

USO DE BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS PARA SUSTENTABILIDADE E COMO FERRAMENTA MITIGADORA DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

USO DE BIODIGESTORES EN PROPIEDADES RURALES PARA LA SOSTENIBILIDAD Y COMO HERRAMIENTA PARA MITIGAR GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

USE OF BIODIGESTORS IN RURAL PROPERTIES FOR SUSTAINABILITY AND AS A TOOL TO MITIGATE GREENHOUSE GAS (GHG)

Aldo Siatkowski¹; Jaqueline Soares²; Serli Aparecida Cipriano²; Sérgio Luis Dias Doliveira³; Flavia Massuga⁴.

1. Mestrando em Administração pela Universidade Estadual do Centro Oeste e professor colaborador da Universidade Estadual do Centro Oeste. E-mail: siatkowski.aldo@gmail.com
2. Bacharel em Administração pela Universidade Estadual do Centro Oeste
3. Doutor em Administração pela Universidade Federal do Paraná, Brasil e professor titular da Universidade Estadual do Centro Oeste
4. Doutoranda em Desenvolvimento Comunitário pela Universidade Estadual do Centro Oeste

PALAVRAS-CHAVE

Desenvolvimento sustentável; Biodigestor; Agronegócio; Mudanças climáticas.

PALABRAS CLAVE

Desarrollo sustentable; biodigestor; agroindustria; Cambios climáticos.

KEY WORDS

Sustainable development; Biodigester; Agribusiness; Climate changes.

RESUMO

Considerando as tendências de ampliação da produção agropecuária nas próximas décadas e a intensificação das discussões sobre seus efeitos em relação as mudanças climáticas, esta pesquisa buscou compreender como o uso de biodigestores em propriedades rurais pode promover a sustentabilidade e a mitigação de gases de efeito estufa (GEE). Para operacionalização, foi realizado um estudo qualitativo com realização de entrevistas com especialistas e produtores agropecuários e observações não participantes nas propriedades rurais. Nos resultados observa-se que o biodigestor é eficiente na remoção de carga orgânica, promovendo a sustentabilidade com benefícios em suas três dimensões. Ele melhora a qualidade de vida das famílias agropecuaristas, agrega valor para o proprietário rural a partir da geração do biogás e biofertilizante e contribui para a qualidade do meio ambiente na área rural evitando a contaminação da água e do solo e reduzindo a utilização de fontes não renováveis de energia, além de auxiliar na redução de GEE ao retirar dos espaços abertos as fontes de gás metano.

RESUMEN

Considerando las tendencias de expansión de la producción agrícola en las próximas décadas y la intensificación de las discusiones sobre sus efectos en relación con el cambio climático, esta investigación buscó comprender cómo el uso de biodigestores en propiedades rurales puede promover la sostenibilidad y la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI). Para la operacionalización se realizó un estudio cualitativo con entrevistas a especialistas y productores agropecuarios y observaciones no participantes en predios rurales. En los resultados se observa que el digestor es eficiente en la remoción de carga orgánica, fomentando la sustentabilidad con beneficios en sus tres dimensiones. Mejora la calidad de vida de las familias campesinas, agrega valor al propietario rural a partir de la generación de biogás y biofertilizantes y contribuye a la calidad del medio ambiente en las zonas rurales, evitando la contaminación de aguas y suelos y reduciendo el uso de fuentes no renovables fuentes de energía, además de ayudar a reducir los GEI al eliminar las fuentes de gas metano de los espacios abiertos.

ABSTRACT

Considering the trends of expansion of agricultural production in the coming decades and the intensification of discussions about its effects in relation to climate change, this research sought to understand how the use of biodigesters in rural properties can promote sustainability and mitigation of greenhouse gases (GHG). For operationalization, a qualitative study was carried out with interviews with specialists and agricultural producers and non-participant observations on rural properties. In the results it is observed that the biodigester is efficient in the removal of organic load, promoting sustainability with benefits in its three dimensions. It improves the quality of life of farming families, adds value to the rural owner from the generation of biogas and biofertilizer and contributes to the quality of the environment in rural areas, avoiding contamination of water and soil and reducing the use of sources non-renewable energy sources, in addition to helping to reduce GHG by removing sources of methane gas from open spaces.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se um aumento populacional mundial dos atuais 7,7 bilhões de pessoas para 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,4 bilhões em 2100, conforme apresentado no relatório Perspectivas Mundiais de População, divulgado pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2022). Esse aumento populacional fará com que o consumo de alimentos se torne cada vez maior. Dados da Food and Agriculture Organization e Organization for Economic Cooperation and Development (FAO; OECD, 2022) preveem um aumento de 1,4% ao ano do consumo global de alimentos na próxima década. Associado a esta tendência, estima-se um acréscimo de 1,1% e 1,5% da produção agrícola e pecuária ao ano, respectivamente.

O Brasil é considerado o maior exportador líquido de alimentos do mundo (FAO, 2021). Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2022), em 2021, as exportações do agronegócio brasileiro obtiveram uma receita de 121 bilhões de dólares, com tendência de crescimento para os próximos anos. No entanto, apesar dos avanços relacionados a melhorias na produtividade decorrentes de investimento em tecnologias e infraestruturas, as perspectivas destacam o impacto dos sistemas agrícolas para as mudanças climáticas, especificamente, ao considerar as emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) (OECD; FAO; 2022; EMBRAPA, 2022).

As emissões de GEE ocorrem praticamente em todas as atividades humanas e setores da economia. O sistema alimentar global é um dos setores econômicos que impactam diretamente o meio ambiente e contribuem de modo significativo para as mudanças climáticas (POORE; NEMECEK, 2018; PANCHASARA; SAMRAP; ISLAM, 2021; YASMEEN et al., 2022). De acordo com o World Resources Institute (WRI, 2022), o setor agrícola gerou cerca de 6 bilhões de toneladas de GEE em 2019, o que equivale a 12% do total de emissões. No Brasil a agricultura é o setor líder nas emissões, correspondendo a 35% do total de GEE gerado. Dada a demanda crescente por alimentos devido ao crescimento populacional estima-se ainda um aumento das emissões agrícolas de 6% na próxima década, sendo 90% deste atribuído as atividades de pecuária (OECD; FAO, 2022).

A pecuária é considerada o maior setor de emissões dentre os setores agrícolas, sendo responsável por cerca de 70% do total da geração de GEE (SPRINGMANN et al., 2018; PANCHASARA; SAMRAT; ISLAM, 2021). As atividades relacionadas à pecuária como o manejo de esterco, consumo de energia e a fermentação entérica, que ocorre principalmente nos sistemas digestivos dos animais ruminantes, por exemplo, geram emissões de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2), gases estes relacionados diretamente com o aquecimento global (KIGGUNDU et al., 2019; CHENG; MCCARL; FEI, 2022; EISEN; BROWN, 2022). Destaca-se ainda que a criação de bovinos e suínos são a maior fonte de emissões de CH_4 relacionadas com o estrume (ALI et al., 2021; CHENG; MCCARL; FEI, 2022), e que a contaminação dos solos e da água com alta concentração de metais pesados como cobre (Cu) e Zinco (Zn) é outro problema causado pelos dejetos de animais, quando não gerenciados adequadamente (ALCÓCER et al., 2020).

Devido à tendência do aumento da demanda por produtos de origem animal (BOWLES; ALEXANDER; HADJIKAKOU, 2019; CHENG; MCCARL; FEI, 2022), espera-se também, na ausência de medidas mitigadoras, um aumento nas emissões de GEE, o que provocará maiores efeitos negativos ao meio ambiente e pressões ambientais voltadas ao sistema alimentar (SPRINGMANN et

al., 2018). Ayyildiz e Erdal (2021) observaram que um aumento de 1% na produção pecuária eleva as emissões de CO₂ em 0,28, 0,49 e 0,39% em países de renda média baixa, renda média alta e alta, respectivamente, o que indica a necessidade de melhoria nos métodos de produção a fim de minimizar os danos.

Apesar dos esforços do acordo de Paris em alertar para a necessidade da manutenção da temperatura média global abaixo dos 2° C considerando os níveis pré-industriais (ONU, 2015), o relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) indica a possibilidade de um aumento da temperatura de 3,3 a 5,7°C acima dos níveis pré-industriais no final do século, caso as tendências de emissões continuem.

Conforme descrito por Saini, Sharma e Kumar (2018), diversos podem ser os impactos da intensificação da emissão dos GEE e o consequente aquecimento da temperatura da terra. Dentre eles, destacam-se o derretimento mais acelerado das geleiras, aumento do nível do mar, precipitações excessivas, secas, mudanças na temperatura e nos padrões de vento. Essas mudanças nos eventos climáticos, tais como, níveis de precipitação e temperaturas mais elevados, afetam, inclusive, o rendimento da produção agrícola pela maior possibilidade de infestação de pragas, redução da fertilidade do solo e mudanças nas atividades metabólicas das plantas (MALHI; KAUR; KAUSHIK, 2021). Na pecuária, o clima pode afetar as taxas de crescimento do gado, produção de leite e ovos e desempenho reprodutivo, o que ameaça a segurança alimentar global (AYYILDIZ; ERDAL, 2021; CHENG; MCCARL; FEI, 2022).

Dadas as elevadas emissões associadas ao setor agropecuário e as tendências de crescimento da produção nos próximos anos, são necessárias soluções sustentáveis que contemplem as dimensões ambiental, social e econômica. Dessa forma, busca-se aliar preservação do capital natural, bem-estar social e qualidade de vida e sustentabilidade econômica considerando o uso eficiente dos recursos e geração de receitas (NASCIMENTO, 2012; OLAWUMI; CHAN, 2018; KLARIN, 2018).

Segundo a OECD-FAO (2022), para que o setor agrícola se torne sustentável e contribua de modo efetivo com a redução global das emissões de GEE é necessária adoção de processos e tecnologias de produção inteligente. Dentre as soluções destacam-se o uso de energia limpa e renovável nas atividades agrícolas, como a utilização da bioenergia (ALI et al., 2021; AYYILDIZ; ERDAL, 2021; TEIXEIRA; PESSOA, 2022). Além disso, a implementação de tecnologia eficaz, mais adequada ao usuário final e ao local podem transformar os sistemas de produção e reduzir a poluição ambiental (ROMO-RÁBAGO; HERREMANS; HETTIARATCHI, 2018; PURDY et al., 2018). Os resíduos de

animais, inclusive, apresentam benefícios quando utilizados como fertilizantes ou energia limpa (PARIHAR et al., 2019). Cabe ressaltar que essas medidas são ainda mais importantes em países como o Brasil, que tem no setor agropecuário parcela expressiva em suas atividades econômicas.

Uma das tecnologias que podem auxiliar na redução das emissões de GEE no setor agropecuário é o biodigestor (KAPARAJU; RINTALA, 2011; BATTINI, 2014). Ele corresponde a uma câmara hermeticamente fechada dimensionada para digerir biomassas de diferentes origens, como os resíduos orgânicos da agricultura e os dejetos de animais, a partir do processo de digestão anaeróbica (BLEY JUNIOR, 2015; ROMO-RÁBAGO; HERREMANS; HETTIARATCHI, 2018). A digestão anaeróbica propicia a redução das emissões de GEE ao retirar dos espaços a céu aberto as fontes de gás metano nas operações de criação animal, além disso contribui com o controle de odores e a produção de energia (biogás) e biofertilizantes para utilização na propriedade rural (BLEY JUNIOR, 2015; PURDY et al., 2018; WELSH et al., 2018; CHENG; MCCARL; FEI, 2022). Em especial, o biogás gerado a partir dos digestores anaeróbicos, é um combustível limpo e ecológico obtido pela conversão bacteriana da matéria orgânica de animais e resíduos agrícolas disponíveis em larga escala no campo (PARIHAR et al., 2019). Segundo Kulkarni et al. (2021), no Brasil, por exemplo, o esterco de duas a quatro vacas pode fornecer gás de cozinha para uma residência com cinco a seis pessoas. O biofertilizante também é considerado ecologicamente correto e mais econômico em comparação aos fertilizantes químicos, sendo rico em fósforo e nitrogênio (CORTEZ et al., 2022).

Alguns estudos analisaram os benefícios da utilização de biodigestores em propriedades rurais. Conforme apontam Garcia Junior, Pires e Cunha (2016), a utilização de biodigestores na agropecuária, pode auxiliar na redução de cerca de 40% a emissão de GEE e ser fonte de renda adicional para propriedades rurais. Alcócer et al. (2020), demonstraram que o uso do biodigestor na suinocultura é uma alternativa sustentável que contribui na redução das emissões de GEE, redução dos impactos ambientais e na produção de energia renovável e adubo orgânico. Kulkarni et al. (2021), observaram que a implementação dos sistemas de digestão anaeróbica nas propriedades rurais de agricultura familiar contribui na geração do biogás que é utilizado, em sua maior parte, para fins domésticos, nas atividades de cozimento, iluminação e aquecimento. Cortez et al., (2022), por sua vez, demonstraram que o uso de biodigestores tem a capacidade para aumentar o poder econômico de pequenos produtores e melhorar o saneamento básico em áreas remotas.

Este estudo busca aprofundar essa discussão e tem como objetivo principal compreender, a partir da visão de especialistas e produtores agropecuários, como o uso de biodigestores em propriedades

rurais agropecuárias pode promover sustentabilidade econômica, social e ambiental e a mitigação de GEE, que tem papel preponderante nas mudanças climáticas que vêm sendo evidenciadas. Espera-se com o estudo contribuir com a percepção sobre os benefícios da utilização da digestão anaeróbica para tratamento dos resíduos agrícolas e agropecuários.

Na próxima seção, estão descritos os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa. Na sequência são elencados os resultados obtidos, considerando o uso dos biodigestores e sua relação com a sustentabilidade, bem como, a sua contribuição na redução dos GEE e mudanças climáticas. Por fim, as considerações finais do estudo são apresentadas.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de uma pesquisa qualitativa visto que tem a participação de atores sociais, entre eles, especialistas do tema e proprietários rurais agropecuários, e direciona-se ao entendimento do significado individual e à interpretação da complexidade de uma situação (CRESWELL, 2010). Também é considerada exploratória e descritiva, ao buscar proporcionar maior entendimento sobre o problema analisado, identificando e descrevendo as características do fenômeno sem interferência direta do pesquisador (BARROS; LEHFELD, 2007).

Quanto aos procedimentos técnicos optou-se pela realização de um estudo de campo, método que permite obter informações ou conhecimento sobre um problema, para o qual se procura uma resposta (LAKATOS; MARCONI, 2003). A operacionalização ocorreu por meio da realização entrevistas semiestruturadas, uma forma flexível de coleta de dados que permite ao pesquisador acrescentar novas questões durante o processo (DAWSON, 2009). As entrevistas foram realizadas em duas etapas. A primeira contou com a coleta de dados em propriedades rurais que possuíam o biodigestor. A segunda etapa consistiu na realização de entrevistas com especialistas no tema, os quais não tinham relação direta com as propriedades investigadas.

O roteiro para a entrevista com os proprietários rurais foi inicialmente composto por questões para caracterização das propriedades abrangendo informações sobre a atividade produtiva predominante, contato com a tecnologia do biodigestor, interesse para instalação, investimento inicial e dificuldades observadas. Na sequência, foram realizadas questões buscando compreender as vantagens obtidas a partir da construção do biodigestor e os benefícios ambientais, sociais e econômicos percebidos.

Para os especialistas o roteiro abrangeu os seguintes questionamentos: 1. A instalação de biodigestores promove a sustentabilidade nas propriedades rurais? 2. Como o uso do sistema pode

contribuir para minimizar as emissões de GEE os impactos das mudanças climáticas? 3. Qual a importância dos biodigestores para o desenvolvimento econômico, social e ambiental no meio rural? 4. Quais os benefícios dos subprodutos gerados a partir do biodigestor? 5. O uso de biodigestores é uma fonte viável para geração de energias renováveis?

Os entrevistados foram selecionados de forma intencional, por acessibilidade. Três propriedades rurais participaram da pesquisa, sendo: uma localizada no interior do município de Rebouças – PR, na localidade de Barro Branco (propriedade/proprietário 1); uma na cidade de Moreira Sales - PR, (propriedade/proprietário 2); e, uma localizada no interior de Irati – PR na comunidade de Alvorada, (propriedade/proprietário 3). As entrevistas com os proprietários foram realizadas em visitas agendadas *in-loco*. Além disso, 4 especialistas aceitaram participar do estudo, sendo denominados pelos números de 1 a 4, conforme informações apresentadas no Quadro 1. Neste caso, as entrevistas foram efetuadas, por meio eletrônico, dada maior facilidade no contato com os entrevistados.

Quadro 1 – Informações sobre os especialistas entrevistados

Especialista	Formação / Área de Atuação
Especialista 1	Graduado em Engenharia Ambiental. Especialista em Agrimensura e Geoprocessamento. Especialista em Gestão Ambiental de Municípios. Especialista em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás. Mestre em Energia na Agricultura. Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Atuou como pesquisador do Centro Internacional de Energias Renováveis - CiBiogás.
Especialista 2	Graduada em Engenharia Ambiental. É secretária municipal de Ecologia e Meio Ambiente e sócia-proprietária de empresa especializada em serviços de engenharia ambiental.
Especialista 3	Graduado em Engenharia Elétrica. Mestre e doutor em Engenharia Elétrica. Como docente desenvolve atividades de ensino, pesquisa e extensão nos temas: geração fotovoltaica, geração eólica e biodigestores.
Especialista 4	Graduado em Engenharia Ambiental e de Segurança do Trabalho. Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura. Doutor em Engenharia Agrícola. Foi membro do grupo de pesquisa em Sustainable Energy Engineering do Cork Institute of Technology na Irlanda. É Analista de Tecnologias da Indústria do Biogás da <i>United Nations Industrial Development Organization</i> .

Fonte: Dados da pesquisa.

Além das entrevistas, foram realizadas observações não participantes nas propriedades rurais. Segundo Creswell (2010) na observação, o pesquisador realiza anotações de campo sobre o comportamento e tarefas desempenhadas no local da pesquisa. As observações permitiram a construção de diários de campo e registros fotográficos que possibilitaram a compreensão do

funcionamento do sistema de biodigestão, bem como subsidiaram a avaliação dos impactos econômicos, ambientais e sociais em relação à temática abordada.

O método de análise dos dados utilizado foi a análise de conteúdo que se refere a um conjunto de técnicas sistemáticas que visam descrever os conteúdos de determinadas mensagens e obter conhecimentos sobre elas (BARDIN, 2011). Neste caso, busca-se inferências confiáveis dos dados e informações a partir dos discursos e seus atores, não se restringindo à descrição dos conteúdos, mas sim envolvendo o todo da comunicação (MARTINS; THEÓPHILO, 2007). Quatro categorias de análise foram definidas a priori sendo: 1. A utilização de biodigestores em propriedades rurais para a sustentabilidade; 2. Produtos gerados a partir do uso do biodigestor; e 3. Benefícios econômicos, sociais e ambientais gerados pelo biodigestor e sua contribuição para a mitigação de GEE.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os objetivos estabelecidos, a análise e discussão dos resultados está estruturada da seguinte forma: Inicialmente é realizada a caracterização das propriedades, considerando informações sobre atividade predominante, instalação do biodigestor, investimentos iniciais e dificuldades observadas. Na sequência é abordado o uso dos biodigestores em propriedades rurais como alternativa à promoção da sustentabilidade e mitigação dos efeitos ambientais provocados pelas atividades agropecuárias. No próximo tópico discute-se sobre os produtos gerados a partir da digestão anaeróbica e formas de utilização. Por fim, centra-se especificamente nos benefícios ambientais, sociais e econômicos e nas contribuições do uso dos biodigestores para a redução de GEE.

3.1 Caracterização das propriedades investigadas

A seguir está apresentada a caracterização das propriedades investigadas, conforme informações obtidas a partir das entrevistas e observações.

3.1.1 Propriedade de Barro Branco

A propriedade 1, está localizada no Barro Branco, município de Rebouças-PR. A principal atividade é a suinocultura, com a realização do ciclo completo de reprodução, engorda e venda para o abate. Ela conta com 12 colaboradores que desenvolvem as atividades nas instalações da granja, as quais são divididas conforme etapas do processo da criação dos animais, sendo: gestação (114 dias), amamentação, (25 dias); “Creche”, (60 dias após o desmame); e engorda (4,5 meses). Em todas essas etapas há coleta dos dejetos para o biodigestor.

O proprietário 1, conheceu a tecnologia do biodigestor a partir de um de seus funcionários, bem como, por meio da mídia. Devido ao aumento dos suínos ao longo do tempo, ocorreu também aumento de dejetos gerados, fazendo com que dobrasse o trabalho em relação à coleta que era realizada de modo manual. A busca pelo biodigestor foi motivada também pelo mau cheiro, descarte incorreto dos dejetos no ambiente, insetos que se propagavam e pelos gastos com energia. O processo de instalação ocorreu por meio de uma empresa privada, com um investimento inicial de 300 mil reais, financiado a partir de uma instituição financeira. O proprietário 1 relata que o processo de construção foi rápido e que o maior problema foi a burocracia para a liberação da instalação do biodigestor.

3.1.2 Propriedade de Moreira Sales

A propriedade 2 está localizada no município de Moreira Sales-PR. A atividade principal é a pecuária leiteira, desenvolvida com a colaboração de 5 funcionários. O gado é criado em semi confinamento e a ordenha é realizada duas vezes ao dia. A coleta de dejetos é realizada no momento da alimentação em confinamento e no local de ordenha.

O proprietário 2 tomou conhecimento do biodigestor a partir das mídias e por propostas das empresas do ramo. A necessidade de instalação surgiu também no momento em que ocorreu um aumento no número de animais e não se conseguia realizar a destinação ambientalmente adequada dos dejetos. A ideia era transformar os dejetos dos animais em adubo orgânico e aumentar a produção das pastagens. A instalação foi realizada por meio de uma empresa privada, com investimento de 195 mil reais, financiado por uma instituição financeira a partir do plano de agricultura de baixo carbono. Dentre as dificuldades, o proprietário 2 destaca a demora na liberação do financiamento (1 ano e meio), o que acabou resultando no aumento dos preços acordados no início do projeto.

3.1.3 Propriedade de Alvorada

A propriedade 3 está localizada em Alvorada, no interior do município de Irati-PR. A atividade principal é a suinocultura, realizando o ciclo completo de reprodução até a engorda para o abate dos suínos. Ao todo, 5 colaboradores são responsáveis pelas atividades. Da mesma forma que ocorre na propriedade 1, as instalações da granja são divididas conforme cada etapa do processo de criação dos animais e, em todas elas, há a estrutura para a coleta dos dejetos.

O proprietário 3 teve a iniciativa própria de conhecer a tecnologia ao visitar outras propriedades para entender seu funcionamento. A necessidade de instalação do biodigestor surgiu devido à

difficuldade em coletar e destinar os dejetos dos animais. O investimento inicial foi de 120 mil reais, também obtido por meio de financiamento por instituição financeira. A instalação foi realizada por uma empresa privada e o proprietário relata que o processo foi rápido e não identificou problemas.

3.2 O uso de biodigestores na agropecuária para sustentabilidade das propriedades rurais

Conforme observado na pesquisa realizada, os proprietários e especialistas concordam que o uso de biodigestores contribui para solucionar o problema ambiental enfrentado pelos produtores rurais, referente ao descarte de dejetos.

Todos os proprietários rurais relataram a identificação da necessidade de instalação dos biodigestores a partir do aumento do número de animais e da dificuldade em gerir de modo adequado os dejetos, seja em relação à sua coleta, armazenamento, transporte e destinação. Isto acabavam resultando também em mau cheiro e propagação de insetos. De acordo com o proprietário 2, a procura pelo biodigestor ocorreu:

No momento em que a caixa de esterco não dava mais conta, devido ao aumento de animais. Este esterco acabava caindo na nascente.

Após a instalação da tecnologia, os dejetos passaram a ser coletados a partir de canaletas onde, misturados com água, realizam o percurso até um grande recipiente (Ver Figura 1). Por meio desse sistema, podem ser evitadas possíveis contaminações da água e do solo com a alta concentração de metais pesados como cobre e zinco presentes nos dejetos de animais (ALCÓCER et al., 2020). Quando os recipientes atingem a capacidade total, o efluente é esgotado e segue por tubulações até o biodigestor. Os biodigestores das propriedades investigadas possuem de 4 a 4,5 metros de profundidade e levam 30 dias para realizar o processo de biodigestão.

Figura 1 - Canaletas de escoamento de dejetos das propriedades investigadas



Fonte: Dados da pesquisa.

Os especialistas também destacam a importância do biodigestor para resolver o problema de eliminação dos dejetos dos animais. Assim, como descrito por Bley Junior (2015) e Romo-Rábago,

Herremans Hettiaratchi (2018), é ressaltado que o biodigestor é eficiente para a remoção da carga orgânica, por meio da digestão anaeróbica, diminuindo a poluição do meio ambiente. De acordo com o especialista 4:

A utilização de biodigestores evita o armazenamento dos dejetos ao ar livre, bem como a aplicação direta através de métodos pouco eficientes.

O uso de biodigestores também pode promover a geração de energia elétrica, como observado nas propriedades 1 e 3. De acordo com Purdy et al. (2018) é importante e necessária a diversificação da matriz energética, a fim de atender a demanda crescente por energia, permitir o bom funcionamento das atividades nas propriedades rurais e auxiliar na redução do uso de combustíveis fósseis. Além disso, para Yasmeeen et al. (2022), o consumo de energia renovável é fundamental para melhorar a qualidade ambiental. Para o especialista 3, dado o crescimento constante da utilização de energia para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, os biodigestores são importantes para promover a sustentabilidade energética. No entanto, ressalta-se que, para realmente promover resultados sustentáveis, o biodigestor deve ser operado de modo adequado com realização de manutenções periódicas, conforme pode ser evidenciado na fala do especialista 1:

É importante notar que o biodigestor deve ser operado adequadamente, com manutenção pelo menos em uma base anual. Biodigestores mal operados podem não só agravar os problemas ambientais, como também diminuir a credibilidade deste sistema de tratamento.

Resultados indiretos no uso do biodigestor também são observados nos relatos do especialista 4. Para ele, o gás produzido no biodigestor pode ser utilizado para aquecimento de água e das moradias, além de reduzir o uso de fogões a lenha e, por consequência a derrubada de árvores.

De modo geral, observa-se que com o aumento dos resíduos gerados pela criação de suínos e bovinos, a maior fonte de emissões de metano relacionados ao estrume (ALI et al., 2021; CHENG; MCCARL; FEI, 2022), as propriedades aderiram ao uso de biodigestores sanando as dificuldades com o manejo dos dejetos, além de melhorar o ambiente rural agregando valor ao que antes era um passivo ambiental.

3.3 Produtos gerados a partir da digestão anaeróbica e formas de utilização nas propriedades rurais

Com a utilização de biodigestores nas propriedades rurais é possível gerar dois produtos principais: O biogás e o biofertilizante (SILVA et al., 2018; PURDY et al., 2018; WELSH et al., 2018; CHENG; MACCARL; FEI, 2022).

O Biogás refere-se a uma mistura de gases composta principalmente de metano, conforme o especialista 1. Isso confirma as teorias de Bley Junior (2015) e Romo-Rábago, Herremans e Hettiaratchi (2018), que compreendem o biodigestor como um equipamento responsável pela recuperação do CH_4 . De uma forma geral, todos os especialistas relatam que o biogás pode ser utilizado nos processos que necessitam de energia e demandam aquecimento, sendo um substituto de lenha e de combustíveis fósseis, o que pode ser representado na fala do especialista 1:

O biogás bruto ou refinado à biometano pode ser utilizado em qualquer processo que demande energia, mas mais facilmente em processos térmicos. Logo, após os investimentos iniciais, o produtor passaria a economizar com lenha, gás e energia elétrica.

Nas propriedades rurais investigadas, observa-se que as propriedades 1 e 3 possuem o sistema para a geração de energia elétrica. Na propriedade 1 o sistema é integrado a rede de distribuição da concessionária responsável pelo fornecimento de energia, obtendo redução nos custos com energia elétrica além de poder obter créditos de energia a partir do excedente. Na propriedade 3 a energia não é distribuída pela rede da concessionária local. O gás gerado pelo biodigestor é utilizado para movimentar um motor responsável pela geração de energia elétrica, à qual é utilizada para o suprimento de toda a propriedade. Já a propriedade 2 utiliza o biogás apenas para fins de aquecimento na atividade leiteira e no uso doméstico. Nesse sentido, o biogás se demonstra como uma alternativa para os produtores rurais em relação à segurança energética. Esses resultados corroboram a pesquisa de Kulkarni et al. (2021), que identificou que as propriedades rurais utilizavam o biogás principalmente para fins de suprimento da propriedade considerando as atividades de cozimento, iluminação e aquecimento.

Em relação ao biofertilizante, os especialistas destacam que sua qualidade é maior se comparado a aplicação dos dejetos crus ou esterco, visto que a absorção dos nutrientes no solo é mais eficiente, além de causar menores danos ao meio ambiente, contribuindo para uma agricultura mais sustentável. Estes relatos vão ao encontro da perspectiva Cortez et al., (2022) quando apontam que o biofertilizante é considerado ecologicamente correto, sendo rico em fósforo e nitrogênio. Outra vantagem de seu uso está relacionada a redução dos custos com a adubação química. Nas palavras do especialista 1:

O uso de biofertilizante se sobrepõe ao uso dos dejetos crus ou armazenados em esterqueira por se apresentar na forma de matéria orgânica mais estável e em estado mais simples. Logo, é capaz de liberar os nutrientes com maior velocidade para as plantas. Além disso, uma porção maior de nitrogênio se encontra mineralizada no biofertilizante, enquanto nos dejetos crus o nitrogênio se volatiliza com maior intensidade. Desta forma, se pode dizer que o biofertilizante possui melhor qualidade e é menos danoso ao meio ambiente que o uso do

dejeito cru. Este aporte de nutriente pode diminuir a demanda da propriedade por nutrientes minerais, resultando em economia para o produtor.

Essas constatações são corroboradas por Silva et al. (2018), que destaca o aumento do rendimento da produção de frutas, hortaliças e plantas forrageiras a partir do uso de biofertilizantes, bem como a economia obtida devido ao seu uso como substituto a adubos químicos, compostos orgânicos e esterco que antes deveriam ser adquiridos comercialmente.

Conforme informações coletadas nas propriedades, observou-se que o biofertilizante, em sua totalidade, é utilizado para a adubação orgânica nas lavouras, especialmente considerando a plantio de feno para a alimentação do gado, soja e trigo. De acordo com o proprietário 2, a partir da utilização do biofertilizante se observou um melhoramento nas pastagens em um terreno que antes era pobre em minerais. O biofertilizante tratado fica alocado em tanques para posterior utilização (Ver Figura 2). A adubação ocorre a partir da transferência do biofertilizante dos tanques até a lavoura por meio de um carretel de irrigação (Figura 3).

Figura 2 - Tanques de Biofertilizante



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 03 – Exemplo de carretel de irrigação (propriedade 3)



Fonte: Dados da pesquisa.

Desse modo, os biodigestores colaboram para a geração de produtos que agregam valor à propriedade obtendo economia e um retorno sobre o capital investido a partir da redução das compras

de produtos industrializados, como os adubos químicos, o gás de cozinha e a energia, quando feito o reaproveitamento energético. Além disso, obtém benefícios ambientais ao utilizar uma fonte de energia renovável e o biofertilizante que não agride o solo e o lençol freático e contribui para potencializar a produção das lavouras.

3.4 Benefícios ambientais, sociais e econômicos e contribuição do uso dos biodigestores para a redução de GEE

Conforme pode ser observado nas discussões anteriores, diversos benefícios são evidenciados considerando a utilização de biodigestores em relação aos três pilares da sustentabilidade.

De acordo com a percepção dos especialistas e produtores rurais, no pilar social, a utilização do biodigestor apresenta melhor qualidade de vida no ambiente rural, visto que melhores condições de saneamento são proporcionadas pela redução do mau cheiro e da propagação de insetos que podem ser vetores de doenças, gerando melhor bem-estar das famílias e vizinhos das propriedades. A melhor qualidade de vida também pode ser denotada na redução do trabalho manual antes dispendido no manejo dos resíduos. O Especialista 1, em particular, ressalta que o aporte dessa tecnologia nas áreas rurais pode também valorizar o trabalho do homem do campo, posicionando-o como um microempreendedor atento aos problemas ambientais globais.

No pilar econômico destaca-se que, apesar do investimento inicial elevado, o biodigestor viabiliza a economia na propriedade por produzir dois produtos dotados de valor econômico que podem reduzir gastos com energia elétrica, gás de cozinha, gás para aquecimento de água e adubos químicos. Para o pesquisador 4, dependendo da escala implantada, pode ocorrer o fornecimento de energia para propriedades próximas ou a venda do excedente contribuindo com o aumento da renda familiar. Além disso, com a descentralização do sistema, é diminuída a vulnerabilidade das propriedades às quedas de energia que, inevitavelmente, causariam prejuízos à produção. Por fim, o aumento da produtividade a partir da utilização do biofertilizante também pode resultar em ganhos econômicos.

Em relação ao pilar ambiental, o biodigestor proporciona a redução da emissão de GEE e apresenta uma grande capacidade para diminuir a poluição gerada pelo setor, melhorando a qualidade da água, superficial e subterrânea em nível local e regional, e do solo, dada a disposição adequada dos dejetos. Além da redução da poluição causada pelos dejetos de animais, a produção de energia elétrica em decorrência do biogás reduz a dependência de outras fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis. Da mesma forma, a utilização do biofertilizante produzido é mais benéfico ao meio ambiente

em comparação a outras formas de adubação, como as realizadas a partir de fertilizantes químicos. De modo indireto, destaca-se ainda a redução no corte de árvores devido a substituição do uso de fogões a lenha pela disponibilidade do biogás, conforme já destacado na fala do especialista 4.

Benefícios sociais, econômicos e ambientais resultantes da utilização dos biodigestores também são evidenciados na literatura, como a melhora no poder econômico e saneamento básico das propriedades (CORTEZ et al., 2022); a minimização dos problemas ambientais, reciclagem de nutrientes e resultados econômicos em virtude da possibilidade da venda de créditos de carbono (ALCÓCER et al., 2020); e a utilização de energia limpa nas propriedades (PARIHAR et al., 2019).

Especificamente, considerando as reduções dos GEE, os especialistas 1, 2 e 4 ressaltam o potencial do biodigestor para minimizar as emissões de metano gerado pelos dejetos dos animais. Com o biodigestor e a consequente queima do biogás para fins energéticos, os gases podem ser tratados, diminuindo os impactos causados pelo setor agropecuário e contribuindo para a redução do aquecimento global. Segundo o especialista 1:

Ao coletarmos o gás metano proveniente dos dejetos animais e convertê-lo em dióxido de carbono por meio de sua queima, diminuímos os impactos da atividade pecuária sobre o aquecimento global.

Esses achados confirmam os resultados das pesquisas de Garcia Junior, Pires e Cunha (2016) e de Alcócer et al. (2020) as quais apontaram que o uso do biodigestor na agropecuária contribui com a redução das emissões de GEE. Um estudo realizado na Uganda também denotou redução das emissões de GEE, por meio do uso de biodigestores. Conforme os resultados, um aumento de 10% no uso de digestores anaeróbicos, aliados a uma redução no pastoreio, resultou em um decréscimo de 4,4% na emissão anual de GEE (KIGGUNDU et al., 2019).

O Quadro 2 a seguir apresenta uma síntese dos resultados obtidos considerando os benefícios da utilização do biodigestor nas dimensões social, econômica e ambiental da sustentabilidade.

Quadro 2 – Utilização de biodigestores e benefícios em relação a sustentabilidade: uma síntese

Pilar Social	Pilar Econômico	Pilar Ambiental
- Melhor qualidade de vida da propriedade e comunidade ao entorno devido a: Melhores condições de saneamento; Redução do mau cheiro; Redução da propagação de insetos vetores de doenças;	- Redução nos gastos com energia elétrica, gás de cozinha, gás de aquecimento de água e adubos químicos; - Comercialização do excedente da produção de energia e aumento da renda familiar;	- Redução das emissões de GEE como o metano, contribuindo com a mitigação das mudanças climáticas; - Melhor qualidade de água e do solo pela disposição correta dos dejetos;

- Redução do trabalho manual no manejo de resíduos; - Valorização do trabalho do homem do campo – reconhecimento como microempreendedor.	- Maior produtividade pela suficiência energética, não passando por possíveis quedas de energia; - Maior produtividade pela utilização do biofertilizante.	- Redução da dependência de fontes de energia não renovável; - Menor agressão ao solo pelo uso do biofertilizante; - Benefícios indiretos como redução no corte de árvores para fins de aquecimento.
---	---	--

Fonte: Elaboração própria.

De modo geral, a instalação dos biodigestores tem potencial para contribuir com as três dimensões da sustentabilidade. Além disso, atende as preocupações com a redução das emissões de GEE que desencadeiam as mudanças climáticas e podem trazer consequências, inclusive, para o sistema produtivo agropecuário (MALHI; KAUR; KAUSHIK, 2021; AYYILDIZ; ERDAL, 2021; CHENG; MCCARL; FEI, 2022). Apesar disso, cabe ressaltar que o problema é resolvido de forma parcial, visto que a emissão de GEE ocorre a partir da fermentação entérica nos sistemas digestivos dos animais ruminantes, sendo eliminados não apenas sob a forma de fezes e urina, mas também a partir do processo de ruminação e eructação (KIGGUNDU et al., 2019; CHENG; MCCARL; FEI, 2022). Nesse sentido, outras soluções podem ser necessárias para reduzir ainda mais as emissões de GEE na pecuária.

4 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E CONTINUIDADE DO TRABALHO

Este estudo teve por objetivo descrever como a utilização de biodigestores por produtores rurais minimiza o problema de descarte de dejetos e promove o equilíbrio das propriedades gerando sustentabilidade econômica, social e ambiental, e mitigando a geração de GEE. A pesquisa desenvolveu-se a partir de análise qualitativa, tomando como base as entrevistas com especialistas da área, bem como entrevistas com proprietários rurais que utilizam o biodigestor, além da observação nas propriedades.

Os resultados demonstram que o biodigestor é uma tecnologia eficiente para a destinação dos dejetos dos animais pela digestão anaeróbica, além de promover a sustentabilidade energética nas propriedades. O biogás gerado contribui para o suprimento da demanda por energia nas propriedades 1 e 3, e gás na propriedade 2, sendo uma fonte renovável e ecológica eletricidade e calor. O Biofertilizante, por sua vez, auxilia na absorção mais eficiente dos nutrientes do solo e é menos agressivo ao meio ambiente, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

Os benefícios sociais estão relacionados, principalmente, à qualidade de vida propiciada por melhores condições de saneamento aliadas à redução do mau cheiro e redução da propagação de insetos, além do menor trabalho manual no manejo de rejeitos dos animais e valorização do homem do campo como microempreendedor. Os benefícios econômicos se refletem na produção do biogás e do biofertilizante que reduzem os gastos com energia elétrica, gás e adubos químicos, além de poder melhorar a renda familiar por meio da comercialização da energia excedente. A maior produtividade devido a utilização do biofertilizante e a redução nas quedas de energia também se destacam. No que concerne ao pilar ambiental, observa-se os benefícios provenientes do descarte e tratamento correto dos dejetos dos animais, como a melhor qualidade da água e do solo. Também é denotada a redução da utilização de fontes não renováveis de energia, menor agressão ao solo pelo uso do biofertilizante e redução das emissões de GEE.

Especificamente, considerando as reduções de GEE, embora não resolva o problema de modo integral, o biodigestor tem a capacidade de minimizar as emissões de metano gerado pelas fezes e urina dos animais, contribuindo para a redução das mudanças climáticas e suas consequências.

Dados os benefícios evidenciados, reconhece a necessidade de viabilizar e desenvolver propostas de disseminação da implantação dessa tecnologia baseadas na divulgação de mais informações para os produtores rurais. Além disso, recomenda-se uma maior orientação política para viabilizar a instalação de biodigestores. A organização em redes de cooperativas e produtores pode ser incentivada visando facilitar a relação com instituições financeiras e de apoio técnico, universidades, institutos de pesquisas e governos locais, facilitando o acesso à tecnologia, principalmente para pequenos produtores rurais.

Dessa forma, este estudo contribuiu para a literatura ao apresentar como o uso de biodigestores pode colaborar na promoção da sustentabilidade em propriedades rurais e ser uma das opções para combater os impactos ambientais decorrentes da emissão de GEE, ao mesmo tempo que agrega valor às propriedades. Como limitações, destaca-se a restrição na amostra investigada, recomendando-se para pesquisas futuras uma ampliação, bem como uma análise quantitativa sobre a percepção dos produtores rurais sobre a utilização do biodigestor. Sugere-se ainda a realização de estudos que analisem a viabilidade de implantação de biodigestor em propriedades rurais, considerando variáveis como tamanho da propriedade, parcerias, linhas de financiamento e avanços regulatórios. Além disso, recomenda-se a análise de outros sistemas tecnológicos que podem ou estão sendo implementados

nas propriedades rurais e são capazes de contribuir com as transições para sistemas alimentares mais sustentáveis.

Contribuições dos autores

Aldo Siatkowski: Supervisão, metodologia, validação de resultados

Jaqueline Soares: Conceituação, metodologia, redação da minuta (1º versão)

Serli Aparecida Cipriano: Conceituação, metodologia, redação da minuta (1º versão)

Sérgio Luis Dias Doliveira: Supervisão, revisão, análise formal.

Flavia Massuga: Redação, revisão e edição, análise formal (adequação à ABNT e normas do periódico).

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

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. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020783-818>.

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. <http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2020.592061>.

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. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-10409-8>.

BATTINI, F.; AGOSTINI, A.; BOULAMANTI, A.K.; GIUNTOLI, J.; AMADUCCI, S. 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de metodologia científica**. 3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BLEY JÚNIOR, C. **Biogás: a energia invisível**. 2 ed. São Paulo: Cibiogas, 2015.

BOWLES, N.; ALEXANDER, S.; HADJIKAKOU, M. The livestock sector and planetary boundaries: a 'limits to growth' perspective with dietary implications. **Ecological Economics**, v. 160, p. 128-136, jun., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.033>.

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

CORTEZ, S. C.; CHERRI, A. C.; JUGEND, D.; JESUS, G. M. K.; BEZERRA, B. S. 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. <http://dx.doi.org/10.3390/su14137972>.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAWSON, C. **Introduction to research methods: a practical guide for anyone undertaking a research project**. United Kingdom: How to Books, 2009.

EISEN, M. B.; BROWN, P. O. Rapid global phaseout of animal agriculture has the potential to stabilize greenhouse gas levels for 30 years and offset 68 percent of CO₂ emissions this century. **Plos Climate**, v. 1, n. 2, p. e0000010, 2022. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pclm.0000010>.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>> Acesso em: 30 set., 2022.

FAO/OCDE - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION; ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031**, OECD Publishing, Paris, 2022. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Trade of agricultural commodities: 2000-2020**. FAO, 2021. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/cb9928en/cb9928en.pdf>> Acesso em: 30 set., 2022.

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. <https://doi.org/10.25070/rea.v14i1,2,3.355>.

IPCC - THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.

KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. **Renewable Energy**, v. 36, p. 31-41, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.05.016>

KIGGUNDU, N.; DDUNGU, P.; WANYAMA, J.; CHEROTICH, S.; MPAIRWE, D.; ZZIWA, E.; MUTEBI, F.; FALCUCCI, A. Greenhouse gas emissions from Uganda's cattle corridor farming systems. **Agricultural Systems**, v. 176, p. 1-11, nov., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102649>.

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, maio, 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>.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MALHI, G. S.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: a review. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1318, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/su13031318>.

MARTINS, G. A.; THEÓFILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2007.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v. 74, n. 26, p. 51-64, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100005>.

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, maio, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.162>.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Adoção do acordo de Paris**. In: Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP 21). Paris, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf>> Acesso em: 25 set., 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU: Department of Economic and Social Affairs. **World population prospects 2022: Summary of Results**. 2022. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospect-2022>> Acesso em 28 set., 2022.

PANCHASARA, H.; SAMRAT, N. H.; ISLAM, N. Greenhouse gas emissions trends and mitigation measures in Australian agriculture sector - a Review. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 85-100, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11020085>.

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

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987-992, maio 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>.

PURDY, A.; PATHARE, P. B.; WANG, Y.; ROSKILLY, A. P.; HUANG, Y. Towards sustainable farming: feasibility study into energy recovery from bio-waste on a small-scale dairy farm. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 899-904, fev. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.018>.

ROMO-RÁBAGO, E.; HERREMANS, I. M.; HETTIARATCHI, P. Biodigesters as a community-based sustainable energy solution. In: TYLER, M. E. **Sustainable energy mix in fragile environments**, Springer, 2018. p. 153–161.

SAINI, S.; SHARMA, M.; KUMAR, A. Global warming and climate change: next generation biofuels and role of biotechnology. **International Journal of Life Science & Pharma Research**, v. 2, n. 8, p.1-6, abr. 2018.

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. <http://dx.doi.org/10.17115/2358-8411/v5n3a1>.

SPRINGMANN, M.; CLARK, M.; MASON-D'CROZ D.; WIEBE, K.; BODIRSKY, B. L.; LASSELETTA, L.; VRIES, W.; VERMEULEN, S. J. [...]; WILLETT, W. Options for keeping the

food system within environmental limits. **Nature**, v. 562, n. 7728, p. 519-525, out. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.

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.

WELSH, R.; WEBB, M. E.; GRIMBERG, S.; ROGERS, S. Measuring the results of a workshop on installing anaerobic digesters on smaller livestock farms. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 34, n. 6, p. 487-491, maio, 2018. <https://doi.org/10.1017/S1742170518000212>.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Historical GHG Emissions**. 2022. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=percentage&end_year=2019§ors=total-excluding-lucf&start_year=1990> Acesso em: 30 set., 2022.

YASMEEN, R.; PADDA, I. U. H.; YAO, X.; SHAH, W. U. H.; HAFEEZ, M. Agriculture, forestry, and environmental sustainability: the role of institutions. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 6, p. 8722-8746, 2022. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-021-01806-1>.