C.; et al. The puzzling mitochondrial phylogeography of the black soldier fly (*Hermetia illucens*), the commercially most important insect protein species. **BMC Evolutionary Biology**, v. 20, n. 60, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12862-020-01627-2>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- SURENDRA, K. C.; OLIVIER, R.; TOMBERLIN, J. K.; JHA, R.; KHANAL, S. K. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. **Renewable Energy**, v. 98, p. 197–202, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- TAN, J. K. N.; LEE, J. T. E.; CHIAM, Z.; et al. Applications of food waste-derived black soldier fly larval frass as incorporated compost, side-dress fertilizer and frass-tea drench for soilless cultivation of leafy vegetables in biochar-based growing media. **Waste Management**, v. 130, p. 155–166, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.025>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- TAVARES, M. Capítulo 27: Introdução, origem e evolução dos Arthropoda. In: FRANSOZO, A.; NEGREIROS-FRANSOZO, M. L. Zoologia dos Invertebrados. **Editora Roca**, Rio de Ja-

neiro, 1 ed, 2016, p. 435-491.

TAVARES, M. N. **Análise da viabilidade econômica do uso de farinha do inseto *Tenebrio molitor* na dieta de frangos de corte.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. USP. Pirassununga, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.74.2020.tde-23042021-142034>. Acesso em: 12 jun. 2021.

TISSERANT, A.; PAULIUK, S.; MERCIAI, S.; et al. Solid Waste and the Circular Economy: A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 3, p. 628–640, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.12562>. Acesso em: 16 out. 2020.

TOKUDA, G.; TSUBOI, Y.; KIHARA, K.; SAITOU, S.; MORIYA, S.; LO, N.; KIKUCHI, J. Metabolomic profiling of ¹³C-labelled cellulose digestion in a lower termite: insights into gut symbiont function. **Proceedings of the Royal Society B - Biological Sciences**, p. 281(1789), 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0990>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ULANOVA, R. V.; TIKHONOVA, E. N.; KRAVCHENKO, I. K. Bacteria associated with *Lucilia sericata* larvae reared on fish wastes. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/eea.12918>. Acesso em: 13 jun. 2021.

USHAKOVA, N. A.; BASTRAKOV, A. I.; KARAGODIN, V. P.; PAVLOV, D. S. Specific Features of Organic Waste Bioconversion by *Hermetia illucens* Fly Larvae (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). **Biology Bulletin Reviews**, v. 8, n. 6, p. 533–541, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.1134/S2079086418060117>. Acesso em: 19 jun. 2021.

VALÉRIO-BERNARDO, M. T. Capítulo 29: Crustacea. Seção G- Malacostraca – Peracarida. In: FRANSOZO, A.; NEGREIROS-FRANSOZO, M. L. Zoologia dos Invertebrados. **Editores Roca**, Rio de Janeiro, 1 ed, 2016, p. 435-491.

VARELAS, V.; LANGTON, M. Forest biomass waste as a potential innovative source for rearing edible insects for food and feed – A review. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 193–205, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.03.007>. Acesso em: 12 jun. 2021.

VARELAS, V. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. **Fermentation**, v. 5, n. 3, p.81, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>. Acesso em: 22 out. 2020.

WANG, H.; WANG, S.; LI, H. et al. Decomposition and humification of dissolved organic matter in swine manure during housefly larvae composting. **Waste Management & Research**:

- The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 34, n. 5, p. 465–473, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X16636675>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- WANG, H.; REHMAN, K. U.; LIU, X.; et al. Insect biorefinery: A green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein. **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, n. 304, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0986-7>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- WANG, H.; ZHANG, Z.; CZAPAR, G. F.; WINKLER, M. K. H.; ZHENG, J. A full-scale house fly (Diptera: Muscidae) larvae bioconversion system for value-added swine manure reduction. **Waste Management and Research**, v. 31, n. 2, p. 223–231, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X12469431>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- WATANABE, H.; TOKUDA, G. Cellulolytic systems in insects. **Annual Review of Entomology**, v. 55, p. 609–632, 2010. Disponível em: [10.1146/annurev-ento-112408-085319](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085319). Acesso em: 12 jun. 2021.
- WEE, C. Y.; SU, J.-J. Biofuel Produced from Solid-State Anaerobic Digestion of Dairy Cattle Manure in Coordination with Black Soldier Fly Larvae Decomposition. **Energies**, v. 12, n. 5, p. 911, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12050911>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- WONG, C.-Y.; ROSLI, S.-S.; UEMURA, 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, p. 1570, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12081570>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- WONG, C. Y.; LIM, J. W.; CHONG, F. K. et al. Valorization of exo-microbial fermented coconut endosperm waste by black soldier fly larvae for simultaneous biodiesel and protein productions. **Environ Res.**, v. 185, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109458>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- WONG, C. Y.; KIATKITTIPONG, K. K. W.; LIM, J. W.; et al. Rhizopus oligosporus-Assisted Valorization of Coconut Endosperm Waste by Black Soldier Fly Larvae for Simultaneous Protein and Lipid to Biodiesel Production. **Processes**, v. 9, n. 2, p. 299, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9020299>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- WYNANTS, E.; FROONINCKX, L.; CRAUWELS, S.; et al. Assessing the Microbiota of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Reared on Organic Waste Streams on Four Different Locations at Laboratory and Large Scale. **Microbial Ecology**, v. 77, n. 4, p. 913–930, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1007/s00248-018-1286-x>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- YAO, Y.; ZHU, F.; HONG, C.; et al. Utilization of gibberellin fermentation residues with

- swine manure by two-step composting mediated by housefly maggot bioconversion. **Waste Management**, v. 105, p. 339–346, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.024>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- YI, H. Y.; CHOWDHURY, M.; HUANG, Y. D.; YU, X. Q. Insect antimicrobial peptides and their applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 98, n. 13, p. 5807–5822, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.1007/s00253-014-5792-6>. Acesso em: 03 jul. 2021.
- ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil : do ordenamento jurídico à realidade - Management of solid organic waste in Brazil: from legal ordinance to reality. *Engenharia Sanitária Ambiental [online]*. v. 24, n. 2, p. 219-228, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181376>. Acesso em: 16 out. 2020.
- ZAMAN, A.U. A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems. *Journal of Cleaner Production*. v. 124, p. 41-50, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.086>. Acesso em: 16 out. 2020.
- ZANETI, I. C. B. B.; SA, L. M.; ALMEIDA, V. G. Insustentabilidade e produção de resíduos: a face oculta do sistema do capital. *Sociedade e estado*. v. 24, n.1, p. 173- 192, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-69922009000100008>. Acesso em: 05jan. 2021
- ZHANG, A.; WANG, H.; ZHU, J.; et al. Swine manure vermicomposting via housefly larvae (*Musca domestica*): The dynamics of biochemical and microbial features. **Bioresource Technology**, v. 118, p. 563–571, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.048>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- ZHANG, Z. J.; WANG, X. Z.; WANG, H.; et al. Housefly Larvae (*Musca domestica*) Vermicompost on Soil Biochemical Features for a Chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) Farm. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 10, p. 1315–1330, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1763389>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- ZHENG, C.; ZHOU, L. Antibacterial potency of housefly larvae extract from sewage sludge through bioconversion. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 25, n. 9, p. 1897–1905, 2013. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60256-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60256-3). Acesso em: 19 jun. 2021.
- ZHENG, L.; HOU, Y.; LI, W.; et al. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. **Energy**, v. 47, n. 1, p. 225–229, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.006>. Acesso em: 19 jun. 2021.