

## Uso de biofertilizante como agente promotor da bioeconomia na agropecuária

Vanessa Romário de Paula<sup>1</sup>,

Inácio de Barros<sup>2</sup>,

Alyne Martins Maciel<sup>3</sup>,

Andressa de Mattos Nascimento<sup>4</sup>

Marcelo Henrique Otieno<sup>5</sup>

1,2,5. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Gado de Leite.

3,4. Programa de Pós Graduação em Ecologia – PGECOL

vanessa.paula@embrapa.br

### Resumo

*O uso eficiente dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais negativos são desafios enfrentados pelo setor agropecuário. O sistema de produção de bovinos em confinamento concentra a geração de dejetos animais que necessitam de manejo adequado para minimizar os possíveis efeitos deletérios ao meio ambiente. Estes resíduos contêm nutrientes essenciais às plantas. O nitrogênio é o mais abundante, seguido de quantidades consideráveis de potássio, cálcio, fósforo e magnésio. Além destes, os teores elevados de matéria orgânica favorecem o condicionamento físico dos solos e a atividade de microrganismos fixadores de nitrogênio. Assim, quando tratados pelo processo de biodigestão, os dejetos bovinos podem ser utilizados como biofertilizantes, reduzindo o uso de adubos sintéticos. A utilização do biofertilizante de dejetos da bovinocultura leiteira, é, portanto, uma oportunidade de implementação da bioeconomia na agropecuária, contribuindo para a estruturação de sistemas de produção mais sustentáveis. Resultados demonstraram que esse biofertilizante pode substituir em até 100% a demanda de nitrogênio para cana-de-açúcar, e grande parte no milho e no capim-elefante, cv. BRS-Capiaçu. A produtividade com biofertilizante foi significativamente maior do que com a adubação química para as três culturas estudadas. Dessa forma, o uso de biofertilizantes pode ser considerado uma*

*prática sustentável, pela substituição do uso de insumos sintéticos por biofertilizante. Neste cenário, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), permite verificar o ganho ambiental, quantificar a redução no uso de recursos naturais, diminuição na emissão de gases de efeito estufa (GEE) e a minimização na geração de resíduos, contribuindo diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS: 02 – Fome zero e agricultura sustentável; 09 – Inovação infraestrutura; 12 – Consumo e produção responsáveis; 13 – Ação contra a mudança global do clima; 14 – Vida na água; 15 – Vida terrestre.*

**Palavras chave:** ACV, biodigestão anaeróbia, bioprocessos, bovinocultura leiteira.

### Introdução

O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo, constituído cerca de 215 milhões de cabeças, distribuídos em aproximadamente 164 milhões de hectares de terra (IBGE, 2018). A adoção de sistemas de produção intensivo vem crescendo na pecuária leiteira (Mao et al., 2015) e o confinamento desses animais aumenta a concentração de resíduos com elevada carga orgânica (Mouri and Aisaki, 2015), o que representa um ponto crítico tanto ambiental quanto sanitário (Silva et al., 2012).

Para minimizar os impactos ambientais gerados pela pecuária leiteira, a biodigestão anaeróbia é uma solução sustentável para o tratamento de dejetos bovinos (Massaro et al., 2015; Montoro et al., 2019). Por meio desse processo promove-se a recuperação de recursos, através da ciclagem da fração orgânica e de nutrientes minerais (Magri et al., 2019), possibilitando o seu uso

como fertilizante de origem biológica (Havukainen et al., 2018)

A disposição adequada do biofertilizante permite o aumento da biodiversidade do solo, contribuindo para o crescimento das plantas e aumento da produtividade. Segundo Silva et al. (2012), a aplicação de biofertilizante na lavoura é recomendada para reduzir a poluição ambiental, além melhorar os atributos físico-químicos do solo, reduzindo a necessidade de aplicação fertilizantes sintéticos. A adubação química é uma das atividades que mais contribuem para emissões de GEE, acidificação e eutrofização pela agricultura (Bacenetti et al., 2016).

A biodigestão anaeróbia pode ser uma estratégia para o desenvolvimento da bioeconomia circular (Dahiya et al., 2018), e uma prática econômica e sustentável de utilização de recursos renováveis. O uso eficiente de recursos na agricultura é essencial para reduzir os impactos negativos sobre os recursos naturais e, ao mesmo tempo, melhorar a produtividade agrícola (Fernandes-Mena et al., 2020; Erb et al., 2016).

Métodos de avaliação do desempenho ambiental que forneçam informações relevantes são, portanto, essenciais para a promoção do desenvolvimento sustentável, especialmente no meio rural.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta usada para avaliar os impactos ao longo de todo o ciclo de vida de um produto (D'Amato et al., 2019). É uma metodologia que

possibilita a avaliação da sustentabilidade e dos impactos relacionados aos serviços do ecossistema no contexto das atividades de bioeconomia (Bjørn et al., 2017; Karvonen et al., 2017).

A bioeconomia está no centro das estratégias de desenvolvimento sustentável em todo o mundo e contribui diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS: 02 – Fome zero e agricultura sustentável; 09 – Inovação infraestrutura; 12 – Consumo e produção responsáveis; 13 – Ação contra a mudança global do clima; 14 – Vida na água; 15 – Vida terrestre.

Este estudo avalia o potencial de uso do biofertilizante, resultante do tratamento dos dejetos bovinos, em substituição aos adubos sintéticos, como alternativa para promoção da bioeconomia circular na agropecuária.

### Metodologia

Foi realizada uma revisão de literatura dos últimos trabalhos realizados na Embrapa de avaliação da substituição total ou parcial dos fertilizantes sintéticos por biofertilizantes. E também, de resultados de estudos de ACV, que avaliam a eficiência da aplicação do biofertilizante em termos de redução de impacto ambiental. Os levantamentos efetuados comprovaram que a substituição, total ou parcial, é eficiente e garante ganhos ambientais.

Os biofertilizantes contêm, além de nutrientes, microrganismos que, quando aplicados nas plantas ou solo, promovem o crescimento

vegetal, favorecendo a absorção de nutrientes pela planta, (Malusa e Vassilev, 2014; Montoro et al., 2019).

A bioeconomia tem como premissa o uso de recursos biológicos (Asada et al., 2019). A agropecuária tem potencial para utilizar e aprimorar o emprego de biofertilizante reduzindo o impacto da atividade sobre a biodiversidade e o meio ambiente. A Figura 1 mostra funcionalidades no uso do biofertilizante.

**Figura 1: Funcionalidades no uso do biofertilizante.**



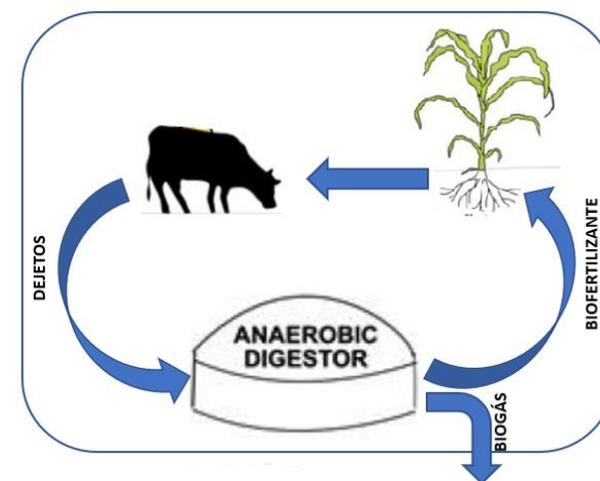
O Brasil é um dos líderes mundiais de produção agropecuária e o quarto maior consumidor fertilizantes do mundo (Cruz et al., 2017) e cerca de 65% desses insumos são importados (IEA, 2015). Em 2018 foram importadas 24,96 milhões de toneladas de fertilizantes N, P e K (nitrogênio, fósforo e potássio) (Globalfert, 2019). Os fertilizantes nitrogenados são os mais requeridos e, por demandarem quantidades consideráveis de energia fóssil para a sua produção, causam impactos ambientais

negativos relevantes (Havukainen et al., 2018), além dos impactos relacionados ao transporte. Esses efeitos deletérios evidenciam a necessidade de redução do uso de fertilizantes sintéticos

A biodigestão anaeróbia é uma forma de tratamento de dejetos bovinos que ocorre pela degradação da matéria orgânica (Kunz et al., 2019), produzindo biogás e efluentes com características fertilizantes por conter nutrientes essenciais para as plantas (Otenio et al., 2018), podendo ser utilizados nas lavouras, reduzindo o uso de fertilizantes químicos.

A Figura 2 mostra o fluxo da ciclagem de nutrientes dentro de uma propriedade que utiliza a biodigestão anaeróbica para o tratamento de dejetos e produção de biofertilizante utilizado na produção de forragem.

**Figura 2: Fluxo de produção e aplicação de biofertilizante.**



Essa integração de bioprocessos aumenta a eficiência dos sistemas produtivos e a recuperação de recursos de maneira sustentável (Dahiya et al., 2018), minimizando os impactos ambientais provocados pela atividade agropecuária

A Tabela 1 mostra a caracterização do biofertilizante utilizado como substituto ao fertilizante sintético em diversos estudos. O biofertilizante foi caracterizado pelos seguintes parâmetros: sólidos totais (ST), cinzas (Cz), pH, sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SSed), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO).

**Tabela 1. Caracterização do biofertilizante proveniente do sistema de tratamento de dejetos do campo experimental da Embrapa Gado de Leite, 2019**

Parâmetro	Valor	Desvio Padrão
ST (%) <sup>1</sup>	0,32	0,17
CZ (%) <sup>2</sup>	0,15	0,09
SSed (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	2,00	0
SST (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	1116,67	306,41
DBO (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	227	10
DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	2004	336
pH	8,81	0,52
Norgânico (mg.L <sup>-1</sup> )*	22,46	12,53
Namoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )*	22,13	15,97
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )*	0,07	0,05
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )*	42,58	14,32
Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,2	0,23

Fonte: Maciel et al (2019)

1. Sólidos Totais; 2. Cinzas; 3. Sólidos Sedimentáveis; 4. Sólidos Suspensos Totais; 5. Demanda Bioquímica de Oxigênio; 6. Demanda Química de Oxigênio.

Pesquisas recentes realizadas na Embrapa Gado de Leite, demonstram que o uso do biofertilizante, como substituto ao fertilizante sintético, tem sido uma alternativa efetiva para promoção da bioeconomia na agropecuária.

## Resultados

O biofertilizante de dejetos da bovinocultura possui concentração de compostos nitrogenados suficientes para sua utilização no cultivo da cana-de-açúcar. Os resultados mostraram que as maiores doses de biofertilizante proporcionaram melhor eficácia no crescimento das plantas, podendo substituir em até 100% a aplicação de ureia (Mendonça et al., 2018).

Maciel et al. (2019) mostraram que é possível substituir parcialmente a adubação nitrogenada sintética por biofertilizante no cultivo de milho (*Zea mays*). As doses de biofertilizante aplicadas proporcionaram o mesmo efeito da adubação sintética no solo, no que se refere aos teores de macronutrientes, micronutrientes e índices de fertilidades, não promovendo efeitos deletérios. Além disso, os resultados indicaram que a substituição promoveu benefícios à planta e proporcionou economia na produção agrícola (Otenio et al., 2018).

A aplicação do biofertilizante na lavoura de capim-elefante cv BRS-Capiaçu, aumentou a produtividade sem produzir efeito significativo sobre as variáveis nutricionais avaliadas, conforme resultados encontrados por Gonçalves (2019) que obteve maior produção em matéria

seca (27,2 t/ha). Vitor et al. (2009) obtiveram resultados similares (29 t/ha) ao utilizar biofertilizante como fonte de nitrogênio na cultura do capim elefante. Acredita-se que a alta produção de matéria seca obtida neste trabalho ocorreu devido à combinação de nitrogênio e potássio, que devem ser equilibrados, como foi sugerido por Andrade et al. (2000).

Silva et al. (2012) observaram que ao aplicar biofertilizante no solo e nas folhas da cultura de inhame (*Dioscorea cayennensis ham*) houve um ganho na produtividade: 15,4% e 10%, respectivamente, quando comparado ao uso isolado de esterco bovino. Este ganho foi atribuído à composição química do biofertilizante, que melhorou a nutrição das plantas, e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Resultados de análises do solo de Carpanez (2019), mostraram que os nutrientes como fósforo (P), nitrogênio (N), potássio (K), carbono (C), e os micronutrientes, apresentaram uma tendência de retenção na camada superior do solo (0 –20 cm), onde se encontra o sistema radicular das plantas, facilitando a absorção de nutrientes necessários para o seu desenvolvimento.

Além desses estudos, que foram realizados na Embrapa Gado de Leite, outros trabalhos que utilizaram biofertilizante encontraram resultados satisfatórios para a substituição da fertilização sintética. Resultados encontrados por Lemes et al. (2016) mostraram que o biofertilizante atendeu à demanda nutricional nas brotações de alfafa sem alterar o valor nutricional da forrageira. O uso de

biofertilizante na cultura de aveia também apresentou aumento no rendimento de massa seca (Erthal et al., 2010). Da mesma forma, Teixeira et al. (2017) obtiveram aumento na produção da massa de forragem do capim do gênero *Braquiária* e melhoria na fertilidade do solo.

Dessa forma, entende-se que o biofertilizante é uma fonte viável de nutrientes para as culturas agrícolas, contribuindo para a promoção dos preceitos da bioeconomia e o aproveitamento de resíduos (dejetos) da bovinocultura. Onde uso de recursos biológicos dentro da estrutura de um sistema econômico sustentável é base para a bioeconomia (Devaney et al., 2018).

### **Estudos de ACV de biofertilizante**

A avaliação do impacto gerado pelo uso de biofertilizante demanda uma metodologia que possa contribuir para uma melhor compreensão da eficiência dos sistemas de produção (Mwambo et al., 2019) no manejo dos resíduos e ciclagem de nutrientes (Notarnicola et al., 2017)

A ACV tem sido utilizada para quantificar as emissões de GEE e os impactos ambientais associados à substituição dos fertilizantes sintéticos pelos biofertilizantes (Hanserud et al., 2018). Styles et al. (2018) utilizaram a ACV para avaliar a economia ambiental da aplicação de biofertilizantes obtidos de processos distintos. Arashiro et al. (2018) utilizaram a ACV para avaliar impactos ambientais associados a diferentes sistemas de tratamento de água residuária para geração de biogás e

biofertilizante. Havukainen et al. (2018) verificaram a redução da emissão de GEE na produção de biofertilizantes em comparação com a emissão na produção de fertilizantes sintéticos, em média 78% em relação a N e 41% para P.

Tais estudos permitem considerar que a aplicação do biofertilizante propicia ganhos ambientais e aumenta a sustentabilidade da produção, quando comparados com os fertilizantes sintéticos. (Bennich e Belyazid, 2017; Velenturf et al., 2019).

Os sistemas de produção de alimentos requerem grandes quantidades de fertilizantes, empregados para atender as demandas de crescimento da população mundial (Claudino e Talamini, 2012). Resultados de ACV mostraram que aplicação de compostos nitrogenados (N) na agricultura causam impactos significativos, dentre eles a contaminação de recursos hídricos e emissões de GEE (Torrellas et al., 2012; Lares-Orozco et al., 2016). Cherubini et al. (2014) constataram que as emissões oriundas da adubação nitrogenada em lavouras de milho eram uma das principais causas de impacto na categoria de acidificação.

Diversos estudos tem mostrado a importância da ACV como ferramenta para a avaliação da sustentabilidade no contexto da bioeconomia (Karvonen et al., 2017). Martin et al. (2018), por exemplo, utilizaram a ACV para avaliar a sustentabilidade na bioeconomia florestal sueca.

Os preceitos de bioeconomia são potencializados com os resultados de ACV, de forma a possibilitar a identificação de pontos críticos e

viabilizar o desdobramento de soluções, novas tecnologias e novos mercados, de forma a reduzir a dependência de recursos não renováveis.

### **Conclusão**

O emprego do biofertilizante na agropecuária possibilita a disposição adequada de resíduos, reduz os impactos ambientais, melhorando a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas de produção. Pois aprimora a ciclagem de nutrientes dentro da propriedade e diminui a necessidade de aquisição de insumos externos. Neste sentido, destaca-se como uma alternativa de promoção da bioeconomia na agropecuária.

A ACV reforça que o uso do biofertilizante na agricultura, em substituição ou complementação aos fertilizantes sintéticos, é uma forma de reduzir os impactos ambientais da atividade agrícola. A análise com esta ferramenta possibilita identificar as emissões de cada etapa ou processo, demonstrando as reduções da carga ambiental e os benefícios gerados, como a redução da emissão de GEE e a minimização na geração de resíduos. Os resultados de ACV contribuem para orientar pesquisas e fornecer soluções de mais sustentáveis.

### **Agradecimentos**

A Embrapa pelo subsidio financeiro de pesquisa, Projeto SEG: 03.16.04.023.00.00. Potencialização da produção do biogás e uso do biofertilizante no tratamento de dejetos da pecuária leiteira. E aos revisores do congresso GCV 2020.

## Referências bibliográficas

- Andrade, A. C., Fonseca, D. M. D., Gomide, J. A., Alvarez V, V. H., Martins, C. E., & Souza, D. P. H. D. (2000). Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(6), 1589-1595.
- Arashiro, L. T., Montero, N., Ferrer, I., Acien, F. G., Gómez, C., & Garfí, M. (2018). Life cycle assessment of high rate algal ponds for wastewater treatment and resource recovery. *Science of the Total Environment*, 622, 1118-1130. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.051.
- Asada, R., Krisztin, T., di Fulvio, F., Kraxner, F., & Stern, T. (2020). Bioeconomic transition: Projecting consumption-based biomass and fossil material flows to 2050. *Journal of Industrial Ecology*. doi.org/10.1111/jiec.12988.
- Bennich, T., & Belyazid, S. (2017). The route to sustainability—prospects and challenges of the bio-based economy. doi.org/10.3390/su9060887
- Bjørn, A., Owsianiak, M., Molin, C., & Hauschild, M. Z. (2018). LCA history. In *Life Cycle Assessment*. doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3.
- Carpanez, T. G. Alterações nas características químicas de um Planossolo após aplicação de biofertilizante. 2019. 26f. Trabalho de Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Cherubini, E., da Silva Jr, V. P., Zanghelini, G. M., Alvarenga, R. A., Galindro, B. M., de Léis, C. M., & Soares, S. R. (2014). Comparison of different calculation procedures and emission factors in the manure management systems of swine production. doi.org/10.13140/2.1.3617.4402.
- Claudino, E. S., & Talamini, E. (2013). Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. doi.org/10.1590/S1415-43662013000100011.
- Cruz, A. C.; Pereira, F. dos S.; Figueiredo, V. S. de. (2017). Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. BNDES Setorial - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, n. 45.
- D'amato, D., Gaio, M., & Semenzin, E. (2019). A review of LCA assessments of forest-based bioeconomy products and processes under an ecosystem services perspective. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135859
- Dahiya, S., Kumar, A. N., Sravan, J. S., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176.
- Devaney, L., & Henchion, M. (2018). Consensus, caveats and conditions: International learnings for bioeconomy development. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.047.
- Erb, K. H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M. C., & Haberl, H. (2016). Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. doi.org/10.1038/ncomms11382.
- Erthal, V. J., Ferreira, P. A., Pereira, O. G., & Matos, A. T. D. (2010). Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. doi.org/10.1590/S1415-43662010000500002.
- Fernandez-Mena, H., Gaudou, B., Pellerin, S., MacDonald, G. K., & Nesme, T. (2020). Flows in Agro-food Networks (FAN): An agent-based model to simulate local agricultural material flows. doi.org/10.1016/j.agry.2019.102718.
- Globalfert © (2019). Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/analises/>. Acesso em: 10 de dez de 2019.
- Gonçalves, M. O. (2019). Produtividade e teor de fibras em capim elefante brs Capiacu (Pennisetum purpureum Schum) fertirrigado com biofertilizante. 2019. 22f. Trabalho de Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Hanserud, O. S., Cherubini, F., Øgaard, A. F., Müller, D. B., & Brattebø, H. (2018). Choice of mineral fertilizer substitution principle strongly influences LCA environmental benefits of nutrient cycling in the agri-food system. *Science of The Total Environment*, 615, 219-227. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.215
- Havukainen, J., Uusitalo, V., Koistinen, K., Liikanen, M., & Horttanainen, M. (2018). Carbon footprint evaluation of biofertilizers. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(8), 1050-1060.
- Instituto de Economia Agrícola – IEA. Análises e Indicadores do Agronegócio (2015). Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-49-2015.pdf>
- Karvonen, J., Halder, P., Kangas, J., & Leskinen, P. (2017). Indicators and tools for assessing sustainability impacts of the forest bioeconomy. doi.org/10.1186/s40663-017-0089-8.
- Kunz, A., Steinmetz, R. L. R., & do Amaral, A. C. (2019). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Embrapa Suínos e Aves-Livro científico (ALICE).
- Lares-Orozco, M. F., Robles-Morúa, A., Yopez, E. A., & Handler, R. M. (2016). Global warming potential of intensive wheat production in the Yaqui Valley, Mexico: a resource for the design of localized mitigation strategies. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.128.
- Lemes, R. L., Soares Filho, C. V., Neto, M. G., & Heinrichs, R. (2016). Biofertilizer in the nutritional quality of alfalfa (Medicago sativa L.). *Seminário: Ciências Agrárias*, 37(3), 1441-1450.
- Maciel, A. M., Silva, J. B. G., de Matos Nascimento, A., de Paula, V. R., Otenio, M. H. (2019). Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo. doi.org/10.17765/21769168.2019v12n1p151-171.
- Malusá, E., & Vassilev, N. (2014). A contribution to set a legal framework for biofertilisers. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(15), 6599-6607. doi.org/10.1007/s00253-014-5828-y.
- Magri, M. E., Carlon, P., Cruz, L. J. M., Dalri-Cecato, L. (2019). Closing the Loop on Biogas Plants: Recycling Digestate and Sludge on Agriculture and Microbial Risk Assessment. doi.org/10.1007/978-3-030-10516-7\_12.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032
- Martin, M., Røyne, F., Ekvall, T., & Moberg, Å. (2018). Life cycle sustainability evaluations of bio-based value chains: reviewing the indicators from a Swedish perspective. doi.org/10.3390/su10020547.
- Massaro, V., Digiesi, S., Mossa, G., Ranieri, L. (2015). The sustainability of anaerobic digestion plants: a win strategy for public and private bodies. *Journal of Cleaner Production*, 104, 445-459. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.021
- Mendonça, H. V., Martins, C. E., da Rocha, W. S. D., Borges, C. A. V., Ometto, J. P. H. B., Otenio, M. H. (2018). Biofertilizer Replace Urea as a Source of Nitrogen for Sugarcane Production. doi.org/10.1007/s11270-018-3874-2.
- Montoro, S. B., Lucas Jr, J., Santos, D. F. L., & Costa, M. S. S. M. (2019). Anaerobic co-digestion of sweet potato and dairy cattle manure: A technical and economic evaluation for energy and biofertilizer production. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.148.
- Mouri, G., & Aisaki, N. (2015). Using land-use management policies to reduce the environmental impacts of livestock farming. doi.org/10.1016/j.ecocom.2015.03.003.
- Mwambo, F. M., & Fürst, C. (2019). A Holistic Method of Assessing Efficiency and Sustainability in Agricultural Production Systems. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 7(1), 27-43.
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., & Sonesson, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140, 399-409. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071.
- Otenio, M. H., Maciel, A. M., Silva, J. B. G., de Paulo, V. R., & de Matos Nascimento, A. (2018). Aplicação de biofertilizante de água residuária de bovinocultura leiteira na cultura do milho. Embrapa Gado de Leite-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Silva, J. B. G., Martinez, M. A., Pires, C. S., de Sousa Andrade, I. P., & da Silva, G. T. (2012). Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p250.
- Styles, D., Adams, P., Thelin, G., Vaneeckhaute, C., Chadwick, D., & Withers, P. J. (2018). Life cycle assessment of biofertilizer production and use compared with conventional liquid digestate management. *Environmental science & technology*, 52(13), 7468-7476. doi.org/10.1021/acs.est.8b01619.
- Teixeira, F. O. P., Botelho, S. A., de Melo, L. A., Fia, R., Teixeira, G. A. P. (2017). Efeito da disposição de efluentes da bovinocultura no solo e na biomassa vegetal. doi.org/10.13083/reveng.v25i4.783.
- Torrellas, M., Antón, A., López, J. C., Baeza, E. J., Parra, J. P., Muñoz, P., Montero, J. I. (2012). LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. doi.org/10.1007/s11367-012-0409-8.
- Velenturf, A. P., Archer, S. A., Gomes, H. I., Christgen, B., Lag-Brottons, A. J., Purnell, P. (2019). Circular economy and the matter of integrated resources. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.44.
- Vitor, C. M. T., Fonseca, D. M. D., Cóser, A. C., Martins, C. E., Nascimento Júnior, D. D., & Ribeiro Júnior, J. I. (2009). Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 435-442.