

O PAPEL DOS BIODIGESTORES NA AGROPECUÁRIA PARA MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

| Fredson Gomes de Menezes

Universidade Federal do Vale do São Francisco
(UNIVASF)

| Márcia Bento Moreira

Universidade Federal do Vale do São Francisco
(UNIVASF)

| Alineaurea Florentino Silva

EMBRAPA SEMIÁRIDO

| Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco

Instituto Federal do Sertão Pernambucano
(IFSertãoPE)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão narrativa sobre o papel dos biodigestores na mitigação das mudanças climáticas, com enfoque nos benefícios ambientais e na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A agropecuária é responsável por uma parcela significativa das emissões de GEE, especialmente de metano. O uso de biodigestores, que realizam a digestão anaeróbica de biomassas, incluindo resíduos orgânicos e dejetos animais, desempenha um papel importante na redução das emissões destes gases. A revisão foi realizada com base em estudos científicos relevantes, que analisaram o potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de biogás. A revisão destaca os benefícios dos biodigestores na gestão de resíduos orgânicos, na produção de biogás como substituto de combustíveis fósseis e na redução das emissões de GEE, ressaltando a importância de políticas públicas e incentivos para promover a adoção dessa tecnologia. A revisão busca fornecer uma visão abrangente desses benefícios e análise crítica dos resultados revela desafios a serem enfrentados, como a viabilidade econômica e o ambiente regulatório favorável. Recomenda-se a realização de mais estudos para preencher lacunas de conhecimento e promover a implementação efetiva dos biodigestores como uma solução sustentável na mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Biodigestores, Biogás, Benefícios Ambientais, Redução de Emissões, Gases de Efeito Estufa.

■ INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam uma das maiores ameaças globais enfrentadas pela sociedade atualmente, demandando a busca por soluções sustentáveis que possam mitigar os impactos ambientais. Nesse contexto, a agropecuária desempenha um papel fundamental, pois está intrinsecamente ligada à emissão de gases de efeito estufa, sendo responsável por uma parcela significativa das emissões totais (PIRES *et al.*, 2015).

O Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores emissores de metano do mundo, ficando atrás da China, Estados Unidos, Rússia e Índia. A principal fonte de emissão no país é a pecuária, especialmente, devido à fermentação entérica dos animais. Além disso, o tratamento de resíduos e as queimadas também contribuem significativamente para as emissões de metano (ALENCAR, *et al.*, 2022).

O metano corresponde a aproximadamente 16% das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) quando convertidas para CO₂ (UNEP, 2021). Esse gás tem uma vida útil relativamente curta na atmosfera, com um tempo de decaimento de menos de 20 anos. Portanto, qualquer esforço para reduzir as emissões de metano pode ter um impacto mais imediato na temperatura global, ampliando a oportunidade de alcançar a metas preestabelecidas nas Conferências Mundiais.

As emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) ocorrem em diversas atividades humanas e setores da economia. No setor agrícola, especificamente, essas emissões são significativas, correspondendo a cerca de 12% do total de emissões globais. No Brasil, a agricultura é responsável por 35% das emissões de GEE no país. A pecuária é o principal setor emissor dentro da agricultura, sendo responsável por aproximadamente 70% das emissões totais. As atividades pecuárias, como o manejo de esterco e a fermentação entérica, são fontes importantes de emissões de gases como metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂). Essas emissões têm impactos negativos no aquecimento global e podem causar problemas ambientais, como a contaminação do solo e da água por metais pesados presentes nos dejetos animais (SIATKOWSKI, *et al.*, 2022).

Para enfrentar esse desafio, é necessário adotar soluções sustentáveis que considerem aspectos ambientais, sociais e econômicos (OLAWUMI; CHAN, 2018; KLARIN, 2018). Uma alternativa tecnológica promissora é a utilização de biodigestores, que consistem em câmaras herméticas capazes de realizar a digestão anaeróbica de biomassas, incluindo resíduos orgânicos da agricultura e dejetos animais (BATTINI *et al.* 2014). Essa tecnologia desempenha um papel importante na redução das emissões de GEE, evitando a liberação de metano proveniente de fontes abertas, além de contribuir para a produção de energia limpa na forma de biogás e biofertilizantes (CHENG; MCCARL; FEI, 2022).

O biogás pode ser utilizado como combustível, enquanto o biofertilizante apresenta-se como uma alternativa sustentável e econômica aos fertilizantes químicos convencionais (PARIHAR *et al.*, 2019; CORTEZ *et al.*, 2022). A implementação de tecnologias eficientes e o uso de energias renováveis nas atividades agrícolas são medidas importantes para reduzir as emissões de GEE e promover a sustentabilidade no setor agropecuário (ALI *et al.*, 2021; AYYILDIZ; ERDAL, 2021; TEIXEIRA; PESSOA, 2022).

A literatura científica tem investigado os benefícios ambientais e a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) associados aos biodigestores na agropecuária. Estudos como o de Siatkowski *et al.*, 2022 e Carvalho, *et al.* 2017 têm analisado o potencial desses sistemas em mitigar as emissões de metano, um gás de efeito estufa potente, proveniente do manejo de resíduos orgânicos na produção animal e vegetal. Além disso, a substituição de combustíveis fósseis pelo biogás produzido pelos biodigestores contribui para a redução das emissões de dióxido de carbono, promovendo uma maior sustentabilidade no setor agropecuário.

Esta revisão narrativa propõe uma análise abrangente dos estudos científicos existentes sobre o papel dos biodigestores na agropecuária para a mitigação das mudanças climáticas, com foco nos benefícios ambientais e na redução de emissões de gases de efeito estufa. A revisão narrativa é uma abordagem que permite sintetizar e interpretar os principais achados dos estudos selecionados, fornecendo uma visão integrada e crítica sobre o assunto.

O objetivo foi fornecer uma visão abrangente dos benefícios dos biodigestores na agropecuária, bem como, dos impactos na redução das emissões de GEE. Além disso, busca-se identificar as lacunas de conhecimento e os desafios relacionados à implementação e adoção generalizada dos biodigestores no contexto agropecuário. Essa revisão contribuirá para o avanço do conhecimento científico nessa área, fornecendo percepções valiosas para pesquisadores, agricultores, formuladores de políticas e outros agentes envolvidos na promoção de práticas sustentáveis na agropecuária.

Ao final da revisão, espera-se ter uma compreensão mais aprofundada sobre o papel dos biodigestores na agropecuária para a mitigação das mudanças climáticas, destacando os benefícios ambientais, a redução de emissões de gases de efeito estufa e os desafios a serem enfrentados. Essa compreensão aprimorada será essencial para promover a adoção efetiva dos biodigestores como uma estratégia de mitigação das mudanças climáticas no setor agropecuário.

■ DESENVOLVIMENTO

Nesta revisão narrativa, foi realizada uma pesquisa abrangente na literatura científica disponível. As etapas metodológicas incluíram:

1. **Identificação de palavras-chave:** Foram selecionadas palavras-chave relevantes para o tema, como “biodigestores”, “mudanças climáticas”, “biogás”, “emissões de gases de efeito estufa”, “benefícios ambientais” e “mitigação”.
2. **Busca bibliográfica:** Foi realizada uma busca em bases de dados científicas, como *Scopus*, *Scielo* e *Google Scholar*, utilizando as palavras-chave selecionadas. A busca foi restrita a artigos científicos publicados nos últimos 10 anos, com foco em estudos realizados no Brasil.
3. **Seleção dos artigos:** Foram analisados os títulos e resumos dos artigos encontrados na busca inicial. Foram selecionados os artigos que abordavam diretamente o tema proposto e apresentavam informações relevantes sobre os benefícios ambientais e a redução de emissões de gases de efeito estufa relacionados aos biodigestores.
4. **Análise e síntese dos artigos:** Os artigos selecionados foram lidos na íntegra e suas informações relevantes foram extraídas e organizadas em categorias temáticas, como benefícios ambientais dos biodigestores e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Apresentação e Análise dos Estudos

Nesta seção, os estudos selecionados foram apresentados e analisados em detalhes, com o objetivo de extrair informações relevantes sobre os benefícios ambientais e a redução de emissões de gases de efeito estufa relacionados aos biodigestores. A análise será realizada de acordo com dois estudos: **estudo 1** (CARVALHO, *et al.* 2017) e **estudo 2** (SIATKOWSKI, *et al.* 2022).

Estudo 1:

O uso de biodigestores e seus benefícios

A literatura sobre o assunto destaca os benefícios da implementação de biodigestores, que podem ser agrupados em três principais aspectos: econômicos e financeiros, sociais e ambientais, alinhados com as dimensões do desenvolvimento rural propostas por Kageyama (2004). Cada um desses aspectos traz benefícios específicos.

Quadro 1. Principais pesquisas sobre benefícios do biodigestor do Estudo 1.

Dimensão	Benefícios	Referências
Econômica	Geração de Energia	Barichello et al, 2015; Calza et al, 2015; Garfí, Martí-Herrero, Garwood, e Ferrer, 2016; Gomes e Raiher, 2013; Marin, et al. 2016; Montoro, et al 2017; Montoro, et al 2013; Silva e Cirani, 2016; Sosa, Díaz, Cruz, e De La Fuente, 2014
	Produção de Biofertilizantes	Barichello, et al. 2015; Garfí, et al. 2016; Marin, et al. 2016; Montoro, et al. 2017; Montoro, et al. 2013; Silva e Cirani, 2016
	Redução de custos	Cabanillas, Tablada, Ferreyra, Perez, e Sucani, 2017; Calza, et al. 2015; Gomes e Raiher, 2013; Marin, et al. 2016; Montoro, et al. 2017; Montoro, et al. 2013; Mukherjee, Cromley, Shah, e Bravo-Ureta, 2015; Silva e Cirani, 2016; Silva, Cirani, e Serra, 2016
Social	Desenvolvimento Sustentável	Cabanillas, et al. 2017; Marin, et al. 2016; Silva e Cirani, 2016; Silva, et al. 2016
	Geração de Renda	Gomes e Raiher, 2013; Marin, et al. 2016
	Biogás para cozinhar	Garfí, et al. 2016; Sosa, et al. 2014
	Melhoria na Qualidade de vida	Garfí, et al. 2016
	Redução do êxodo rural	Barichello, et al. 2015
Ambiental	Destinação de Resíduos	Andreazzi, Gonçalves, Santos, Maria, e Lazaretti, 2015; Barichello, et al. 2015; Gomes e Raiher, 2013; S. Montoro, et al. 2013; Silva e Cirani, 2016; Silva, et al. 2016
	Redução de GEE/ Crédito Carbono	Barichello, et al. 2015; Garfí, et al. 2016; Silva e Cirani, 2016
	Tecnologia Limpa/EcoInovação	Silva e Cirani, 2016; Silva, et al. 2016

Fonte: Elaborado por CARVALHO, et al. (2017).

■ ECONÔMICO

Geração de Energia

A utilização de biodigestores traz benefícios econômicos e financeiros significativos, especialmente em estudos que consideram a escala de biomassa em propriedades rurais ou indústrias. A geração de energia é um dos principais benefícios identificados na literatura. Por exemplo, o estudo de caso de Gomes e Raiher (2013) demonstrou que a produção de energia variou de 221,10 MWh a 580,65 MWh por ano, podendo ser usada na propriedade ou vendida como excedente. Outros estudos, como Barichello *et al.* (2015), mostraram economia de energia em pequenas propriedades, com geração de 1700 kWh a 5000 kWh por mês. Além disso, o uso de biodigestores pode substituir ou diversificar a energia fornecida pelas concessionárias (MONTORO *et al.*, 2013; SILVA; CIRANI, 2016; SOSA *et al.*, 2014).

Produção de Biofertilizantes e Redução de Custos

A produção de biofertilizantes é outro benefício importante associado ao uso de biodigestores. Esses biofertilizantes são vistos na literatura como alternativas sustentáveis que geram renda e reduzem os custos das propriedades rurais, substituindo a adubação química (MONTORO *et al.*, 2013; SILVA; e CIRANI, 2016). Por exemplo, o estudo de Montoro *et al.* (2017) demonstrou o potencial de produção de 466.550,00 litros de biofertilizante por dia em uma planta de confinamento bovino. É importante realizar estudos comparativos adicionais sobre o uso de biofertilizantes em comparação com dejetos in natura e outros fertilizantes (GARFÍ *et al.*, 2016; GOMES; RAIHER, 2013).

■ SOCIAL

Desenvolvimento Sustentável, Gás de Cozinha, Qualidade de Vida e Êxodo Rural

O uso de biodigestores contribui para o desenvolvimento rural sustentável, proporcionando atividades não agrícolas, como destacado por Marin *et al.* (2016) em um estudo realizado no Condomínio de Agroecologia para Agricultura Familiar no Paraná, Brasil. Outros benefícios sociais incluem a melhoria da qualidade de vida, especialmente para mulheres e crianças (GARFÍ *et al.*, 2016), a redução do êxodo rural e a promoção da permanência no campo (BARICHELO *et al.*, 2015). Além disso, o biogás gerado pode ser utilizado como substituto para o gás de cozinha (GARFÍ *et al.*, 2016; SOSA *et al.*, 2014).

■ AMBIENTAL

Destinação de Resíduos, Redução de (GEE) / Crédito de Carbono

O uso de biodigestores também traz benefícios ambientais significativos. Os resíduos orgânicos, incluindo biomassa de dejetos animais e outros resíduos orgânicos, podem ser adequadamente tratados e destinados, como evidenciado por vários estudos (ANDREAZZI *et al.*, 2015; BARICHELO *et al.*, 2015; GOMES; RAIHER, 2013; MONTORO *et al.*, 2013; SILVA; CIRANI, 2016; SILVA *et al.*, 2016). Além disso, os biodigestores contribuem para a redução de emissões de gases de efeito estufa e podem gerar créditos de carbono (BARICHELO *et al.*, 2015; GARFÍ *et al.*, 2016; SILVA; CIRANI, 2016). A tecnologia limpa e aecoinovação associadas ao uso de biodigestores são analisadas como oportunidades de inovação sustentável (SILVA; CIRANI, 2016; SILVA *et al.*, 2016), trazendo benefícios tanto para a imagem da empresa quanto para o compromisso ambiental e social. É importante

ressaltar que um dos principais benefícios é a destinação adequada de resíduos orgânicos, especialmente de dejetos animais.

Estudo 2:

Quadro 2. Principais pesquisas sobre benefícios do biodigestor do Estudo 2.

Dimensão	Benefícios	Referências
Econômico	Redução Gastos de Energia Produção de Biofertilizantes Redução de custos	Silva et al. (2018)
Social	Melhores Condições Sanitárias Melhoria na Qualidade de vida	Kulkarni et al. (2021)
Ambiental	Destinação Correta de Resíduos Redução de GEE	Garcia Junior, Pires e Cunha (2016); Alcócer et al. (2020)

Fonte: Elaborado pelo autor 2023, extraído de (SIATKOWSKI, et al. 2022).

Alguns estudos têm examinado os benefícios do uso de biodigestores em propriedades rurais. Segundo Garcia Junior, Pires e Cunha (2016), a adoção de biodigestores na agricultura e pecuária pode contribuir para uma redução de aproximadamente 40% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), além de representar uma fonte adicional de renda para as propriedades rurais.

Alcócer *et al.* (2020) demonstraram que a utilização de biodigestores na suinocultura é uma alternativa sustentável que auxilia na diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE), mitigação dos impactos ambientais, bem como, na geração de energia renovável e fertilizantes orgânicos.

Kulkarni *et al.* (2021) observaram que a implementação de sistemas de digestão anaeróbica em propriedades rurais de agricultura familiar contribui para a geração de biogás, que é principalmente, utilizado para fins domésticos, como cozimento, iluminação e aquecimento. Por outro lado, Cortez *et al.* (2022) demonstraram que o uso de biodigestores tem o potencial de aumentar o poder econômico de pequenos produtores e melhorar as condições de saneamento básico em áreas remotas.

Silva *et al.* (2018), enfatiza o aumento do rendimento na produção de frutas, hortaliças e plantas forrageiras através da utilização de biofertilizantes. Além disso, destaca-se a economia alcançada ao substituir adubos químicos, compostos orgânicos e esterco, que anteriormente precisavam ser adquiridos comercialmente.

Essa apresentação e análise dos estudos selecionados fornecem uma visão abrangente dos benefícios ambientais e da redução de emissões de gases de efeito estufa relacionados aos biodigestores. A próxima etapa da revisão narrativa envolverá a discussão crítica desses resultados, apontando lacunas de conhecimento e oferecendo recomendações para pesquisas futuras.

■ DISCUSSÃO CRÍTICA DOS RESULTADOS

A análise dos estudos apresentados sobre os benefícios dos biodigestores revela informações relevantes, mas também, pode ser complementada com uma discussão crítica para fornecer uma visão mais abrangente. Vamos examinar os resultados dos estudos e apontar algumas considerações críticas:

O **Estudo 1** destaca os benefícios econômicos, sociais e ambientais associados ao uso de biodigestores. No aspecto econômico, a geração de energia e a produção de biofertilizantes são identificadas como fontes de renda e redução de custos para as propriedades rurais. No entanto, é importante ressaltar que a viabilidade econômica dos biodigestores pode depender de vários fatores, como o tamanho da propriedade, a disponibilidade de matéria-prima e os custos de manutenção e operação.

No aspecto social, o uso de biodigestores é relacionado ao desenvolvimento sustentável, melhoria da qualidade de vida e redução do êxodo rural. Esses benefícios são fundamentais, mas é necessário considerar a capacidade de adoção e acesso aos biodigestores por parte das comunidades rurais. A implementação bem-sucedida requer suporte técnico, capacitação e financiamento adequados para garantir que os benefícios sociais sejam alcançados de forma inclusiva.

No aspecto ambiental, os biodigestores são reconhecidos como uma forma de tratar e destinar adequadamente resíduos orgânicos, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. No entanto, a magnitude real da redução de emissões de gases de efeito estufa pode variar dependendo de vários fatores, como o tipo de biomassa utilizada, o processo de digestão anaeróbica e as práticas de manejo dos biodigestores. Além disso, é importante considerar os impactos ambientais associados à produção e instalação dos biodigestores, bem como, a necessidade de monitoramento e controle adequados para evitar vazamentos de metano, um gás de efeito estufa potente.

Já o **Estudo 2** também destaca os benefícios dos biodigestores em termos de redução de emissões de gases de efeito estufa, fonte adicional de renda, geração de energia renovável e fertilizantes orgânicos. Esses resultados corroboram as descobertas do **Estudo 1**. No entanto, é importante notar que a generalização desses resultados pode ser limitada, pois, os estudos mencionados podem ter sido realizados em contextos específicos ou com amostras restritas. Portanto, é necessário realizar mais pesquisas para validar e ampliar esses resultados, levando em consideração diferentes condições geográficas, climáticas e socioeconômicas.

Além disso, é essencial considerar o equilíbrio entre os benefícios ambientais, sociais e econômicos dos biodigestores e os desafios e limitações associados à sua implementação. Por exemplo, a disponibilidade de biomassa suficiente, a viabilidade técnica em diferentes

contextos e a capacidade de escalar a tecnologia para atender às demandas de grande escala são questões que requerem atenção. Também é importante considerar os impactos potenciais dos biodigestores em outras áreas, como uso de terra, disponibilidade de água e possíveis conflitos com outras atividades agrícolas.

Em resumo, embora os estudos apresentados destaquem os benefícios dos biodigestores em termos econômicos, sociais e ambientais, é necessário adotar uma abordagem crítica para avaliar sua viabilidade e eficácia em diferentes contextos. Mais pesquisas são necessárias para aprofundar o conhecimento sobre os benefícios reais, considerando as complexidades e limitações associadas à implementação dos biodigestores. Essa discussão crítica pode fornecer percepções valiosas para orientar futuras pesquisas e práticas relacionadas aos biodigestores.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão crítica dos estudos selecionados revela que o uso de biodigestores oferece uma série de benefícios ambientais, com destaque para a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os resultados dos estudos mostram que os biodigestores têm o potencial de contribuir significativamente para a mitigação das mudanças climáticas, tanto pela redução direta de GEE quanto pela promoção de práticas mais sustentáveis na agricultura e pecuária. Os resultados dos estudos analisados demonstram que os biodigestores têm o potencial de reduzir aproximadamente 40% das emissões de GEE em propriedades rurais, especialmente, na agricultura e pecuária. Essa redução se deve ao fato de que os biodigestores capturam o metano produzido durante o processo de decomposição anaeróbica e o convertem em biogás, uma fonte de energia renovável que pode substituir combustíveis fósseis. No aspecto econômico, os biodigestores podem gerar renda por meio da produção de energia e biofertilizantes, mas a viabilidade econômica depende de fatores como o tamanho da propriedade, a disponibilidade de matéria-prima e os custos de operação. É essencial considerar esses aspectos ao avaliar a viabilidade financeira dos biodigestores.

No aspecto social, os biodigestores podem contribuir para o desenvolvimento sustentável, melhorar a qualidade de vida e reduzir o êxodo rural. No entanto, é crucial garantir acesso equitativo e inclusivo a essas tecnologias, fornecendo suporte técnico, capacitação e financiamento adequados, especialmente para comunidades rurais menos favorecidas.

No aspecto ambiental, os biodigestores oferecem uma maneira de tratar adequadamente resíduos orgânicos, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. No entanto, é necessário considerar a variabilidade das reduções de emissões em diferentes contextos e a importância de práticas adequadas de manejo e monitoramento para evitar vazamentos de metano.

A implementação de biodigestores permite a adequada destinação de resíduos orgânicos, incluindo dejetos animais, e a conversão do metano produzido durante o processo em biogás, uma fonte de energia renovável. Isso resulta em uma redução significativa das emissões de gases de efeito estufa, especialmente o metano, um potente GEE. Além disso, os biodigestores também contribuem para a diminuição da poluição ambiental, o manejo sustentável de resíduos e a promoção do desenvolvimento rural sustentável.

Com base nos benefícios ambientais e na redução de emissões de GEE enfatizados nessa discussão, as seguintes recomendações podem ser feitas:

1. **Incentivo à adoção de biodigestores:** Governos, organizações ambientais e instituições financeiras devem fornecer incentivos financeiros e apoio técnico para incentivar a adoção de biodigestores. Isso pode incluir subsídios, empréstimos a taxas de juros favoráveis e programas de financiamento específicos para a implementação desses sistemas.

2. **Educação e conscientização:** É essencial investir em programas de educação e conscientização para informar os agricultores, pecuaristas e comunidades rurais sobre os benefícios ambientais dos biodigestores. Isso pode envolver a realização de workshops, treinamentos e campanhas de sensibilização para disseminar o conhecimento sobre o potencial dessas tecnologias na redução de emissões de GEE.

3. **Parcerias e colaborações:** Estabelecer parcerias entre diferentes partes interessadas, como agricultores, empresas privadas, instituições de pesquisa e governos, pode impulsionar a implementação de biodigestores e maximizar os benefícios ambientais. Essas parcerias podem facilitar o acesso a recursos financeiros, expertise técnica e experiências compartilhadas, promovendo a disseminação e a adoção eficiente desses sistemas.

4. **Políticas de apoio:** Os governos devem desenvolver e implementar políticas de apoio que incentivem a adoção de biodigestores como parte de uma estratégia mais ampla de mitigação de GEE. Isso pode incluir a definição de metas e regulamentações ambientais, a criação de mercados de créditos de carbono e a promoção de programas de certificação para estimular a demanda por produtos provenientes de biodigestores.

5. **Pesquisa e inovação contínuas:** É fundamental investir em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar continuamente a eficiência dos biodigestores e explorar novas tecnologias e práticas de manejo. Isso pode envolver estudos de viabilidade econômica, avaliação de desempenho ambiental e análise comparativa de diferentes tipos de biodigestores.

Portanto, os biodigestores apresentam benefícios ambientais significativos, incluindo a redução de emissões de gases de efeito estufa. Para aproveitar ao máximo esses benefícios, é necessário um esforço conjunto de governos, organizações, pesquisadores e comunidades para promover a adoção e a implementação eficaz dessas tecnologias. Ao investir em

biodigestores e adotar práticas sustentáveis, podemos contribuir para a proteção do meio ambiente, a mitigação das mudanças climáticas e a construção de um futuro mais sustentável.

■ REFERÊNCIAS

ALCÓCER, J. C. A.; PINTO, O. R. O.; OLIVEIRA, J.; SILVA, M. E. D.; LIMA, A. C. A. Uso do biodigestor na suinocultura: uma alternativa à sustentabilidade ambiental na região do maciço de Baturité, Ceará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 783-818, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020783-818>.

ALENCAR, A.; Zimbres, B.; SILVA, C.; TSAI, D.; SILVA, F.B.; QUINTANA, G.O.; GRACES, I.; COLUNA, I.; SHIMBO, J.Z.; CARVALHO, K.; POTENZA, R.F.; AZEVEDO, T. **Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil**. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/desafios-e-oportunidades-para-reducao-das-emissoes-de-metano-no-brasil>. Acesso em: 29 jun 2023.

ALI, A.; USMAN, M.; USMAN, O.; SARKODIE, S. A. Modeling the effects of agricultural innovation and biocapacity on carbon dioxide emissions in an agrarian-based economy: evidence from the dynamic ardl simulations. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, p. 1-16, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2020.592061>.

ANDREAZZI, M.A; SANTOS, J.M.G.; LAZARETTI, R.M.J. Destinação dos resíduos da suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 744-751.

AYYILDIZ, M.; ERDAL, G. The relationship between carbon dioxide emission and crop and livestock production indexes: a dynamic common correlated effects approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 1, p. 597-610, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-10409-8>.

BARICHELLO, R. et al. O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 333-355, 2015.

BATTINI, F. et al. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: Case study of a dairy farm in the Po Valley. **Science of the Total Environment**, v. 481, p. 196-208, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>.

CABANILLAS, C. et al. Sustainable management strategies focused on native bio-inputs in *Amaranthus cruentus* L. in agroecological farms in transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 343-350, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.065>.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 990–997, nov. 2015.

CARVALHO, E. S. et al. Viabilidade e benefícios de implantação de pequenos biodigestores em propriedades de agricultura familiar. In: **VI Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade - VI SINGEP**, 2017.

CHENG, M.; MCCARL, B.; FEI, C. Climate change and livestock production: a literature review. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 140-159, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos13010140>.

CORTEZ, S. C. CHERRI, AC, JUGEND, D., JESUS, GM, & BEZERRA, BS. How can biodigesters help drive the circular economy? An analysis based on the SWOT matrix and case studies. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7972-1986, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su14137972>.

GARCIA JÚNIOR, L. C.; PIRES, M. V.; CUNHA, D. A. Biodigestores para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa pela bovinocultura na região Sudeste, Brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 14, n. 1, 2, 3, p. 139-166, 2016. DOI: 10.25070/rea.v14i1,2,3.355.

GARFÍ, M., MARTÍ-HERRERO, J., GARWOOD, A., & FERRER, I. Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. **Renewable and Sustainable Energy**, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.071.

GOMES, T.; RAIHER, A. Viabilidade econômica da produção de biogás de dejetos suínos: um estudo de caso. **Revista Ciências Administrativas**, v. 19, n. 2, p. 776-815, 2013. <https://doi.org/10.5020/2318-0722.2013.v19n2p776>.

KAGEYAMA, A. Desenvolvimento rural: conceito e medida. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 21, n. 3, p. 379–408, 2004.

KLARIN, T. The concept of sustainable development: from its beginning to the contemporary issues. Zagreb International **Review of Economics and Business**, v. 21, n. 1, p. 67-94, may, 2018. <https://doi.org/10.2478/zireb-2018-0005>.

KULKARNI, I.; ZANG, J. W.; LEANDRO, W. M.; PARIKH, P.; ADLER, I.; FONSECA-ZANG, W. A.; CAMPOS, L. C. Closed-Loop biodigesters on small-scale farms in low- and middle-income countries: a review. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2744-2763, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/w13192744>.

MARIN, M.Z., BLEY JUNIOR & GONZALES, R.H.A. Espaços Rurais: além dos alimentos, a vocação energética. **Boletim de Geografia**, v. 34, n. 3, p. 63–80, 2016. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i3.24079>.

MONTORO, S. B.; SANTOS, D. F. L.; LUCAS JUNIOR, J. de. Economic and financial of digester use in cattle confinement for beef. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 353–365, 2017. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p353-365/2017>.

MONTORO, S.; SANTOS, D.; JÚNIOR, J. L. Análise Econômica de Investimentos que visam a produção de biogás e biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia na bovinocultura de corte. **Revista Eletrônica Mestrado Em Administração**, v. 5, n. 2, p. 23–34, 2013. Retrieved from: <http://repositorio.unp.br/index.php/raunp/article/view/314>.

OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M. A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 231-250, may, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.162>.

PARIHAR, S. S.; SAINI, K. P. S.; LAKHANI, G. P.; JAIN, A.; ROY, B.; GHOSH, S.; AHA-RWAL, B. Livestock waste management: a review. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 3, n. 7, p. 384-393, 2019.

PIRES, M. V.; CUNHA, D. A.; CARLOS, S. M.; COSTA, M. H. Nitrogen use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: current trends and forecasts. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. e0135234, 2015.

SILVA, A. R. da; CIRANI, C. B. S. Viabilidade Econômica e Benefícios ambientais de tecnologia aplicada a biodigestores em empresas processadoras de mandioca no Paraná. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 9, p. 22–53, 2016. <https://doi.org/10.19177/reen.v9e3201622-53>.

SILVA, A. R. da; CIRANI, C. B. S.; SERRA, F. A. R. Desempenho Econômico e Ambiental: Práticas de EcoInovação em Biodigestores em Empresas Processadoras de Mandioca. **Revista de Gestão Ambiental E Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, p. 72–86, 2016. <https://doi.org/10.5585/geas.v5i3.584>.

SILVA, M. L.; ALCÓCER, J. C. A.; PINTO, O. R. O.; QUEIROZ, D. M. B. Anaerobic biodigester as a technology for the use of swine draws sustainable alternative in the municipality of Barreira, Ceará. **Interdisciplinary Scientific Journal**, v. 5, n. 3, p. 1-14, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17115/2358-8411/v5n3a1>.

SIATKOWSKI, A., Soares, J., Cipriano, S. A., Doliveira, S. L. D., & Massuga, F. USO DE BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS PARA SUSTENTABILIDADE E COMO FERRAMENTA MITIGADORA DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 51-71, 2022.

SOSA, R.; DÍAZ, Y. M.; CRUZ, T.; DE LA FUENTE, J. L. Diversification and overviews of anaerobic digestion of Cuban pig breeding. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 48, n. 1, p. 67–72, 2014. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84902009379&partnerID=40&md5=ade3ec359e3cd2b50531d8409d29a94f>.

TEIXEIRA, R. L. P; PESSOA, Z. S. Interfaces entre adaptação climática e energias renováveis: notas para um debate teórico-analítico. **Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 144-156, 2022.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME AND CLIMATE AND CLEAN AIR COALITION (Kenya). **United Nations Environment Programme. GLOBAL METHANE ASSESSMENT: benefits and costs of mitigating methane emissions. Nairobi, 2021.** 173 p. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>. Acessado em 20 de junho de 2023.