

BIODIGESTORES E SUINOCULTURA: UM ESTUDO DE CASO

BIODIGESTERS AND SWINE HUSBANDRY: A CASE STUDY

Maria Carolina Sestak Rodrigues

Médica Veterinária. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio (PGDRA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Toledo. Email: m.carolinalourenco@hotmail.com

Vanderlei Padilha

Administrador de Empresas. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio (PGDRA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Toledo. Email: vanderleipadilha1@hotmail.com

Pery Francisco Assis Shikida

Professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Toledo. Economista pela UFMG, Mestre e doutor pela Esalq/USP, Pós-doutor pela FGV-SP. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Email: pery.shikida@unioeste.br

Grupo de Trabalho (GT13). Modelos de intervenção e/ou relatos de experiências práticas para o desenvolvimento rural

Resumo

O biodigestor é uma forma eficiente de tratamento dos efluentes, sendo um mecanismo de desenvolvimento limpo utilizado para reduzir as emissões de gases prejudiciais à atmosfera. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso sobre uma implementação de biodigestores no Município de Toledo (PR), avaliando suas principais perspectivas econômicas e ambientais. Antes de adentrar no estudo de caso, foi realizada uma breve revisão de literatura destacando a suinocultura no Brasil e no mundo, a preocupação ambiental, a problemática dos dejetos suínos e as águas residuais e os benefícios dos biodigestores. O estudo de caso baseou-se na coleta de dados por meio da pesquisa de campo. Foi visitada uma propriedade tradicional que produz suínos e está envolvida, juntamente com outros 45 produtores rurais, em um empreendimento que será a primeira usina de bioenergia construída em Toledo. Esse empreendimento prevê uma receita de produção de eletricidade de R\$10.178.138,88 por ano; com o biometano, a receita estimada é de R\$6.149.500,00 por ano. Além dos ganhos econômicos e sociais com tal empreendimento, a redução de gases de efeito estufa, com consequente diminuição do aquecimento do planeta, bem como da poluição ambiental, serão de valia.

Palavras-chave: Dejetos, Energia Renovável, Poluição Ambiental, Sustentabilidade.

Abstract

The biodigester is an efficient form of effluent treatment, serving as a clean development mechanism used to reduce emissions of harmful gases into the atmosphere. This study aims to conduct a case study on the implementation of biodigesters in the Municipality of Toledo (PR), evaluating their main economic and environmental perspectives. Before delving into the case study, a brief literature review was conducted highlighting swine farming in Brazil and worldwide, environmental concerns, the issue of swine waste and wastewater and the benefits of biodigesters. The case study was based on data collection through field research. A traditional pig-producing property was visited, which is involved, along with 45 other rural producers, in a project that will be the first bioenergy plant built in Toledo. This venture expects an electricity production revenue of R\$10,178,138.88 per year; with biomethane, the estimated revenue is R\$6,149,500.00 per year. In addition to the economic and social gains from such a project, the reduction of greenhouse gases, with a consequent reduction in global warming, as well as environmental pollution, will be very important.

Key words: Waste, Renewable Energy, Environmental Pollution, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo, o que faz com que o agronegócio brasileiro desempenhe um papel fundamental na economia. Condições favoráveis, como um clima variado, solos férteis e uma extensa área de terras agricultáveis, juntamente com o uso intensivo de modernas tecnologias, possibilitam uma produção diversificada e em grande escala. Nesse sentido, destacam-se produtos como a soja, milho, café, açúcar, algodão, suco de laranja, óleo de soja e milho, carne bovina, frango e suína (Magalhães *et al.*, 2019; Vieira Filho, 2019; Lisbinski *et al.*, 2020).

Conforme o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea, 2023), o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro foi estimado em R\$ 2,62 trilhões para 2023, o que significa cerca de 24,1% do PIB total do País daquele ano. Vale ressaltar que o PIB do agronegócio engloba o segmento dos insumos, a parte primária (agropecuária), a agroindústria e os agrosserviços, divididos em dois ramos produtivos, agricultura e pecuária.

Porém, o agronegócio brasileiro vem enfrentando algumas questões críticas e desafios importantes, como o desmatamento e a emissão de gases de efeito estufa advindos da expansão da fronteira agrícola em áreas sensíveis, especialmente na Amazônia e no Cerrado. Ademais, o uso de agrotóxicos, a concentração de terras e problemas relacionados aos direitos trabalhistas afetam sobremaneira a sustentabilidade agropecuária, que compromete a competitividade desse setor. Não obstante, o agronegócio brasileiro, procurando se adequar a uma produção sustentável e responsável, vem implementando certificações e medidas que visam modificar essa realidade (Costa, 2018; Quintam; Assunção, 2023).

Assim, o governo brasileiro, por meio da intensificação da preservação ambiental e a adoção de práticas sustentáveis, tem priorizando o desenvolvimento do agronegócio, anteriormente centrado apenas no crescimento. Iniciativas como o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), que busca a adoção de boas práticas agrícolas para diminuir as emissões de gases do efeito estufa da agropecuária, e a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), são exemplos de estratégias para mitigar os impactos ambientais e estimular a produção agropecuária sustentável (Gurgel *et al.*, 2013).

O aumento da poluição ambiental proveniente de dejetos de suínos vem causando desequilíbrios ecológicos em diversas regiões brasileiras especializadas na suinocultura, que buscam cada vez mais o aumento da produtividade devido ao mercado competitivo (Carvalho *et al.*, 2015). Cabe frisar que a suinocultura é dividida em quatro categorias de desenvolvimento dos animais: granjas reprodutoras, unidade produtora de leitões, creche e terminação. Os dejetos orgânicos decorrentes dessas atividades são compostos por urina, fezes, água desperdiçada, poeiras e outros materiais decorrentes da produção (Rizzoni *et al.*, 2012).

O biodigestor é reconhecido como uma forma eficiente de tratamento dos efluentes, sendo um mecanismo de desenvolvimento limpo utilizado para reduzir as emissões de gases prejudiciais à atmosfera. Trata-se de uma câmara fechada na qual o volume de esterco produzido é fermentado, ou seja, sem a presença de ar atmosférico, resulta na produção de biogás e biofertilizante. É importante ressaltar que o biodigestor não produz diretamente o biogás, mas sim cria as condições necessárias para que as bactérias metanogênicas, encarregadas pela degradação da matéria orgânica e produção do gás metano, ajam sobre os materiais orgânicos, possibilitando a produção desse combustível (Gaspar, 2003).

Isto posto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso sobre uma implementação de biodigestores no Município de Toledo (PR), avaliando suas principais perspectivas econômicas e ambientais. Assim, este artigo está estruturado em cinco seções, além desta introdução. A próxima seção compreende a metodologia. A terceira seção traz uma sucinta revisão de literatura sobre a suinocultura no Brasil e no mundo, a preocupação ambiental, a problemática dos dejetos suínos e as águas residuais, os benefícios dos

biodigestores, a esterqueira e bioesterqueira. Em seguida, aborda-se o estudo de caso propriamente dito. Na quinta seção, são expostas as considerações finais.

2. METODOLOGIA

No desenvolvimento deste estudo, adotou-se uma abordagem metodológica baseada nas diretrizes propostas por Gil (2002). A metodologia foi delineada começando pela definição do problema de pesquisa e dos objetivos a serem alcançados.

A escolha criteriosa das fontes de informação foi um elemento crucial na metodologia deste estudo. Foram priorizados artigos de periódicos científicos indexados, *websites* de instituições acadêmicas/técnicas e revistas *online* com reputação reconhecida. Além disso, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão para assegurar a pertinência e a confiabilidade das fontes utilizadas, contribuindo assim para a solidez e validade dos resultados obtidos.

Descrito este material e método, o próximo passo caracterizou-se pelo estudo de caso, que tem como escopo gerar uma visão particular do problema de pesquisa, aprofundando-se em um ou poucos objetos, permitindo, assim, o conhecimento de outros delineamentos que seriam difíceis de encontrar em outra metodologia (Gil, 2002; Lakatos; Marconi, 2003).

Destarte, foram coletados dados e realizada entrevista *in loco* com um proprietário de Toledo (PR), por meio da pesquisa de campo, durante a qual a estrutura dessa unidade produtora de suínos e geradora de biogás foi visitada. Percorreu-se os diversos setores do processo produtivo e gerador, levantando seus principais limites e potencialidades para o crescimento e desenvolvimento da atividade. O único entrevistado foi o proprietário X do Município de Toledo (PR). O anonimato do respondente neste trabalho foi assegurado, visando preservar o consentimento livre e informado para participação na pesquisa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Suinocultura no Brasil e no mundo: breves notas

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022a), o efetivo de rebanhos por tipo (número de cabeças) em 2022 foi de 1.586.047.875 para galináceos, 234.352.659 para bovinos e 44.393.930 para suínos. Portanto, a terceira colocação geral nesse contexto pertence ao rebanho suíno. Quanto à distribuição regional dessa produção, dessa vez em termos de carne suína, que é o que efetivamente conta para a segurança alimentar, o Sul concentrou 67,46% (3.298.182 toneladas), seguido pelo Sudeste com 17,5% (855.453 toneladas), Centro-Oeste com 14,03% (685.786 toneladas), Nordeste com 0,91% (44.483 toneladas) e Norte com 0,11% (5.482 toneladas). Os cinco maiores estados produtores por número de cabeças de suínos foram, por ordem decrescente, Santa Catarina (detendo 22,1% desse total), Paraná (15,8%), Rio Grande do Sul (13,9%), Minas Gerais (12,7%) e Mato Grosso (6,6%).

No ano de 2022, o Brasil ocupou a quarta posição no mercado mundial de carne suína, com 4,983 milhões de toneladas, sendo superado apenas pelos Estados Unidos (12,252 milhões), União Europeia (22,670 milhões) e China (55 milhões). O total do mercado mundial de carne suína foi de 113,775 milhões de toneladas. Em termos da produção brasileira dessa carne, 77,52% foi destinado ao mercado interno e 22,48% ao mercado internacional. Os principais destinos da carne suína do País foram: China (32%), Hong Kong (11%), Filipinas (10%) e Chile (7%). A receita das exportações brasileiras de carne suína foi de US\$2.818 milhões (Associação Brasileira de Proteína Animal, 2023).

O consumo *per capita* de carne suína no Brasil (em kg por habitante) foi de 18 kg em 2022. Destaca-se que o Município onde se localiza o estudo de caso deste artigo é Toledo (PR), o qual possui o maior rebanho suíno do País, totalizando 869,2 mil cabeças (IBGE, 2022b).

3.2 Preocupação ambiental

Os efluentes gerados pela suinocultura são muito poluentes quando não são devidamente controlados, impactando de forma negativa a qualidade da água e do solo, além de contribuir para a degradação ambiental das regiões produtoras, apesar de ser uma atividade de grande importância econômica e social. As granjas de suínos podem ser consideradas atividades de elevado potencial poluidor, em função do uso excessivo de recursos hídricos e geração de grande quantidade de efluentes líquidos, que contêm um alto teor de metais pesados como cobre (Cu) e zinco (Zn), além de materiais orgânicos e nutrientes (como fezes, urina, pelos, resíduos de ração, poeiras etc.) (Vivan *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2022).

Com efeito, o crescimento da produção suína em escala industrial acarretou em diversas consequências ambientais devido à significativa geração de dejetos. Esses resíduos orgânicos são muito poluentes, sendo considerados mais nocivos que o esgoto doméstico. A situação é exacerbada pela ocorrência de ausência de sistemas de tratamento ou reaproveitamento desses resíduos por muitos produtores brasileiros. Adicionalmente, a escassa disponibilidade de área agricultável ao redor das granjas obstaculiza a completa utilização desses resíduos (Casagrande, 2003).

No tocante aos dejetos distribuídos nas lavouras, Gaspar (2003) e Padilha *et al.* (2019) argumentam que os procedimentos geralmente adotados se resumem à aplicação do material orgânico diretamente nas plantações ou ao seu “sepultamento” em áreas que serão futuramente semeadas. No entanto, ambos os métodos são poluidores, uma vez que os detritos espalhados sobre a plantação tendem a atrair insetos e animais transmissores de doenças, além de serem malcheirosos. A redução no PH do solo também deve ser considerada. Por outro lado, os dejetos enterrados podem ser carregados até o lençol freático pela força chuva, resultando em poluição e comprometendo o manancial da região.

Os resíduos provenientes da suinocultura contêm elevadas quantidades de matéria orgânica, nutrientes e micro-organismos patogênicos. Por conseguinte, é essencial que esses efluentes não sejam descartados diretamente nos corpos d’água sem um tratamento ideal, conquanto o lançamento irregular de Águas Residuais da Suinocultura (ARS) pode resultar em eutrofização e promover condições de anaerobiose, acarretando uma série de impactos adversos no meio ambiente (Luca *et al.*, 2017).

Quando a área disponível não é suficiente para o tratamento dos dejetos, torna-se imperativo buscar alternativas para remover o material do local, preservando assim o sistema de produção dos animais e a saúde ambiental. Essa remoção dos dejetos deve ser encaminhada para outros locais onde serão devidamente tratados, de modo a evitar qualquer risco de poluição ao reintegrarem o meio ambiente natural. É crucial seguir as diretrizes estabelecidas pelos órgãos de fiscalização ambiental para assegurar uma gestão adequada dos resíduos da suinocultura (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2015; Agra, 2019).

3.3 Dejetos de suínos e as águas residuais

Os dejetos de suínos são mais poluentes *vis-à-vis* os esgotos domésticos, sendo aproximadamente 260 vezes mais poluentes, conforme evidenciado por Martinkoski *et al.* (2017). No entanto, esses resíduos apresentam um potencial de energia aproveitável

significativo, o que pode contribuir para reduzir a liberação de poluentes no meio ambiente e aumentar o acesso a fontes de energia de baixo custo. Esse aspecto torna-se um ponto focal para pesquisas direcionadas à proteção ambiental contra a poluição, como apontado por Winckler *et al.* (2017).

É relevante ressaltar que cada animal suíno gera, em média, 6,7 kg de dejetos por dia para cada 100 kg de peso vivo. No contexto de uma matriz em ciclo completo, essa produção pode alcançar até 25 m³ (25.000 litros) de dejetos (Oliveira, 1993; 2004). Esses números evidenciam a magnitude do volume de resíduos gerados pela suinocultura e a necessidade premente de buscar abordagens sustentáveis para gerenciá-los.

Diversos fatores podem ser responsáveis pelo elevado volume e pela carga orgânica e patogênica dos dejetos de suínos. O desperdício de água nos bebedouros e durante as lavagens das instalações é um desses fatores, juntamente com o fornecimento de água e restos de alimentos/resíduos contaminados. São necessários, em média, 12 kg de dejetos para produzir 1 m³ de biogás, correspondente a cerca de 0,55 litros de óleo diesel, 1,43 kWh de eletricidade, 1,5 kg de lenha e 0,45 litros de gás de cozinha (Bertoncini, 2011). Contudo, é necessário um correto manejo dos dejetos de suínos para que sua utilização e destino sejam os mais adequados possíveis, evitando sobrecargas não apenas no solo, mas também em termos de poluição hídrica (Pinto, 2023).

As técnicas de tratamento de dejetos suínos normalmente envolvem uma combinação de processos físicos e biológicos. Ao escolher o melhor sistema, o produtor deve levar em consideração as características do dejetos e do local, além dos recursos financeiros disponíveis, seguindo a legislação ambiental vigente. Durante o processo físico, tem-se a separação das fases sólida e líquida por meio de sistemas de decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, seguida pela desidratação da parte líquida por meio de ventilação, ar forçado ou aquecido (Diesel *et al.*, 2002).

Já durante o processo biológico, tem-se a degradação do dejetos por microrganismos aeróbios e anaeróbios, resultando em um material isento de organismos patogênicos. Ademais, os resíduos sólidos podem ser tratados por meio da compostagem enquanto os dejetos líquidos podem ser tratados em lagoas de estabilização (Diesel *et al.*, 2002).

Quanto às águas residuais provenientes da criação de suínos, essas consistem principalmente em dejetos, os quais podem ser tratados mediante biodigestão anaeróbica. Esse processo não apenas reduz a carga poluente dos efluentes, mas também permite a geração de energia (biogás), contribuindo para o setor energético brasileiro (Souza *et al.*, 2013).

Os resíduos líquidos compreendem uma parcela dos detritos gerados pela atividade, sendo ricos em matéria orgânica, nutrientes e microorganismos patogênicos. Porém, o manejo inadequado desses resíduos pode levar à contaminação de corpos d'água, à eutrofização, à propagação de doenças em humanos e animais, ao aumento da população de insetos e à emissão de odores desagradáveis (Ribeiro, 2022).

As esterqueiras e bioesterqueiras, lagoas de estabilização, composteiras e biodigestores estão entre as principais formas de gerenciamento dos dejetos. A esterqueira é a mais comumente utilizada, conquanto entre os benefícios oferecidos permite o uso do dejetos tratado como biofertilizante. Isso possibilita aos agricultores reduzir os custos de produção em várias culturas, já que necessitam de uma menor quantidade de fertilizantes minerais, além de proporcionar um destino adequado para os dejetos (Lima *et al.*, 2017; Ribeiro, 2022).

3.4 Benefícios do biodigestor para a suinocultura

O biodigestor é um sistema utilizado para gerar gás natural, rico em metano (CH₄), via processo anaeróbico no qual a matéria orgânica é decomposta por bactérias metanogênicas.

Esse dispositivo é essencialmente uma câmara fechada onde uma biomassa, como dejetos de animais, é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença de ar (Bezerra *et al.*, 2014).

Os pioneiros biodigestores no mundo remontam a 1806, na Inglaterra, quando Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono proveniente da decomposição de dejetos animais em áreas úmidas. Na China, já naquela época, essa tecnologia era buscada para obter o biofertilizante essencial à produção de alimentos. Enquanto isso, na Índia, os biodigestores eram necessários para mitigar o imenso déficit energético da região (Palhares, 2008a; 2008b).

No Brasil, foram adotados dois modelos de biodigestores. O primeiro é o modelo chinês, instalado na cidade de Brasília em 1979, conhecido por sua simplicidade e economia. O segundo é o modelo indiano, mais sofisticado e técnico, que otimiza o aproveitamento do biogás. Entretanto, atualmente, já se utiliza amplamente o modelo de biodigestor com manta de policloreto de vinila – PVC (Bezerra *et al.*, 2014).

De acordo com Cruz *et al.* (2007), os impactos ambientais podem ser significativamente reduzidos por meio da disseminação de novas tecnologias para o tratamento dos dejetos suínos. Além de contribuir para a melhoria do meio ambiente, essas tecnologias têm o potencial de impulsionar mudanças nas práticas produtivas, promovendo a sustentabilidade das granjas e, por conseguinte, da suinocultura como um todo. À medida que a atividade se torna mais sustentável, os retornos econômicos, financeiros, ambientais e sociais tendem a se intensificar.

Nesse contexto, o emprego de biodigestores na suinocultura é amplamente reconhecido por diversas instituições de pesquisa como uma solução eficaz sob os aspectos econômico, social e ambiental. Essa prática permite agregar valor à atividade, ao promover a geração de biogás e biofertilizantes. Além disso, o uso de biodigestores está alinhado com uma das estratégias sugeridas pelo Protocolo de Kyoto, uma vez que captura o gás metano proveniente dos dejetos suínos e o converte em dióxido de carbono, reduzindo assim a contaminação do ar, o odor e os impactos na camada de ozônio (Cruz *et al.*, 2007).

Para Casagrande (2003) e Gerona (2024), a utilização dessa tecnologia contribui para o tratamento de dejetos de suínos, minimizando as causas do efeito estufa. Isso ocorre devido à decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente nos resíduos, que libera o gás metano, com um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO₂. A utilização desse gás como fonte de energia renovável não apenas auxilia na preservação do meio ambiente, mas também reduz a necessidade de consumir combustíveis fósseis.

3.5 Esterqueira e bioesterqueira

O modelo de esterqueira e bioesterqueira é indicado para agricultores que possuem extensas áreas de cultivo, como plantações, pastagens ou grandes pomares, onde os dejetos produzidos podem ser empregados como fertilizantes orgânicos. Trata-se de um método de baixo custo e os dejetos não são lixiviados pelo solo. No entanto, esse método é aconselhável para o tratamento de resíduos que não contenham altas concentrações de nutrientes contaminantes, como nitrogênio (N), fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn), pois o manuseio inadequado ou a falta de tecnologia apropriada podem resultar em contaminação ambiental (Afonso *et al.*, 2014).

O principal escopo das esterqueiras é armazenar os resíduos líquidos, no qual o período mínimo de armazenamento deve ser de 120 dias, cuja temperatura média deve estar em torno de 19°C durante o dia. A temperatura externa pode variar de 10°C a 24°C, enquanto o pH deve estar em torno de 7,0 a 7,45, em média (Afonso *et al.*, 2014).

Durante um período de 120 dias, ocorre a fermentação aeróbia e a estabilização dos dejetos, tornando-os adequados para aplicação no solo (Kunz *et al.*, 2004). A estrutura simples da esterqueira é semelhante a grandes trincheiras, contendo apenas uma câmara para

armazenamento de dejetos (Figura 1). Essa característica a distingue das bioesterqueiras, que contêm duas câmaras, sendo a base o biodigestor indiano (Ranzi; Andrade, 2004).

Figura 1. Esterqueira para armazenamento de resíduos líquidos



Fonte: Barros *et al.* (2019).

O sistema de bioesterqueira é composto por duas câmaras, onde os resíduos suínos são recebidos e armazenados na primeira etapa. Em seguida, a fermentação age sobre o material, seguindo para a segunda câmara, no qual será armazenado e continuará sendo fermentado (Ribeiro, 2022) – vide Figura 2.

Figura 2. Esterqueira, armazenamento e fermentação



Fonte: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio Grande do Sul/Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural (Emater-RS/Ascar, 2021).

Outrossim, é preciso que a construção de esterqueiras e bioesterqueiras atenda à capacidade de receber e armazenar os dejetos durante, no mínimo, 120 dias. Nesse caso, é necessário um planejamento para que o total aproximado de produção diária de dejetos seja o mais adequado possível. Ressalta-se, ainda, que as bioesterqueiras e esterqueiras convencionais não têm por escopo o tratamento propriamente dito. Tal sistema é usado com o fito de armazenamento de resíduos suínos computando o início da produção até o limite de estocagem, gerando biogás e biofertilizante (Barros *et al.*, 2019).

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso neste trabalho baseou-se na coleta de dados *in loco*, por meio da pesquisa de campo. Em abril de 2024, foi visitada uma propriedade tradicional que produz suínos e está envolvida, juntamente com outros 45 produtores rurais, em um empreendimento que será a primeira usina de bioenergia construída na parte leste do Município de Toledo. Trata-se de um investimento de 55 milhões de reais, que se pagará em sete anos. Cabe destacar ainda que o produtor rural entrevistado já produz energia solar que abastece toda a sua granja, as cinco casas de seus colaboradores e duas casas que pertencem ao proprietário e sua filha. Constatase, assim, sua priorização pelo uso de energia alternativa, sustentável e econômica, anterior ao investimento em biodigestores.

Lado outro, a escolha deste estudo de caso deu-se fundamentalmente pela união desses produtores em torno de um escopo comum, que é realizar o manejo apropriado dos dejetos de animais e outros resíduos, proporcionando benefícios econômicos e ambientais aos produtores através da utilização de energia renovável e limpa, via uso de biocombustível e biofertilizante. A agregação de pequenas e médias propriedades rurais resultará em uma escala de produção em que todos sairão ganhando, promovendo um maior ganho financeiro. Isso tudo culminará também na minimização da poluição ambiental e na redução de gases de efeito estufa.

Antes de adentrar no estudo de caso propriamente dito, como conversa de abertura, o pesquisado salientou que no Município de Toledo existe um plantel de aproximadamente 1.200.000 suínos alojados, os quais produzem cerca de 3.600.000 metros cúbicos de dejetos/ano. Esses dejetos estão sendo armazenados em esterqueiras nas unidades de produção, onde ocorre o processo de digestão anaeróbica. Com isso, é produzido o gás metano, que é 22 vezes mais poluente que o CO₂. Nesse cenário, se esses resíduos fossem tratados em plantas de biodigestão, seria possível produzir mais de 200 mil metros cúbicos/dia de biometano. Cumpre dizer que o biometano é uma versão mais apurada do biogás, na qual o CO₂ e outras matérias indesejáveis são removidas, resultando em um gás de metano mais puro.

Com essa contextualização, o entrevistado destacou que o principal motivador para seu envolvimento no empreendimento da primeira usina de bioenergia é aliviar a pressão ambiental em sua propriedade, devido ao pouco espaço de terra disponível que possui. Nesse projeto, o escopo envolve o tratamento de resíduos das unidades de produção de suínos e bovinos de algumas comunidades toledanas por meio de processos de digestão anaeróbia e fermentação para a produção de energia renovável. Os biodigestores empregados no projeto são fechados e conectados ao sistema de gás da planta de biogás.

Outro detalhe lembrado pelo pesquisado, é que o projeto conceitual e executivo desse empreendimento foi elaborado por uma empresa de engenharia especializada na construção e operação de plantas de biogás e biometano, com tecnologias importadas da Alemanha.

Foi esclarecido (dos dados que foram possíveis publicar neste artigo) que, em termos do total de dejetos por metro cúbico por ano nesse projeto, aqueles advindos dos suínos corresponderão a 79%, resíduos agroindustriais 12%, águas residuais 4%, aves 3%, gado 1% e outros 1%. Já a produção de biogás por ano, 48,9% será advinda de dejetos de suínos, 33,4% de resíduos agroindustriais, 14,2% de dejetos de aves, 2,5% de dejetos de carcaças, 0,9% de dejetos de vacas e 0,1% de águas residuais.

Algumas considerações econômicas também foram repassadas. A receita de produção de eletricidade é estimada em R\$10.178.138,88 por ano; com o biometano, a receita estimada é de R\$6.149.500,00 por ano. Também será possível obter ganhos com a produção de CO₂, estimados em R\$2.800.000,00 por ano. Além disso, os ganhos com a comercialização de créditos de carbono são calculados em R\$ 1.560.000,00 por ano, sendo elegíveis durante 15 anos.

Em suma, com essa primeira usina de bioenergia baseada em biodigestores, haverá uma produção de 80% de biometano para geração de energia elétrica, enquanto os restantes 20% de biometano serão utilizados em tratores, veículos, fornalhas, entre outros. Além disso, está prevista a transformação da matéria seca residual em adubo (biofertilizante), em total conformidade com a legislação para que esse substrato possa ser devidamente utilizado como biofertilizante.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo de caso sobre o uso de biodigestores no Município de Toledo (PR), avaliando suas principais características econômicas e ambientais.

Antes de entrar nas considerações sobre o estudo de caso, cabe ressaltar que a literatura pesquisada mostrou que o biodigestor é considerado um método eficaz para tratar os dejetos de suínos, oferecendo uma solução robusta para minimizar os problemas decorrentes desses resíduos. Anteriormente, esses dejetos eram descartados sem qualquer tratamento, resultando em sérios problemas de poluição ambiental.

O estudo de caso focou em um projeto que ainda está em andamento, com cifras econômicas de investimento elevadas e engajamento de 46 produtores rurais pequenos e médios, que estão permitindo a construção da primeira usina de bioenergia assentada em biodigestores no Município de Toledo (PR).

Diante da legislação vigente que orienta e normatiza a implantação dessa usina, a expectativa é de que o manejo adequado dos dejetos de animais e outros resíduos, gerados pelos produtores envolvidos, proporcione o uso de bioenergia limpa e renovável, biocombustível e biofertilizante. Além dos ganhos econômicos e sociais com tal empreendimento, a redução de gases de efeito estufa, com consequente diminuição do aquecimento do planeta, bem como da poluição ambiental, serão de valia. Isso demonstra que é possível conciliar ganhos econômicos com a produção de animais, desde que seja dado o devido tratamento aos dejetos, trazendo *pari passu* vantagens ao meio ambiente.

Por último, mas não menos importante, este artigo não tem a pretensão, nem poderia esgotar a discussão sobre o uso de biodigestores na suinocultura. Desse modo, a recomendação para futuras pesquisas nesse tema implica em ampliar suas contextualizações técnicas e científicas, seja em que formato metodológico for, a fim de incorporar uma gama mais abrangente de elementos em um tema tão debatido, que repercuta em consequências tanto na dimensão econômica quanto ambiental desse setor.

REFERÊNCIAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2023**. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

AFONSO, E. R.; PALHARES, J. C. P.; GAMEIRO, A. H. **Impacto de estratégias nutricionais no dejetos de suínos**. São Carlos, SP: Embrapa Sudeste, 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1039636/impacto-de-estrategias-nutricionais-no-dejeto-de-suinos>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

AGRA, I. de M. **Aplicação das reações eletroquímicas e fenton no tratamento de efluentes gerados pelo biodigestor alimentado com resíduos da suinocultura**. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Tecnológica e Industrial) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

AGROLINK. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BARROS, E. C.; NICOLOSO, R.; OLIVEIRA, P. A. V.; CORRÊA, J. C. **Potencial agrônomo dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117243/1/final9052.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BERTONCINI, E. I. Dejetos da suinocultura - Desafios para o uso agrícola. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 1-10, jul./dez. 2011.

BEZERRA, K. L. P.; FERREIRA, A. H. C.; CARDOSO, E. S.; MONTEIRO, J. M.; AMORIM, I. S.; SANTANA JÚNIOR, H. A. de; SILVA, R. N. da. Uso de biodigestores na suinocultura. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 11, n. 5, p. 3714-3722, set./out. 2014.

CARVALHO, B. V.; SOUSA, A. P. M.; SOTO, F. R. M. Avaliação de sistemas de gestão ambiental em granjas de suínos. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 164-171, jan./mar. 2015.

CARVALHO, C. B. de; MOURÃO, J. M. M., OLIVEIRA, M. G.; PEREIRA, E. L.; SANTOS, A. B. dos. Tratamento da água residuária de suinocultura em um sistema biológico para disposição em solo arenoso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 873-881, set./out. 2022.

CASAGRANDE, L. F. **Avaliação descritiva de desempenho e sustentabilidade entre uma granja suinícola convencional e outra dotada de um Biosistema Integrado (B.S.I.)**. 2003. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do agronegócio brasileiro**, 2023. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 01 mar. 2024.

COSTA, L. de O. **Agronegócio brasileiro: história, importância no cenário internacional e perspectivas**. 2008. 92 f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2008.

CRUZ, A. F.; WANDER, A. E.; SOUSA, A. G.; SILVA JÚNIOR, R. P.; RIBEIRO, F. L. Viabilidade econômica do uso do biodigestor na suinocultura. In: **Anais do XLV Congresso da**

Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2007, Londrina-PR. **Anais....** Brasília-DF: SOBER, 2007. p. 1-21.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Porto Alegre (RS): EMATER/RS, agosto de 2002, n. 14. Disponível em: <<https://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2024.

EMATER/ASCAR-RS – EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL/ASSOCIAÇÃO SULINA DE CRÉDITO E ASSISTÊNCIA RURAL. **Nova Candelária**: produtores aproveitam potencialidades dos dejetos suínos na adubação de pastagens e lavouras. <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000100058&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 05 abr. 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Utilização de microalgas no tratamento dos dejetos suínos e geração de biogás**. Rural Pecuária, São José do Rio Preto, 2015. Disponível em: <<http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-emanejo/novas-tecnologias/embrapa-comprovautilizacao-de-microalgas-no-tratamento-dosdejetos-suinos-e-geracao-debiogaas.html>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

GASPAR, R. M. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor**: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GERONA, L. N. Levantamento de publicações científicas sobre a gestão ambiental na suinocultura através do uso de biodigestor. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 170-193, 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GURGEL, A. C.; COSTA, C. F.; SERIGATI, F. **Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**: a evolução de um novo paradigma. Relatório Completo. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/f9cecd82-e09a-4106-a758-294ec0fdb7de/content>>. Acesso em: 25 fev. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Efetivo de rebanhos, por tipo (cabeças)**. 2022a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em 2021, o rebanho bovino bateu recorde e chegou a 224,6 milhões de cabeças**. 2022b. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34983-em-2021-o-rebanho-bovino-bateu-recorde-e-chegou-a-224-6-milhoes-de-cabecas/>>. Acesso em: 16 mar. 2024.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, v. 26, n. 4, p. 14-16, 2004.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia do trabalho científico**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, L. P. de; BRAINER, M. M. de A.; CUNHA, W. F. da.; PEREIRA, A. K.; FABINO NETO, R. Impactos ambientais dos resíduos da suinocultura industrial e alternativas de tratamento. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. especial 2, p. 235-253, jan./jun., 2017.

LISBINSKI, F. C.; MÜHL, D. D.; OLIVEIRA, L.; CORONEL, D. A. Perspectivas e desafios da Agricultura 4.0 para o setor agrícola. In: **Anais do VIII Simpósio da Ciência do Agronegócio**. 2020. Porto Alegre-RS. **Anais...** Porto Alegre-RS, 2020. p. 1-10.

LUCA, S. Q. J.; HUSSAR, J. G.; PARADELA, A. L.; BELI, E. Estudo da eficiência de um sistema de tratamento de efluentes líquidos de suinocultura. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 14, n. 1, p. 72-85, jan./jun. 2017.

MAGALHÃES, L. C. G.; TOMICH, F. A.; SILVEIRA, F. G. Competitividade e políticas públicas para o agronegócio brasileiro: desafios e perspectivas. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 26, n. 4, p. 196-217, 2019.

MARTINKOSKI, C.; RODRIGUES, N. H. P.; RODRIGUES, R. L.; GOMES, J. J.; MARTINKOSKI, C. J.; MORAIS, C. R. Portfólio bibliográfico da utilização de resíduos provenientes da suinocultura na geração de bioenergia. **Revista Espacios**, v. 38, n. 18, p. 1-14, 2017.

OLIVEIRA, P. A. V. (coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Documentos 27**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves (Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA II), 2004.

PADILHA, A. C. M.; TATIM, D. C.; TRES, E. C.; PELLEGRINI, M.; SECCHI, M. Fertirrigação com dejetos de suínos: uma análise de custos do sistema autopropelido x sistema tratorizado. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 25, n. 52, p. 155-167, jan./jun. 2019.

PALHARES, J. C. P. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro**. 2008a. Disponível em: <https://www.infobibos.com.br/Artigos/2008_1/Biodigestao/index.htm>.

PALHARES, J. C. P. **Licenciamento ambiental na suinocultura: os casos brasileiro e mundial**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008b.

PINTO, J. de S. **Redução da volatilização de amônia de dejetos líquidos suínos com mecanismos ácidos**. 2023. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2023.

QUINTAM, C. P. R.; ASSUNÇÃO, M. A. Perspectivas e desafios do agronegócio brasileiro frente ao mercado internacional. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 7, p. 1-21, 2023.

RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. **Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás**. 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000100058&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 16 mar. 2024.

RIBEIRO, G. J. **Resíduos da suinocultura: impactos ambientais, manejo correto e benefícios**. 2022. 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul/Campus Erechim, 2022.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbica no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, ano IX, n. 18, p. 1-20, jan. 2012.

SOUZA, C. de F.; CARVALHO, C. da C. S.; CAMPOS, J. A.; MATOS, A. T.; FERREIRA, W. P. M. F. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 128-133, mar./abr. 2009.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Sustentabilidade produtiva do agronegócio brasileiro. In: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: IPEA, 2019. p. 11-30.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, H. C. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

WINCKLER, S. T.; RENK, A.; LESSA, L. Impactos socioambientais da suinocultura no oeste catarinense e a iniciativa de implantação de biodigestores pelo Projeto Alto Uruguai. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 41, p. 237-251, ago. 2017.