

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS USANDO ACV SIMPLIFICADA

DOI: 10.19177/rgsa.v9e22020251-262

Thainá Reis Cruz¹

RESUMO

O tratamento de resíduos sólidos orgânicos é uma alternativa utilizada para minimizar os impactos ambientais negativos da etapa de fim de vida dos produtos, com destaque para a compostagem, vermicompostagem e a bioconversão larval. O objetivo desta pesquisa é avaliar comparativamente o desempenho ambiental desses processos, identificando os principais hotspots ambientais. A comparação foi feita numa perspectiva *gate-to-gate*, considerando 1 tonelada de resíduo a ser tratado. A matriz MECO foi utilizada para se obter informações do aspecto ambiental de cada fase do ciclo de vida através de estimativas das quantidades de materiais (M), energia (E), químicos (C) e outros (O). A bioconversão larval obteve a menor emissão de GEE, quando comparada aos dois outros processos. Os principais hotspots identificados foram a emissão de GEE, com destaque para a emissão direta de N₂O, seguida pela emissão de CH₄. Como oportunidade destacou-se o potencial de contribuição do composto resultante como fertilizante na adubação da cultura do cacau. Conclui-se que a matriz MECO possibilitou resultados que permitem uma análise preliminar simples em nível de inventário, destacando e apontando aspectos ambientais relevantes para o aprofundamento por meio de um estudo de avaliação do ciclo de vida completo.

Palavras-chave: Compostagem. Vermicompostagem. Bioconversão larval. Impactos ambientais. Matriz MECO.

¹Engenheira Ambiental - Instituto Federal da Bahia (ifba), Campus Vitória da Conquista. Engenheira de Segurança do Trabalho - Faculdade Guanambi, UNIGRAD, Vitória da Conquista Bahia. Aluna de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus Bahia. E-mail: reisthaina.eng@outlook.com.br

COMPARISON OF DIFFERENT STRATEGIES OF TREATMENT ORGANIC WASTE USING SIMPLIFIED ACV

The treatment of organic waste is an alternative used to minimize the negative environmental impacts of the end-of-life stage of the products, highlighting composting, vermicomposting and larval bioconversion. The aim of this research is to evaluate comparatively the environmental performance of these processes, identifying the principal environmental hotspots. The comparison was made from a gate-to-gate perspective, considering 1 tonne of waste to be treated. The MECO matrix was used to obtain information on the environmental aspect of each phase of the life cycle through estimates of the quantities of materials (M), energy (E), chemicals (C) and others (O). Larval bioconversion obtained the lowest GHG emissions when compared to the other two processes. The main hotspots identified were the emission of GHG, highlighting the direct emission of N₂O, followed by the emission of CH₄. As opportunity, highlighted the potential contribution of the resulting compost as fertilizer to the cocoa crop fertilization was. It is concluded that the MECO matrix enabled results that allow a simple preliminary analysis at inventory level, highlighting and pointing out environmental aspects relevant for deepening through a full life cycle assessment study.

Keywords: Composting. Vermicompostin Larval bioconversion. Environmental impacts. MECO Matrix.



1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos consistem em uma das maiores preocupações ambientais da atualidade, sendo a busca de soluções sustentáveis um dos principais desafios dos diversos segmentos da sociedade.

Nesse contexto se destaca o setor agroindustrial, no qual agrega atividades relacionadas à transformação de matérias-primas da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura, e que tem fundamental importância para geração de emprego e renda e para manutenção do desempenho econômico do país. Esse setor também é caracterizado por gerar grandes quantidades de resíduos que são constituídos principalmente por aqueles gerados em indústrias de processamento de frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), processamento de carnes

(vísceras e carcaças de animais), indústria de papel e celulose (resíduos de madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuais), usinas de álcool e açúcar, matadouros, curtumes (aparas de couro e lodo do processo e tratamento de águas residuais), entre outros (MATOS, 2005).

A agroindústria se destaca por possuir ampla geração de resíduos orgânicos, representando mais de 291 milhões de toneladas no ano de 2009 (IPEA, 2012). A maior preocupação é a destinação ambientalmente adequada para esses resíduos, considerando que seu descarte sem tratamento causa degradação do solo, poluição da água e ar e até a proliferação de vetores e pragas prejudiciais à lavoura e animais. Por outro lado, o reaproveitamento desses resíduos através da compostagem, da vermicompostagem e da bioconversão larval possibilita a recuperação de produtos de valor de mercado, como: biofertilizantes, biocombustíveis, alimentos para animais e substâncias bioativas (IPEA, 2012).

A compostagem é um processo de decomposição biológica da matéria orgânica pela ação de microrganismos na presença de oxigênio, tendo como produto final um material orgânico estabilizado, rico em húmus e nutrientes minerais, denominado composto (FERREIRA, et al. 2018).

Já a vermicompostagem é uma técnica que utiliza minhocas cultivadas para degradar matéria orgânica e produzir húmus. É um processo de baixo custo, fácil manejo e demanda pouca mão de obra. A espécie mais utilizada pela sua capacidade de reprodução e atividade de degradação é a *Eisenia andrei*, conhecida como vermelha-da-califórnia (GÓMEZ-BRANDÓN et al., 2019).

Outra alternativa de tratamento é a bioconversão larval, que utiliza larvas de insetos para converterem materiais orgânicos em composto e outros produtos de valor agregado. Estudos recentes mostraram que a Larva da Mosca Soldado Negra (LMSN) (*Hermetia illucens*) é um eficiente agente de bioconversão, pois além de ser capaz de reduzir o volume da massa de resíduos, o processo gera como coprodutos a biomassa de larvas, rica em proteína e gordura que podem ser utilizadas na produção de ração animal e produção de biodiesel (LALANDER et al., 2019).

Para avaliar o desempenho ambiental existem metodologias que proporcionam o detalhamento de cada etapa do sistema mostrando uma visão geral do perfil ambiental do processo estudado. Uma dessas metodologias que vem ganhando

destaque nos últimos anos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que é uma técnica de gestão ambiental que avalia os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais de um produto ou processo, levando em consideração todo seu ciclo de vida (ABNT, 2009).

Lim et al. (2019) estudaram a viabilidade ambiental e econômica de uma planta de compostagem comunitária a partir da quantificação dos gases de efeito estufa (GEE). Comparada com a disposição de resíduos em aterros, foi constatada uma redução de até 27% de GEE além de aumentar a receita com a instalação da compostagem. O transporte dos resíduos e as máquinas para operação no local foram os principais contribuintes para as emissões de GEE, sugerindo um melhor planejamento das rotas de coletas e estratégias de redução do uso das máquinas.

Tedesco et al. (2019) estudaram o impacto ambiental da produção de farinha de minhocas cultivadas em resíduos de frutas e vegetais para fins de alimentação animal. O maior contribuinte para o impacto ambiental foi o transporte de resíduos até a planta de vermicompostagem, as emissões de metano, monóxido de dinitrogênio e amônia foram os principais contribuintes para a categoria de impacto mudanças climáticas, e o uso de energia durante o processamento da farinha foi a entrada que mais impactou, sendo necessário buscar uma fonte de energia renovável para tornar mais sustentável essa tecnologia. Os autores sugerem também que a planta de vermicompostagem seja feita no mesmo local onde os resíduos são gerados.

Mertenat, Diener, Zurbrugg (2019) utilizaram a ACV para avaliar o potencial de aquecimento global do uso da larva *Hermetia illucens* para tratamento de resíduos e comparar com uma planta de compostagem. As emissões diretas de GEE foram 47 vezes menores que as emissões da compostagem e o potencial de aquecimento global também foi menor, sendo a principal contribuição para o impacto o uso de energia. A opção de substituir farinha de peixe por farinha de larvas reduziu significativamente o potencial de aquecimento global.

Diante do exposto, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar, numa perspectiva de ciclo de vida, os principais aspectos ambientais dos processos de compostagem, vermicompostagem e bioconversão larval, no tratamento de resíduos orgânicos, identificando os aspectos ambientais potencialmente benéficos e os hotspots

ambientais de cada processo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição dos sistemas

Foi utilizado como referência, o sistema de compostagem de resíduos orgânicos proposto por Andersen et al. (2011), constituído por 6 unidades de compostagem. O substrato de entrada foi constituído por resíduos alimentares e de jardim e a saída composto orgânico. De acordo com os autores, foram desconsideradas a infraestrutura, o transporte, o consumo de água e energia. Ainda segundo os autores, as emissões médias de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), foram monitoradas e o composto e o lixiviado foram amostrados para avaliar suas características químicas.

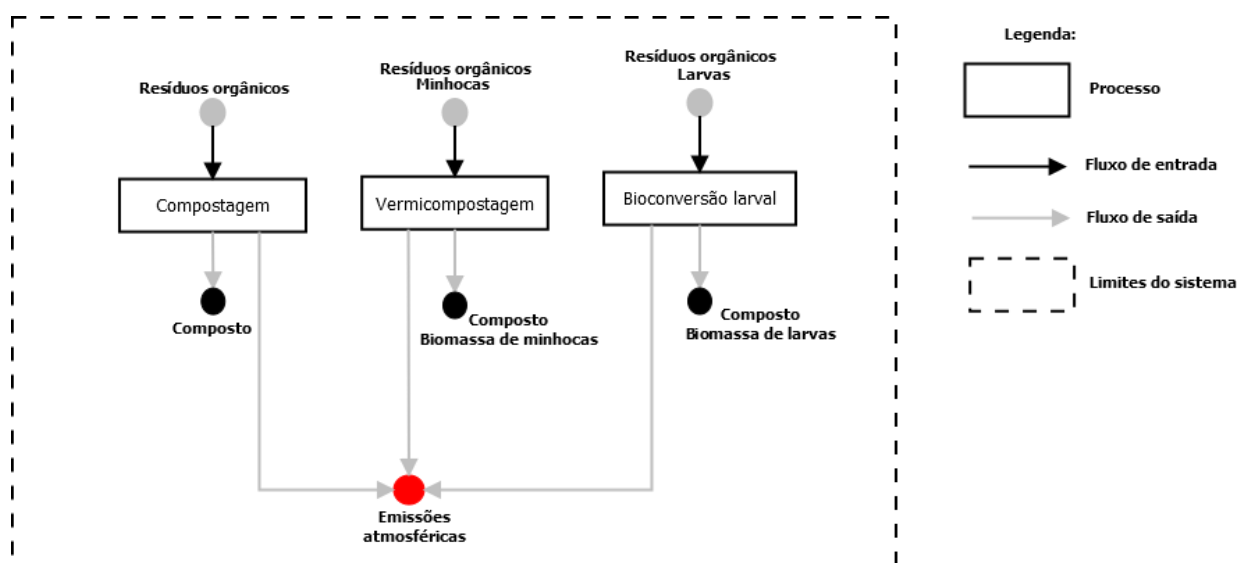
O sistema de vermicompostagem, descrito em Lalander et al. (2015), foi baseado na entrada de resíduos alimentares e de esterco de gado, resultando em vermicomposto e biomassa de minhocas. Segundo os autores, foram desconsiderados a infraestrutura, o transporte e o consumo de eletricidade. Os dados das emissões de CH₄ e N₂O foram estimados a partir de Komakech, et al. (2016), com base num sistema de vermicompostagem para tratamento de resíduos de esterco animal.

O processo de bioconversão descrito em Salomone et al. (2017), foi utilizado no tratamento de resíduos alimentares, com produção de composto e larvas. O sistema, do tipo “berço ao portão”, incluiu 4 fases: transporte de insumos, produção de ovos e larvas, produção de substrato e produção do composto e larvas. De acordo com os autores, as emissões atmosféricas, matérias-primas, fontes de energia e combustão de resíduos foram obtidos da literatura e banco de dados. Foi desconsiderada a entrada de máquinas e equipamentos e pupas das larvas para iniciar o processo.

Para ACV simplificada desta pesquisa, os limites dos sistemas foram definidos seguindo a perspectiva de portão ao portão (gate-to-gate), ou seja, da entrada de resíduos orgânicos na unidade de tratamento até a saída dos produtos do processo, considerando como unidade funcional 1 tonelada de resíduo orgânico a ser tratado. As fontes de dados utilizados neste estudo foram secundárias, baseadas na literatura

especializada citada. A figura 1 ilustra os três sistemas analisados.

Figura 1: Sistemas de tratamento de resíduos orgânicos



2.2 Aplicação da matriz MECO

A comparação do desempenho ambiental dos processos utilizou a Matriz MECO, um método de ACV Simplificada, representada por meio de uma matriz com os principais aspectos ambientais do sistema de produto, possibilitando identificar preliminarmente áreas foco para desenvolvimento, inovação e melhoria ambiental do processo (LEHTINEN et al., 2011). De acordo com Valinová, (2011) a matriz MECO avalia quatro áreas: **Materiais**: recursos naturais, produtos, resíduos e água; **Energia**: recursos energéticos; **Químicos**: uso de substâncias químicas, emissões atmosféricas e emissões para água; **Outros**: outros recursos e problemas ambientais.

2.3 Eficiência dos processos

Para avaliar a eficiência na redução dos resíduos (D), foi usada a equação 1 proposta por Salomone et al. (2017):

$$(1) D = \left(\frac{W-R}{W}\right).100$$

onde: W é a quantidade de resíduos que entra (em kg) e R a quantidade de composto final que saiu do processo (em kg). Os resíduos de entrada e o composto orgânico final foram analisados com base na massa seca.

2.4 Emissões de GEE dos processos

As emissões de GEE, expressas em unidades de massa de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq.), foram calculadas com base nos fatores de emissão do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007), para 100 anos.

2.5 Análise da composição química do composto

Para analisar o potencial de aplicação dos compostos, foi definida uma plantação de 1 hectare de cacau. Admitindo a densidade de 1.100 plantas de cacau por hectare, e uma adubação orgânica de 8.800 kg de composto/ha, determinou-se as quantidades equivalentes de NPK necessária para nutrição da cultura, considerando a composição nutricional do composto (MARROCOS et al., 2005; CHEPOTE, 2003). A necessidade requerida de NPK foi de 88 kg N/ha, 44 kg P/ha e 35,2 kg K/ha.

De maneira inversa, foi determinada a quantidade necessária de composto para fornecer os macronutrientes necessários para adubar 1 ha de cacau, utilizando o composto produzido por cada um dos três processos estudados. O Quadro 1 apresenta os valores encontrados.

Quadro 1: Quantidade de composto para adubação

	N (kg composto/ha)	P (kg composto/ha)	K (kg composto/ha)
Compostagem	4400,0	8627,5	1676,2
Vermicompostagem	3464,6	8148,1	3451,0
Bioconversão	5906,0	4489,8	3417,5

Fonte: Elaboração própria

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 2 apresenta a matriz MECO para a unidade funcional de 1 tonelada de resíduo a ser tratado.

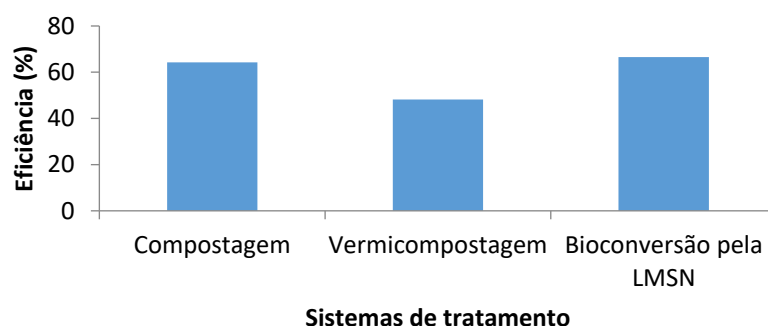
Quadro 2: Matriz MECO comparativa entre três processos para tratamento de resíduos orgânicos.

	Compostagem	Vermicompostagem	Bioconversão
Quantidade			
Material	Entrada	Entrada	Entrada
	1000 kg de resíduos	1000 kg de resíduos + 6,4 kg de minhocas	1000 kg de resíduos orgânicos
	Saída	Saída	5,5 kg de resíduos de poda
	357,7 ± 12,3 kg de composto	518 kg de composto	61,1 kg de água
40,3 kg de biomassa de minhocas		Saída	
		334,6 kg de composto	
			29,6 kg de larvas
Energia	Desconsiderado	Desconsiderado	12,9 kWh de energia elétrica
			24,3 tkm para transporte
Químicos	1194,3 ± 30,2 kg de CO ₂	661 kg de CO ₂	16 kg de CO ₂
	9,8 ± 1,7 kg de CH ₄	0,0108 kg de CH ₄	0,0512 kg de CH ₄
	2,2 ± 0,1 kg de N ₂ O	0,0623 kg de N ₂ O	
Outros (Caracterização química do composto)	2% de N	2,54 % de N	1,49 % de N
	0,51 % de P	0,054 % de P	0,98 % de P
	2,1 % de K	1,02 % de K	1,03 % de K

Fonte: Própria a partir de Andersen, et al. (2011); Komakech, et al. (2016); Lalander, et al. (2015); Salomone, et al. (2017).

A figura 4 apresenta os dados de eficiência de conversão (Equação 1) para os três processos. O sistema de bioconversão pela LMSN foi o processo mais eficiente, reduzindo 66,5 % da massa dos resíduos, seguidos da compostagem (64,3%) e vermicompostagem (48,2%). A eficiência encontrada para bioconversão larval está de acordo com a relatada por Diener et al. (2011), de 68 %, que usou o sistema para tratamento de resíduos orgânicos, e inferior à relatada por Rehman et al. (2017), com 73 %, para resíduos de esterco de gado e coalhada de soja.

Figura 2: Eficiência dos processos de tratamento



A emissão de GEE da compostagem foi significativamente superior à emissão da vermicompostagem (~45X) e bioconversão larval (~200X), sendo a emissão N₂O a principal responsável (73%). No caso da vermicompostagem, o N₂O foi responsável por 98,6% das emissões de GEE e na bioconversão larval não houve emissão de N₂O. No caso das emissões de CH₄ a compostagem emitiu valores da ordem de 1000 e 200 vezes as emissões da vermicompostagem e bioconversão larval, respectivamente.

De acordo com o quadro 1, o nutriente que foi mais atendido na necessidade de adubação, foi o potássio (K), resultando na menor demanda de composto para atender a adubação do cacau neste nutriente. Com 1 tonelada de resíduo orgânico tratado, foi possível atender entre 21,4 e 9,6% da necessidade nutricional de K, entre 15,0 e 8,0% do N e somente entre 7,5 e 4,0% do P, conforme indicado no quadro 3.

Quadro 3: Percentual da necessidade nutricional para adubação orgânica

	t composto/t resíduo	K (%)	P (%)	N (%)
Compostagem	0,36	21,41	4,15	8,13
Vermicompostagem	0,52	15,01	6,36	14,97
Bioconversão larval	0,33	9,64	7,47	5,67

Fonte: Elaboração própria

Observa-se, portanto, que o composto foi em média mais rico em K e mais pobre em P. O teor de N, intermediário é bastante variável entre os diferentes compostos. A compostagem proporcionou o composto mais rico em K, fornecendo aproximadamente 40% e 120% mais do que os outros processos. O composto da vermicompostagem, por outro lado, foi mais rico em N, fornecendo cerca de 160% e

85%. O processo de bioconversão larval produziu o composto levemente mais rico em P, superior em 15% e 80% ao composto obtido pela vermicompostagem e compostagem, respectivamente. Considerando a realidade brasileira, o nutriente mais crítico para a produção agropecuária é o fósforo, sendo o Brasil dependente da sua importação, o que aponta para a importância de processos de ciclagem como os propostos pelo processo de bioconversão larval.

4 CONCLUSÕES

A aplicação da matriz MECO permitiu uma identificação preliminar das oportunidades e dos hotspots de cada um dos processos estudados.

A bioconversão larval possibilitou o melhor resultado com relação as emissões de GEE, quando comparado com a compostagem e a vermicompostagem.

Os principais hotspots estão relacionados a emissão de gases de efeito estufa, sendo as emissões diretas de N_2O e de CH_4 os principais contribuintes para pegada de carbono da compostagem.

A composição química dos compostos apresentou a principal oportunidade, com potencial para contribuir com a adubação orgânica no cultivo de cacau. Por fim, apesar de se tratar de uma ACV simplificada, a mesma possibilitou a obtenção de resultados e uma análise em nível de inventário, apontando para as diferenças e potencial dos sistemas mais usuais de tratamento de resíduos orgânicos.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, J. K. et al. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. **Waste Management**, v. 31, pp. 1934-1942, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.004>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: 2009.
- CHEPOTE, R. E. Efeito do composto da casca do fruto de cacau no crescimento e produção do cacauzeiro. *Agrotécnica*, **Centro de Pesquisa do Cacau**, Ilhéus, BA, v. 15, n.1, p. 1-8, 2003.
- DIENER, S. et al. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valor*, v. 2, p. 357-363, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>.
- FERREIRA, A. K. C. et al. Composting of household organic waste and its effects on growth and mineral composition of cherry tomato. *Revista Ambiente e Água*, v. 13, p. 1-11, 2018. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2141>.**
- GÓMEZ-BRANDÓN, M., et al. Effectiveness of vermicomposting for bioconversion of grape marc derived from red winemaking into a value-added product. **Environmental Science and Pollution Research**, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04820-z>.
- Intergovernmental Panel on Climate change – IPCC. **IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**, 2007. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf> >. Acesso em: ago 2019.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agroindustrial e agroindústrias associadas**. Brasília, 134 p, 2012.
- KOMAKECH, A.J. et al. Environmental impact from vermicomposting of organic waste in Kampala, Uganda. **Journal Environmental Management**, v. 181, p. 395-402, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.028>.
- LALANDER, C. H. et al. Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms – Kampala case study. **Waste Management**, v. 39, p. 96-103, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.009>.
- LALANDER, C.; DIENER, S.; ZURBRUGG, C.; VINNERAS, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>.
- LEHTINEN, H. et al. **A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs**. Europe Innova Eco-Innovation BIOCHEM, 2011. Disponível em: <

http://www.biochemproject.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.pdf >. Acesso em: ago 2019.

LIM, L. Y., et al. Environmental and economic feasibility of an integrated community composting plant and organic farm in Malaysia. **Journal of Environmental Management**, v. 244, p. 431-439, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.050>.

MARROCOS, P. C. L. et al. **Normas para plantio de mudas de cacaueteiro propagadas por estaquia: atualização**. Ilhéus – Ba, 3 ed.. ampl. CEPLAC, 2005.

MATOS, A.T. Tratamento de resíduos agroindustriais. In: CURSO SOBRE TRATAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS, 2005, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005. p.1-34.

MERTENAT, A.; DIENER, S.; ZURBRUGG, C. Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. **Waste Management**, v. 84, p. 173-181, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.040>.

REHMAN, K. et al. Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae. (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Cleaner Production*, v. 154, p. 366-373, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.019>.

SALOMONE, R. 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, p. 890-905, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154>.

TEDESCO, D. E. A. et al. Bioconversion of fruit and vegetable waste into earthworms as a new protein source: The environmental impact of earthworm meal production. **Science of the Total Environment**, v. 683, p. 690-698, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.226>.

VALÍNOVÁ, L. **Environmental assessment using MECO matrix – Case study**. In; Intensive, programme “Renewable Energy Sources”, Czech Republic. *Anais...* University of West Bohemia. pp. 66-70, 2011.