

DETERMINANTES DA LOCALIZAÇÃO DE GERADORAS DE BIOGÁS E SUAS CONTRIBUIÇÕES AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DETERMINANTS OF THE LOCATION OF BIOGAS GENERATORS AND THEIR CONTRIBUTIONS TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT OBJECTIVES

DETERMINANTES DE LA UBICACIÓN DE GENERADORES DE BIOGÁS Y SUS APORTES A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Marta Raquel Zuchelli Felipetto¹
Emerson Orsini Ferrari²
Valdir Antonio Galante³

RESUMO

Este trabalho analisou os determinantes da localização de geradoras de biogás no Paraná, a fim de verificar a combinação de critérios para a construção dessas unidades e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para o qual utilizou-se o método de regressão logística. Dos 41 municípios do estado que hospedam unidades geradoras de biogás, os resultados demonstraram que as variáveis relacionadas ao rebanho de suínos, consumo de energia elétrica rural e empregos no setor agropecuário foram consideradas significativas, sendo o rebanho de suínos a variável mais significativa. A concentração dessas unidades ocorre especialmente nas regiões Oeste e Sudoeste, impulsionada por modelos cooperativos e maior oferta de matéria-prima. Apesar de variáveis como produção de milho, soja e leite não apresentarem significância estatística, seu potencial energético é reconhecido. Considerando os dados analisados, conclui-se que o biogás se torna uma importante ferramenta para promover a autossuficiência energética no meio rural, visto que está diretamente ligado aos ODS, e que os sistemas de biogás têm potencial de ser uma alternativa econômica na atividade agropecuária, convertendo um passivo ambiental em ativo econômico.

Palavras-chave: desenvolvimento regional; sustentabilidade energética; biogás; dinâmica territorial; passivo ambiental.

ABSTRACT

This work aims to analyze the determinants of the location of biogas generators in Paraná, in order to verify the combination of criteria for the construction of these units and their contributions to the Sustainable Development Goals (SDGs), for which the logistic regression

¹Doutoranda em Desenvolvimento Regional e Agronegócio – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo. Paraná. Brasil. E-mail: mrzuchelli2020@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4917-2156.

²Doutorando em Desenvolvimento Regional e Agronegócio – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo. Paraná. Brasil. E-mail: emersonferrari@yahoo.com.br. ORCID: 0000-0002-5282-9246.

³Doutor em Desenvolvimento Regional e Agronegócio. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo. Paraná. Brasil. E-mail: valdir.galante@unioeste.br. ORCID: 0000-0002-4850-6153.

method was used. Of the 41 municipalities in the state that host biogas generating units, the results demonstrated that the variables related to the pig herd, rural electricity consumption and jobs in the agricultural sector were considered significant, with the pig herd being the most significant variable. The concentration of these units occurs especially in the West and Southwest regions, driven by cooperative models and a greater supply of raw materials. Although variables such as corn, soybean and milk production do not present statistical significance, their energy potential is recognized. Considering the data analyzed, it can be concluded that biogas becomes an important tool to promote energy self-sufficiency in rural areas, as it is directly linked to the SDGs, and that biogas systems have the potential to be an economic alternative in agricultural activity, converting an environmental liability into an economic asset.

Keywords: regional development; energy sustainability; biogas; territorial dynamics; environmental liabilities.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar los determinantes de la ubicación de generadores de biogás en Paraná, con el fin de verificar la combinación de criterios para la construcción de estas unidades y sus contribuciones a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para lo cual se utilizó el método de regresión logística. De los 41 municipios del estado que albergan unidades generadoras de biogás, los resultados demostraron que las variables relacionadas con la cabaña porcina, el consumo de electricidad rural y los empleos en el sector agrícola fueron consideradas significativas, siendo la cabaña porcina la variable más significativa. La concentración de estas unidades se da especialmente en las regiones Oeste y Suroeste, impulsada por modelos cooperativos y una mayor oferta de materias primas. Si bien variables como la producción de maíz, soja y leche no presentan significación estadística, sí se reconoce su potencial energético. Considerando los datos analizados, se puede concluir que el biogás se convierte en una herramienta importante para promover la autosuficiencia energética en las zonas rurales, ya que está directamente vinculado con los ODS, y que los sistemas de biogás tienen el potencial de ser una alternativa económica en la actividad agrícola, convirtiendo un pasivo ambiental en un activo económico.

Palavras chave: desarrollo regional; sostenibilidad energética; biogás; dinámica territorial; pasivos ambientales.

Como citar este artigo: FELIPETTO, M. R. Z.; FERRARI, E. O.; GALANTE, V. A. Determinantes da localização de geradoras de biogás e suas contribuições aos objetivos de desenvolvimento sustentável. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 15, p. 988-1011, 03 nov. 2025. Doi: <https://doi.org/10.24302/drd.v15.5548>.

Artigo recebido em: 09/08/2024

Artigo aprovado em: 09/10/2025

Artigo publicado em: 03/11/2025

1 INTRODUÇÃO

O biogás é um tipo de biocombustível obtido pela decomposição biológica de materiais orgânicos, tanto vegetais quanto animais, em condições anaeróbicas, resultando em uma mistura de gases, principalmente metano. Essa forma de energia surgiu com o intuito de auxiliar na gestão adequada de resíduos, transformando um problema ambiental em uma fonte de energia renovável (Soares *et al.*, 2022). Inicialmente concebido como uma alternativa para o tratamento adequado de resíduos e redução de impactos ambientais, o biogás passou a representar uma solução energética viável e sustentável, especialmente em contextos onde a gestão de resíduos é desafiadora.

Apesar de sua crescente relevância contemporânea, o uso do biogás remonta a um período mais distante. No Brasil, teve início na década de 1970, durante a crise do petróleo. No entanto, devido à falta de informação, treinamento e baixa eficiência dos sistemas, muitos investimentos acabaram sendo descontinuados ou abandonados, conforme apontado por Soares *et al.* (2022). No entanto, nos últimos anos, o biogás tem ganhado destaque mundial e passou a ser uma opção eficiente para a geração de energia e ambientalmente adequada para o destino de matéria orgânica (Souza, 2022).

Neste sentido, a biodigestão anaeróbia de resíduos agrícolas tem sido apontada como uma alternativa promissora. Segundo Soares *et al.* (2019) uma das necessidades da atualidade é a busca por tecnologias adaptadas à realidade do campo, destacando a biodigestão anaeróbia de resíduos agrícolas como uma solução importante. Esta tecnologia não só contribui para o tratamento de resíduos, promovendo o saneamento rural e prevenindo a poluição, mas também conserva os recursos hídricos e gera biogás, que pode substituir combustíveis fósseis e fornecer energia autônoma. Além disso, o processo resulta em biofertilizante, um adubo orgânico rico em nutrientes para o solo.

Assim, o biogás também tem sido significativamente impactado pelo panorama energético nacional, especialmente no setor agroindustrial, ao possibilitar uma forma interessante de destinar os resíduos e gerar renda (Avargani *et al.*, 2022), impulsionado pelo incentivo do mercado de créditos de carbono, que visa à redução das emissões de metano, um componente do biogás que contribui para o efeito estufa (Silva; Mezzani, 2022). Em várias regiões do Brasil, onde a agropecuária é a principal atividade, existe um grande potencial para a expansão da matriz energética. Nessas áreas, são encontrados diversos resíduos, como dejetos da suinocultura, camas de aviários, dejetos de bovinos e subprodutos da industrialização do leite. Assim, frequentemente é possível misturar alguns desses resíduos na produção de biogás, seja pela necessidade da propriedade ou pelo elevado potencial que apresentam quando combinados (Krieger *et al.*, 2021). Entre os impactos sociais da produção e uso do biogás, Divya *et al.* (2015) destacam a melhoria da qualidade de vida das pessoas ao redor dos sistemas, devido à redução de odores e moscas no tratamento dos efluentes. Segundo dados do CIBiogás (2023, em 2022, foram produzidos 2,88 bilhões de m³/ano de biogás no Brasil para aproveitamento energético, representando um crescimento de 110% em relação aos volumes registrados em 2018. Esse biocombustível representa menos de 1% da matriz energética. No entanto, a Organização das Nações Unidas declarou que há necessidade de dobrar o fornecimento de energia limpa até 2030, visando reduzir a contribuição humana às mudanças climáticas, as quais podem ameaçar a segurança energética global (CIBiogás, 2023). Pinheiro *et al.* (2023) destacaram que o biogás é uma importante fonte de energia renovável nas áreas rurais e agroindústrias, sendo utilizado para a produção de energia elétrica, combustível,

acionamento de motores, entre outros. Nesse contexto, o biogás, além de contribuir para o meio ambiente por meio do reaproveitamento de resíduos naturais e da prevenção da contaminação do solo, tem sido importante para a sustentabilidade do país. Surgindo como um novo caminho para a produção de energia, o biogás contribui para tornar o país mais sustentável.

No contexto brasileiro, o estado do Paraná tem se destacado como referência nacional, concentrando 198 plantas em operação, das quais 136 são de origem agropecuária (CIBiogás, 2023). A trajetória pioneira do estado desde 2004 demonstra a eficácia de políticas públicas e modelos de negócios inovadores no setor.

A trajetória pioneira do estado desde 2004 demonstra a eficácia de políticas públicas e modelos de negócios inovadores no setor.

Além disso, segundo Mathias (2014), o resíduo orgânico é um recurso, embora muitas vezes seja tratado como lixo. Stilpen (2021), por sua vez, enfatiza o potencial energético do biogás como fonte de energia. O uso da energia gerada a partir dos resíduos da agroindústria para produzir biogás oferece uma série de vantagens, sendo a principal delas tornar a energia limpa, acessível, confiável e sustentável, alinhando-se com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Lins *et al.*, 2022). Essa dinâmica de geração de valor a partir do que poderia ser considerado lixo evidencia o papel da produção de agroenergia na Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU).

Destarte, este trabalho objetiva analisar os determinantes da localização de geradoras de biogás no Paraná, a fim de verificar a combinação de critérios para a construção dessas unidades e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A produção de biogás no Brasil provém da agropecuária, da indústria e do saneamento, que são as principais categorias de substratos. Neste estudo, considera-se a produção originada da agropecuária, setor responsável por uma parcela significativa do crescimento do número de plantas que entraram em operação em 2022, representando 63% do total (CIBiogás, 2023).

A geração de biogás pode ser estratégica para o país, pois oferece uma ferramenta importante para enfrentar desafios econômicos, de planejamento energético e na melhoria da infraestrutura. Além de ser uma alternativa sustentável, o biogás também promove a melhoria da renda e de desenvolvimento econômico. Isso ocorre porque ele reduz a emissão de poluentes no ar, gera energia limpa e proporciona uma redução nos custos operacionais para os produtores, o que, por sua vez, favorece o aumento da renda e o reinvestimento no crescimento. Essa abordagem não só gera benefícios financeiros, mas também contribui de forma significativa para a redução de passivos ambientais relacionados ao gerenciamento de resíduos e efluentes. Assim, ao estudar os fatores que determinam sua localização, buscou-se oferecer subsídios para políticas públicas e decisões empresariais que favoreçam a expansão sustentável dessa fonte energética no país.

Nesse contexto, o estudo do biogás se justifica pelo seu papel crucial na geração de energia com responsabilidade ambiental e geração de renda, permitindo a integração do tema energético à sustentabilidade. Isso está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): ODS 7 (energia limpa e acessível), ODS 10 (redução de desigualdades) e ODS 13 (ação contra a mudança global do clima), além de contribuir plenamente para o ODS 2 (agricultura sustentável) (ONU, 2022).

Essa modalidade energética advinda do biogás tem a capacidade de atender a demanda de energia do próprio produtor que irá substituir as fontes tradicionais ou a compra de energia de terceiros, inclusive, podendo ser comercializada e, com isso, propiciará benefícios econômicos diretos e indiretos e que servirá de base para novos investimentos para aumento da capacidade produtiva induzindo ao desenvolvimento local (Lins et al., 2022).

Neste contexto, a localização orienta as decisões das atividades socioeconômicas ao se estabelecer em um local específico, assim como as forças que atraem ou repulsam determinadas atividades, sejam elas de ordem financeira, como a renda per capita, sejam de ordem estrutural, como os investimentos no setor produtivo, estradas e rodovias, ou de ordem geográfica ou natural, como a distância até centros consumidores ou fontes de matérias-primas. Os principais modelos que abordam a localização das empresas e a distribuição das atividades produtivas têm suas origens nos trabalhos clássicos de Thünen (1826) e Weber (1929), os quais destacavam a importância dos custos de transporte na determinação da localização ideal das empresas. Visto que os rejeitos que constituem matéria-prima à produção possuem grande massa a ser transportada e manipulada, o valor monetário da energia obtida é relativamente baixo por tonelada, o que seria rapidamente exaurido com custos de transporte se percorresse distâncias maiores.

Weber (1929) afirma que a localização da indústria é determinada pela disponibilidade de fontes de matéria-prima e/ou pelo mercado consumidor. Essas vantagens são obtidas quando as atividades econômicas ocorrem em locais específicos ou em múltiplos locais, sugerindo que uma localização vantajosa tende a aumentar a competitividade da empresa (Aguilar, 2007). Segundo a teoria da localização, o trabalho de Thünen (1966) argumenta que a renda econômica da localização possui uma relação inversa com a distância, sendo fortemente influenciada pela proximidade ao mercado.

Ambas as teorias demonstram que a localização de uma planta industrial está intimamente ligada à disponibilidade de matérias-primas em seu entorno. Portanto, a principal contribuição deste estudo é aprofundar a compreensão dos determinantes locais que influenciam a instalação de geradoras de biogás, bem como dos fatores que favorecem sua utilização.

Isto posto, este artigo contém cinco seções, incluindo esta introdução. Na segunda seção, são apresentadas breves notas sobre as geradoras de biogás no Brasil, especialmente no Paraná, e as contribuições do biogás para os ODS. A terceira e quarta seções tratam, respectivamente, da metodologia, dos resultados e da discussão. A quinta seção abrange as considerações finais deste estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O processo de geração de energia elétrica a partir do biogás não apenas fortalece as cadeias de produção e inovação tecnológica no setor, mas também está alinhado com metas ambientais, impulsionando a economia circular e promovendo o desenvolvimento regional sustentável. Esse processo envolve o uso da tecnologia de saneamento ambiental, através do tratamento da biomassa residual (dejetos de animais) em biodigestores (Mathias; Silva, 2023). Segundo a FIEP (2016) há alguns casos de sucesso que investiram em biogás como é o caso do Condomínio Ajuricaba que aproveita dejetos de bovinos e suínos das pequenas propriedades

rurais da região que possibilitou a utilização deste gás para substituto do gás de cozinha, cocção de alimentos, aquecimento de água, além de ser utilizado no secador de grãos comunitário e, ainda, produz energia elétrica que é redistribuída para os condôminos e comercializa biogás para as agroindústrias locais, portanto, o biogás tem potencial para colaborar com a sustentabilidade e gerar desenvolvimento regional.

Mundialmente, a geração de biogás apresenta diferentes sistemas, variando em tamanho de planta, matéria-prima, região geográfica e infraestrutura. Na Lituânia, conforme estudo de Gaigalis e Katinas (2020), houve aumento de 2,8 vezes no consumo de energia provenientes de biogás que contribuiu para a redução da emissão de gases do efeito estufa proveniente das metas da Estratégia Nacional de Independência Energética e dos requisitos das diretivas da União Européia. Tal argumento complementa a pesquisa de Borowski e Barwicki (2023) que, dentre os resultados, apresentou que o biogás pode ter uma importância significativa sob o ponto de vista de proteção ambiental e que essa energia gerada por resíduos agrícolas pode propiciar a oportunidade de diversificação e aumento de rendimentos da agricultura familiar agregado a redução da poluição nas áreas rurais. Corroborando, ainda, Wang *et al.* (2021), tendo elencado o potencial energético do biogás na China, inclusive mencionando ser o dejetos suíno o maior contribuidor do esterco utilizado no ano de 2017. Para o autor, houve correlação entre a produção de biogás e a indústria pecuária com efeitos estatísticos significativos na produção do biogás gerado por este esterco.

O Brasil, por sua vez, é beneficiado por características socioeconômicas favoráveis à exploração do biogás, como a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (Bacha, 2012), associadas a condições climáticas ideais para a biodigestão (Bley Júnior, 2015), como temperaturas médias altas, disponibilidade de água (essencial para provocar a anaerobiose) e grande biodiversidade (com inúmeras espécies capazes de degradar matéria orgânica de forma anaeróbica). Esses atributos são diferenciais competitivos importantes para a produção dessa fonte de energia no país (CIBiogás, 2023). Esse contexto se alinha ao que foi mencionado por Krugman (1991), o qual destaca que a concentração de atividades produtivas decorre de economias de aglomeração, proximidade de insumos e acesso a mercados consumidores.

Milanez *et al.* (2021) mencionam que o processo de produção de biogás utilizando resíduos e efluentes agropecuários enfrentou inúmeros desafios em sua implementação no Brasil. Contudo, mais recentemente, a evolução tecnológica e a disseminação do conhecimento técnico no setor têm levado a uma rápida expansão no número de plantas em operação e, consequentemente, no volume de biogás produzido. Esse aumento de produção pode ter relação, conforme mencionado por De Mendonça *et al.* (2019) com os resultados socioeconômicos, quando citam o Condomínio Ajuricaba, na qual a utilização do biogás contribuiu para o desenvolvimento local, seja pela redução da poluição do solo e da água pelos dejetos dos animais e, também, trouxe melhora sociais-econômicos para a população com a geração da própria energia que propiciou reduzir o consumo da Copel (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) e, com isso, reduziu os custos de produção. Além disso, segundo os autores, propiciou a melhoria da qualidade de vida da população ao reduzir o risco de contaminação pelo tratamento, de forma correta, dos dejetos. Tal constatação fica evidente na fala do Coordenador do Laboratório de Biogás “[...] acho que o melhor resultado de tudo é, vamos dizer assim, a catapulta social que isso foi. De poder gerar mais qualidade de vida, mais qualidade de viver, mais conhecimento, fixação desse povo na região e renda. Emprego e renda.”

Atualmente, o país conta com 568 usinas de biogás gerando energia elétrica em projetos de geração distribuída (GD) e geração centralizada (Mercado Cativo e Mercado Livre), totalizando cerca de 380 megawatts-hora (ANEEL, 2024). No entanto, de acordo com informações do BiogásMap e do Panorama do Biogás 2022, até dezembro de 2022, havia 885 plantas de biogás em operação no Brasil, que produziram 2,8 bilhões de metros cúbicos normais – unidade de medida de uma matéria sólida, líquida ou gasosa que ocupa um determinado espaço em condições padrão (Nm³) de biogás. Esse total inclui todas as plantas de biogás, tanto as registradas quanto as não registradas na ANEEL e na ANP. O aumento dos custos de geração por meio de fontes tradicionais, juntamente com a necessidade de reduzir as emissões de metano, torna os investimentos no setor mais viáveis.

Os estados que mais se destacaram no crescimento do número de plantas em operação foram São Paulo e Paraná. São Paulo registrou um aumento de 21% no número de plantas e um crescimento de 27% na produção de biogás. Já o Paraná teve um crescimento de 18% no número de plantas de biogás e um aumento de 7% na produção anual de biogás (CIBiogás, 2023).

Dentre os fatores que estimulam a implantação de geradoras de biogás, destacam-se aquelas associadas às tecnologias de biodigestão anaeróbia nas pequenas propriedades rurais. Sob essa perspectiva, o Brasil, ao considerar seu potencial na produção de produtos agropecuários, destaca-se na atividade pecuária, especialmente na bovinocultura, suinocultura e avicultura. Essa atividade é de grande relevância para o país, que é um dos maiores produtores e exportadores de carnes do mundo. De maneira geral, a atividade pecuária gera resíduos com elevado potencial de poluição ambiental, principalmente devido à alta carga orgânica biodegradável e de nutrientes, que podem contaminar o solo, o lençol freático e atingir os corpos hídricos superficiais (Bley Júnior *et al.*, 2009).

Nesse sentido, Mathias (2014) sustenta que as lições da experiência internacional sugerem que o desenvolvimento de sistemas de biogás é crucial para a gestão de resíduos agrícolas. O autor utilizou dados do censo agropecuário do IBGE (2007) para estabelecer cenários e apresentar o potencial de produção de gás metano no Brasil e na Região Sul, que se destaca pelo elevado número de cabeças de gado e políticas de incentivo à agroenergia. O estudo calcula o potencial de geração de biogás derivado dos dejetos de bovinos, considerando a quantidade de dejetos produzidos (matéria seca), que depende do tamanho do rebanho. Com essas informações, é possível estimar a produção diária de matéria seca e aplicar os coeficientes de conversão de matéria seca em biogás.

A pesquisa de Vaz (2023) aponta que o biogás tem o potencial de aumentar sua participação na matriz energética brasileira em cerca de quatro vezes. Atualmente, apenas 1,4% da energia elétrica renovável provém do biogás. A implementação de biodigestores para o tratamento de resíduos orgânicos da suinocultura, bovinocultura leiteira e abatedouros é fundamental para expandir o uso de fontes renováveis de energia e melhorar a confiabilidade do setor energético brasileiro.

Neste contexto, constata-se também ser um fator chave e de relevância ímpar a implementação de políticas públicas que incentivem a utilização de fontes de energia renovável e eficiência energética, visando o desenvolvimento sustentável (Gasparin *et al.*, 2022).

O Estado do Paraná (PR), localizado ao norte da região Sul, possui área de 199.307,922 km², conta com 399 municípios e um total de 11.444.380 habitantes (IBGE, 2022). Segundo o

Relatório de Desenvolvimento Humano do Brasil, que apresenta indicadores relacionados à Educação, Saúde e Renda, o Paraná figura entre os 7 estados com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) mais alto do Brasil, registrando um índice de 0,769.

No que tange à economia, o estado apresenta um perfil agroindustrial marcante, destacando-se na produção de grãos como soja, milho e trigo, além das etapas subsequentes de agregação de valor em setores como óleos vegetais, laticínios e proteína animal, com ênfase na produção de carne de aves (IPARDES, 2022).

Conforme informações fornecidas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR, 2023), as características agropecuárias e agroindustriais, somadas à produção de energia renovável, conferem ao Paraná uma posição de destaque no potencial de produção de biometano na região Sul do país. Esse destaque é especialmente evidenciado pelo aproveitamento do gás proveniente dos resíduos da produção animal, com um potencial de produção superior a 2 milhões de metros cúbicos por dia.

De acordo com dados da AEN (Agência Estadual de Notícias, 2023), o Paraná, onde o agronegócio é pujante, é o 4º estado brasileiro em produção de biogás derivado da biomassa vegetal ou animal. A Tabela 1 ilustra a quantidade de municípios com Geração Distribuída (GD), quantidade de Geradoras, Unidades Consumidoras com *Renewable Energy Certificates* (UCs REC Créditos) e contando com cerca de 12.343,31 kw de potência (POT) instalada do Estado do Paraná, no período de 2014 a 2024.

Tabela 1 – Municípios com Geração Distribuída (GD), quantidade de Geradoras, Unidades Consumidoras com *Renewable Energy Certificates* (UCs REC Créditos) e Potência (POT) instalada (kW) do Estado do Paraná, no período de 2014 a 2024

Estado Paraná			
Municípios com GD	Quantidade de GDS	Ucs REC Créditos	POT Instalada (KW)
41	91	935	12.343,31

Fonte: ANEEL (2024).

Nos últimos 10 anos, foram instaladas 91 unidades geradoras, demonstrando que este é um mercado promissor com elevado potencial de crescimento. O estudo de Milanez *et al.* (2021) aponta que 70% da região Oeste é apta para receber um arranjo de produção de biogás, obtido a partir dos dejetos da suinocultura ou avicultura. O percentual do Oeste é semelhante ao de todo o Paraná, que tem 69,91% do seu território considerado propício para a exploração do gás.

Conforme dados do IPARDES (2022), o estado dispõe de potenciais fontes de matéria orgânica para produção de biogás em larga escala. As principais fontes de resíduos passíveis de tratamento via biodigestão estão relacionadas às atividades agropecuárias e são classificadas em vegetais (não lenhosos e lenhosos) e pecuárias (suínos, bovinos e aves). A viabilidade técnica e econômica desses projetos se mostra promissora, seja pelo encarecimento de outras fontes de eletricidade, seja pela evolução e difusão da tecnologia associada, seja pela expansão das atividades produtoras da matéria-prima em questão.

Para que se tenha um programa de incentivo, é necessário que estejam presentes políticas e mecanismos de incentivo. Para que isso se torne possível, faz-se necessária a atuação do governo, como ente principal na disseminação dessas fontes de energia. O governo não só deve ser um incentivador de novos materiais e tecnologias relacionadas à geração renovável, mas principalmente um agente facilitador por meio da implantação desses programas de incentivo (Salamoni, 2009).

Neste contexto, merece destaque o Programa Paraná Energia Rural Renovável (RenovaPR), que visa promover a geração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis, especialmente biomassa e solar, em unidades produtivas rurais do Paraná. O RenovaPR está concentrando seus esforços em aumentar a participação do biogás e biometano, especialmente entre os produtores de proteína animal e nas agroindústrias. A iniciativa tem estimulado produtores rurais a implantarem em suas propriedades sistemas de geração de energia solar e biogás, colaborando com o desenvolvimento regional sustentável (Paraná, 2022).

O programa consiste em equalizar taxas de juros nos financiamentos de novos projetos por meio do Banco do Agricultor Paranaense, utilizando recursos do Fundo de Desenvolvimento Econômico (FDE) administrado pelo Fomento Paraná. "O Paraná possui uma base produtiva que gera uma quantidade significativa de biomassa, uma matéria orgânica utilizada como fonte de energia limpa e sustentável. Por isso, é importante aproveitar essa potência energética", ressaltava Herlon Goelzer de Almeida, coordenador estadual do programa RenovaPR, que promove a instalação de projetos de energia sustentável em propriedades rurais (AEN, 2023). Cabe ressaltar que em entrevista à Agência Estadual de Notícias (AEN, 2024) uma família de produtores de Pato Bragado (PR) mencionou: "Instalamos um biodigestor e, assim, solucionamos o problema de dejetos dos animais, minimizamos o cheiro e as moscas, e estamos ganhando dinheiro".

O estudo de Stilpen (2021) analisou o potencial energético do biogás em 54 cidades da região Oeste do Paraná, visando suprir parcialmente a demanda elétrica até 2026. Os resultados apontam que, devido à vasta disponibilidade de resíduos orgânicos da atividade agropecuária, estima-se que a região Oeste do Paraná poderia produzir 1,1 milhão de metros cúbicos por dia (Nm^3/dia) de biogás e 59,2 megawatts de energia elétrica, somente em propriedades rurais, abatedouros e frigoríficos.

Enquanto a pesquisa de Barizon (2020) destaca que a utilização de dejetos animais para a produção de biogás tem potencial para transformar um passivo em um ativo ambiental, o autor investigou o potencial de produção de biogás no Paraná, com foco na região Sudoeste, utilizando dejetos animais como substrato e adaptando diferentes metodologias à realidade regional. Os resultados apontaram um considerável potencial de produção de biogás no estado, estimando-se 12.779,5 metros cúbicos por dia (m^3/dia) para bovinos leiteiros e 7.847,7 m^3/dia para suínos. No entanto, o autor menciona que a viabilidade da implantação de projetos deve ser analisada considerando suas potencialidades e limitações. Ainda nessa questão ambiental, Ferrera de Lima (2021) menciona que o desenvolvimento regional sustentável precisa se tornar uma prática, estando além do discurso, para, de fato, ser uma interação entre o desenvolvimento regional e o desenvolvimento sustentável. Existem várias opções para mitigar os problemas ambientais, tanto nas áreas urbanas quanto rurais. Segundo Lins *et al.* (2022), o investimento em saneamento básico ou a substituição de matérias-primas por outras que causam menos poluição já são consideradas medidas eficazes contra os problemas ambientais.

A Agenda 2030, que aborda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) para a preservação do planeta, foi lançada no ano de 2015. Dois objetivos relacionados com energia e resíduos estão presentes nessa agenda: o objetivo 7, que trata da energia limpa e acessível, refletindo uma crescente preocupação com a garantia de acesso a uma energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos; e o objetivo 12, especialmente no item 12.5, que aborda a necessidade de reduzir significativamente a geração de resíduos por meio de prevenção, redução, reciclagem e reuso (ONU, 2022).

Entende-se como energia renovável aquela que é obtida por meio de recursos naturais que podem ser repostos no tempo, portanto, recursos que não carregam a preocupação de serem finitos (Strassburg, 2016). Neste viés, encontra-se o PNE 2050 e o Balanço Energético Nacional, divulgado pelo Ministério de Minas e Energia em 2022, que buscam alinhar o Brasil às metas globais ao estimular o uso mais eficiente dos recursos energéticos, reduzindo as emissões de carbono e aumentando a eficiência energética por meio de maior participação das fontes renováveis.

Conforme observado por Pasqual *et al.* (2018), a segurança alimentar, hídrica e energética são elementos interligados que requerem abordagens sustentáveis e equitativas. Dentro desse contexto, a produção de energia a partir de resíduos orgânicos, como os provenientes da pecuária, da indústria alimentícia e dos resíduos sólidos urbanos, emerge como uma alternativa promissora para mitigar os impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável.

No estudo de Albuquerque de Melo (2022), consta uma análise sobre a geração de biogás em pequenas propriedades rurais, em conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), incluindo iniciativas de digestão anaeróbia de resíduos agropecuários. Essas ações contribuem significativamente para o aprimoramento do meio ambiente e suas interconexões com o desenvolvimento sustentável em uma região específica.

Ao considerar a concepção de uma agricultura sustentável central para a Agenda 2030, o estudo de Mathias e Silva (2023) apresenta os sistemas de biogás como uma alternativa que propicia a geração de ganhos ambientais, econômicos e sociais através da geração de agroenergia. O estudo aborda as oportunidades e desafios para o desenvolvimento de sistemas de biogás em estabelecimentos rurais familiares no Brasil, com foco na região Sul devido à sua concentração de atividade pecuária e tradição do cooperativismo e associativismo na região. Os resultados destacam o potencial de geração de biogás pela agricultura familiar na região, porém apontam como principal fraqueza o baixo aproveitamento desse potencial, além de desafios regulatórios. Cabe destacar o estudo de Machado *et al.* (2025) que identificou a especialização de 57 municípios no Paraná, ou seja, 14,29% do total de municipalidades, sendo que 3 regiões concentram a maioria dos municípios especializados, incluindo, dentre estas, o Oeste Paranaense, o torna a região importante sob o ponto de vista estratégico da suinocultura para o desenvolvimento regional do Paraná.

Diante disso, o aproveitamento energético de resíduos traz diversos benefícios, sendo o principal deles tornar a energia mais acessível, confiável e sustentável, alinhando-se às metas dos ODS.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi descritiva, documental e de abordagem quantitativa. Optou-se por analisar os 399 municípios do Paraná devido à relevância que o biogás vem apresentando no estado, com o objetivo de verificar a combinação de critérios de localização para a construção de geradoras de biogás no Paraná.

Os dados foram obtidos da base de dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), no período de 10 de maio a 10 de junho de 2024, tendo como base de dados o ano de 2022.

Utilizou-se a regressão logística no estudo, a qual, por meio da interação com diferentes variáveis, pode verificar a localização mais competitiva (Weatherspoon; Ross, 2008). Essa técnica foi empregada para analisar a probabilidade da existência de uma geradora de biogás em determinado município.

A regressão logística, utilizando os valores conhecidos das variáveis independentes, sejam elas categóricas ou métricas, busca explicar ou prever os valores de uma variável dependente categórica. Isso possibilita tanto a classificação dos fenômenos ou indivíduos em categorias específicas, quanto a estimativa da probabilidade de ocorrência de determinado evento ou de que um fenômeno venha a se enquadrar em determinada categoria (Corrar *et al.*, 2009).

A variável dependente é a presença (1) ou ausência (0) da geradora de biogás em determinado município do estado do Paraná. De acordo com os estudos de Barizon (2020), Bley Júnior *et al.*, (2009), Krieger *et al.*, (2021), Mathias (2014), Mathias e Silva (2023), Milanez *et al.* (2021), Stilpen (2021) e Vaz (2023) as variáveis independentes com seus respectivos efeitos marginais esperados estão relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis independentes, hipótese, fonte e sinal esperado

Variáveis independentes	Hipóteses	Sinal esperado
Milho - área Colhida	Municípios com maior área plantada de milho não atraem geradoras de biogás por ser atividade concorrente a pecuária	-
Soja - área colhida	Municípios com maior área plantada de soja não atraem geradoras de biogás por ser atividade concorrente a pecuária	-
Produção de leite	Propriedades com maior produção leiteira contribui para geração de emprego direto e renda e atraem geradoras de biogás	+
Rebanho de bovinos	Municípios com significativos números de bovinos e bezerros são mais atraentes para a instalação de geradoras de biogás	+
Rebanho de suínos	Municípios com significativos números de bovinos e bezerros são mais atraentes para a instalação de geradoras de biogás	+
Criação de galináceos	Municípios com significativos números de bovinos e bezerros são mais atraentes para a instalação de geradoras de biogás	+
Consumo de energia rural	Consumo maior de energia na área rural torna atraente a produção por meio do biogás. E ainda, incentivados com o Programa RenovaPR, contribui para maior número de propriedades com geração própria de energia	+
Empregados na área rural	Quanto maior o número de empregados na área rural, maior atratividade para se ter uma geradora de biogás	+
Rede de saneamento – ODS 6	Cidade com saneamento torna atrativo a instalação de uma geradora de biogás	+
População	Município mais populoso torna-se mais atraente para a localização de uma geradora de biogás	+

Fonte: IPARDES (2022), adaptado pelos autores.

A transformação logística na variável dependente visa manter a forma do relacionamento linear, embora o próprio relacionamento não seja linear, para atender à validação do modelo de regressão dos dados observados no estudo, conforme Corrar *et al.* (2009). É necessário que haja um relacionamento linear quando a variável dependente é contínua; no entanto, quando a variável dependente é categórica, essa hipótese é violada. Isso torna inviável a predição linear da probabilidade de ocorrência do evento, seja com um aumento ou diminuição linear, na relação funcional estatística. Portanto, a variável dependente foi transformada em uma razão de chances e posteriormente convertida em sua forma logarítmica para evitar previsões de valores menores que zero e maiores que um:

$$\text{Razão de chance} = \frac{P(evento)}{1-P(evento)} \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{P(evento)}{1-P(evento)}\right) = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_kx_{ki} \quad (2)$$

O logaritmo natural da razão de chances, presente no lado esquerdo da equação (2), é expresso em função das variáveis independentes e dos coeficientes estimados do lado direito, os quais representam as mudanças no logaritmo da razão de chances.

A razão de chances foi obtida elevando-se a constante matemática ao expoente composto dos coeficientes estimados, conforme a equação (3), logo, pode-se identificar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento, conforme as equações (4) e (5).

$$\left(\frac{P(evento)}{1-P(evento)}\right) = e^{(b + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_{ki})} \quad (3)$$

$$P(evento) = \frac{e^{(b + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_{ki})}}{1 + e^{(b + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_{ki})}} \quad (4) \text{ ou}$$

$$P(evento) = \frac{1}{1 + e^{-(b + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_{ki})}} \quad (5)$$

O método de verossimilhança, considerado uma forma de estimar os parâmetros de distribuição de probabilidades para maximizar a função verossimilhança, será o resultado da transformação logística da qual resulta a equação (5) e que, por sua vez, resultará na equação (6) a seguir:

$$\text{verossimilhança}(VL) = \sum_{i=1}^n \{Y_i \ln(P(Y_i)) + (1 - Y_i) \ln[1 - P(Y_i)]\} \quad (6)$$

Na equação (6), Y_i representa o evento e n é o número de observações. A verossimilhança em questão está baseada na soma das probabilidades associadas com a saída real e a prevista.

Valores altos da estatística de verossimilhança serão indicativos de que o modelo tem uma aderência pobre, segundo Field (2009), uma vez que quanto maior esse valor, maior a quantidade de observações que não puderam ser explicadas. Para testar a significância do modelo ajustado, utilizou-se o modelo da razão de verossimilhança, testando-se as hipóteses: $H_0: b_1 = b_2 = \dots = \bar{y}_0 = 0$, ou seja, o modelo não é estatisticamente significativo, ou $H_1: b_i \neq 0$ ($i = 1, \dots, p$), ou seja, o modelo é estatisticamente significativo.

Um modelo não significativo conduzirá para a impossibilidade de se prever a probabilidade do “sucesso” das variáveis independentes. A estatística testa a significância da verossimilhança (VL) do modelo apenas com a constante (Básico), ou seja, sem nenhuma variável independente logit (Y) = b_0 , comparando-a com a VL do modelo com as variáveis independentes (Novo), na combinação linear logit (Y_i) = $b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \dots + b_pX_{pi}$ (Maroco, 2007). O teste baseia-se na fórmula (7):

$$\begin{aligned}x^2 &= 2[VL(Novo) - VL(Básico)] \\ gl &= k_{novo} - k_{básico}\end{aligned}\tag{7}$$

Para ser possível avaliar a capacidade do modelo em estimar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento, segundo Corrar *et al.* (2009), utilizou-se o *Log Likelihood Value*, medida de avaliação da regressão logística. Tal constatação é complementada por Field (2009) ao mencionar que a distribuição qui-quadrado tem graus de liberdade iguais ao número de parâmetros no novo modelo menos o número de parâmetros no modelo básico, que, neste último, é sempre igual a 1 (a constante). Qualquer modelo subsequente terá um número de graus de liberdade igual ao número de previsores, mais 1.

Para identificar quais variáveis independentes influenciam significativamente a regressão logística foi utilizado o Teste de Wald que indicou se o coeficiente (b) de cada predictor é significativamente diferente de zero. Ele apresenta uma distribuição qui-quadrada e seu cálculo é dado pelo valor do coeficiente de regressão dividido pelo seu erro padrão (EP) associado, elevado ao quadrado.

$$\begin{aligned}Wald &= \left(\frac{b}{EP_b} \right)^2 \\ EP &= \frac{1}{\sqrt{n \cdot P(evento)(1 - P(evento))}}\end{aligned}\tag{8}\tag{9}$$

Conforme orientado por Corrar *et al.* (2009), foi realizado o cálculo do valor de verossimilhança (*Likelihood Value*) na variável a qual se refere o coeficiente sob análise para,

posteriormente, refazer o procedimento, agora sem essa variável. Tal procedimento visa contornar a questão de que o teste estatístico seja válido somente para amostras de grandes dimensões, além das probabilidades de erro tipo I e II na regressão logística de Wald, que afetam os testes t , a fim de evitar o inflacionamento do erro padrão mencionado na equação (9) e que levaria à não rejeição de a_0 . Desta forma, ao comparar os dois valores, será possível verificar se o coeficiente em apreço exerce impactos significativos sobre as probabilidades.

Por fim, além da estatística de Wald, foi apresentado o intervalo de confiança para verificar se o coeficiente é realmente significativamente diferente de zero. Na regressão logística, não é possível calcular o R^2 , pois a variância da variável dependente é condicionada à probabilidade dos seus valores ocorrerem. Portanto, é comum utilizar o que se convencionou chamar de pseudo- R^2 , que permite avaliar apenas se o modelo melhora a qualidade das previsões em comparação com um modelo que ignora as variáveis independentes. Entre os pseudo- R^2 , destaca-se o de McFadden.

$$R_{McFadden}^2 = 1 - \left(\frac{\log \log (L_c)}{\log \log (L_{null})} \right) \quad (10)$$

O pseudo R^2 de McFadden é um dos mais utilizados na literatura. Segundo McFadden, valores de R^2 entre 0,2 e 0,4 são considerados como indicativos de um bom ajuste do modelo. O software utilizado para os cálculos da regressão logística foi o RStudio.

Convém mencionar que, embora o uso da regressão logística esteja adequado para identificar a probabilidade de instalação de geradoras de biogás, esse modelo apresenta algumas limitações. Entre elas, destaca-se a ausência de variáveis temporais, já que os dados utilizados correspondem a um único ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 399 municípios existentes no Paraná, 358 não hospedam unidades geradoras de biogás, enquanto os outros 41 municípios as possuem. De acordo com a análise de regressão logística, todos os municípios seriam inicialmente classificados como não hospedando unidades geradoras de biogás, resultando em uma taxa de acerto de 89,72%.

A partir dos resultados, desenvolveu-se o modelo probabilístico para a presença de geradoras de biogás nos municípios paranaenses conforme a equação 5.

Com base no estudo de Gujarati (2000), ao tomar o antilogaritmo do j -ésimo coeficiente de inclinação, subtrair 1 e multiplicar o resultado por 100, obtém-se o valor percentual da chance que será devido ao aumento de uma unidade no j -ésimo regressor. Tomando como exemplo o coeficiente de consumo de energia elétrica rural (antilogaritmo de 0,0424 = 1,0424), ao subtrair 1 e multiplicar por 100, conclui-se que um aumento de uma unidade no consumo de energia elétrica rural aumenta a probabilidade de uma geradora de biogás se instalar em uma

determinada cidade do Paraná em 4,24%. A Tabela 2 apresenta os determinantes de localização para geradoras de biogás no Paraná.

Quanto à qualidade do ajustamento, o conjunto dos resultados do-2 LV e do Pseudo-R² de Mcfadden mostraram, de modo geral, a qualidade do modelo. Assim, tem-se um indício de que o modelo pode ser utilizado para estimar a probabilidade de uma determinada usina se localizar em determinadas cidades, em função das variáveis independentes. O Pseudo R² de Mcfadden apresentou o valor de 0,3044, ou seja, as variáveis independentes têm a capacidade de explicar 30,44% das variações registradas na variável dependente.

Tabela 2 – Variáveis independentes na equação em que a variável dependente indica a presença ou ausência de usinas nos municípios

Número de Municípios		399
Variáveis	Std. Error	P-Value
Consumo de energia elétrica rural	9,510e-05	0,0424 *
Empregos na agropecuária	-2,69ee-05	0,0186 *
População	-4,693e-03	0,1068
Rede de Saneamento - ODS 6	1,217e-04	0,0607 .
Rebanho bovino	-7,696e-06	0,5493
Galináceos	-8,102e-08	0,5885
Rebanho suíno	2,497e-05	1,05e-05 ***
Milho área colhida	-1,530e-05	0,6295
Soja área colhida	2,913e-05	0,1994
Produção de leite	1,411e-05	0,1415
Constante	-2,887e+00	4,96e-16 ***
-2LV		183,766
Macfadden		0,3044

Fonte: Dados da pesquisa (2024), com saídas processadas do RStudio.

*** significativo a 0,1%, ** significativo a 1%, * significativo a 5%, “.” significativo a 10%, NS não significativo.

No que diz respeito às variáveis independentes na equação foram consideradas significativas, de acordo com o Teste de Wald as variáveis rebanho suíno (0,1%), consumo de energia elétrica rural e empregos agropecuária (ambos 5%) e ODS 6 (10%). Neste contexto são essas variáveis, segundo os dados da pesquisa, que exercem efeito sobre a probabilidade de uma unidade produtiva se localizar em um determinado município, conforme demonstrado na Tabela 2.

Observa-se também que a proximidade dos rebanhos de suínos se mostrou como o principal determinante da presença de uma geradora de biogás, o que está alinhado com o que foi citado por Weber (1929) e Von Thunen (1966). Eles discutem que a localização da indústria é determinada pela disponibilidade de fontes de matéria-prima e/ou pelo mercado consumidor. Essas vantagens são obtidas quando as atividades econômicas ocorrem em locais específicos ou em múltiplos locais, sugerindo que uma localização vantajosa tende a aumentar a competitividade da empresa, uma vez que os custos de transporte são importantes para a localização pois, os rejeitos que constituem matéria-prima à produção possuem grande massa a ser transportada e manipulada, ao passo que o valor monetário da energia obtida é relativamente baixo por tonelada, o qual seria rapidamente exaurido com custos de transporte se percorresse

distâncias maiores. Essa questão se alinha a Fujita *et al* (1999) que aponta que a proximidade geográfica tem papel importante para que se tenha intercâmbio eficiente de bens, serviços, informações e mão de obra, que gera maior agilidade e conduz à redução dos custos de transação que tende a propiciar um aumento de produtividade.

Tal fato é corroborado por Bacha (2012) ao mencionar que o Brasil é beneficiado por características socioeconômicas favoráveis à exploração do biogás, como a expressiva produção agropecuária e agroindustrial. Essas características são complementadas por Bley Júnior (2015), que destaca as condições climáticas ideais para a biodigestão, como temperaturas médias altas, disponibilidade de água (essencial para provocar a anaerobiose) e grande biodiversidade, com inúmeras espécies capazes de degradar matéria orgânica de forma anaeróbica.

No entanto, é importante observar que o efeito da variável rebanho de bovinos e criação de galináceos não se apresentou significativo para a instalação de geradoras de biogás, o que contradiz, em parte, os achados de Milanez *et al.* (2021). Eles incluem, entre as principais fontes de resíduos passíveis de tratamento via biodigestão, as atividades pecuárias com suínos, bovinos e aves. O estudo atual não encontrou significância nas produções de bovinos e aves, assim como na produção de leite, que também não apresentou relevância estatística. Ainda assim, os resultados demonstram a importância do acesso à matéria-prima agrícola como fator relevante. Vaz (2023) também corrobora a ideia de que o biogás tem o potencial de aumentar sua participação na matriz energética brasileira em cerca de quatro vezes, destacando o uso de biodigestores para o tratamento de resíduos orgânicos da suinocultura, bovinocultura leiteira e abatedouros.

Tal constatação encontra respaldo no estudo de Barizon (2020), que destaca que a utilização de dejetos animais para a produção de biogás não apenas potencializa a transformação de um passivo em um ativo ambiental, mas também revela um considerável potencial de produção de biogás no Paraná, especialmente na região Sudoeste. Utilizando dejetos animais, o estudo estimou uma produção diária de 12.779,5 m³ para bovinos leiteiros e 7.847,7 m³ para suínos, indicando maior potencial para bovinos em comparação aos suínos. No entanto, a viabilidade da implantação desses projetos pode esbarrar em suas potencialidades e limitações.

Neste sentido, o Programa Paraná Energia Rural Renovável (RenovaPR), que visa promover a geração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis, especialmente biomassa e solar, em unidades produtivas rurais do Paraná, pode ser uma alternativa para estimular novos produtores rurais a implantarem sistemas de geração de biogás em suas propriedades. O programa oferece taxas de juros equalizadas nos financiamentos desses novos projetos.

Nesse contexto, entende-se como oportuno incentivar a utilização do potencial brasileiro para produção de biogás, especialmente na atividade pecuária, destacando-se a bovinocultura, suinocultura e avicultura, das quais o país é um dos maiores produtores e exportadores de carnes do mundo. É sabido que essa atividade gera resíduos com elevado potencial de poluição ambiental, devido à grande carga orgânica biodegradável e nutrientes, que podem contaminar o solo, o lençol freático e atingir corpos hídricos superficiais, conforme Bley Júnior *et al.* (2009). Neste cenário, o incentivo por meio de políticas públicas pode colaborar com o desenvolvimento regional sustentável, conforme defendido por Mathias e Silva (2023),

destacando que os sistemas de biogás são uma alternativa que propicia ganhos ambientais, econômicos e sociais a partir da geração de agroenergia. Pode, ainda, potencializar ganhos financeiros, tal qual a família de Pato Bragado que minimizou os problemas com cheiro e resíduos e passou a ter ganho financeiro com a implementação de um biodigestor que conduziu a redução de custos.

Em relação à geração de agroenergia, observou-se que o consumo de energia elétrica rural é também um dos determinantes para as geradoras de biogás, conforme evidenciado no estudo de Milanez *et al.* (2021), que destaca o crescimento do número de geradoras nos últimos dez anos, indicando um mercado com elevado potencial de expansão. Segundo o autor, 69,1% do território paranaense é considerado propício para a geração de biogás. Esta forma de agroenergia pode permitir que propriedades rurais gerem sua própria energia para consumo, reduzindo custos. Iniciativas como o RenovaPR, especialmente desenhado para produtores de proteína animal e agroindústrias, incentivam a instalação de sistemas de geração de energia solar e biogás em propriedades rurais, contribuindo assim para o desenvolvimento regional sustentável.

Nesse contexto de desenvolvimento sustentável, destaca-se o ODS6 (saneamento básico) como relevante para o estudo, embora com menor significância. Isso sugere que há interesse e percepção em relação ao tratamento de dejetos de forma geral. Alinhado a esses objetivos sustentáveis, a utilização de dejetos suínos pode contribuir para a segurança alimentar, hídrica e energética, conforme mencionado por Pasqual *et al.* (2018). Eles destacam que esses elementos estão interligados e exigem abordagens sustentáveis e equitativas. A energia derivada de resíduos orgânicos, como os provenientes da pecuária, indústria alimentícia e resíduos sólidos urbanos, surge como uma alternativa promissora para mitigar os impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, destacam-se os dados do IPARDES (2022), que indicam que o Paraná possui disponibilidade de potenciais fontes de matéria orgânica para a produção de biogás em larga escala, com uma viabilidade técnica e econômica promissora. Isso ocorre tanto pela perspectiva do encarecimento de outras fontes de eletricidade quanto pela evolução e difusão da tecnologia associada à produção de biogás. Este ponto é complementado por Albuquerque de Melo (2022), que aborda a geração de biogás em pequenas propriedades rurais, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essas ações contribuem significativamente para o aprimoramento do meio ambiente e suas interconexões com o desenvolvimento sustentável em uma região específica. Machado *et al.* (2025) complementa ao mencionar ser o Oeste Paranaense uma região importante sob o ponto de vista estratégico da suinocultura para o desenvolvimento regional do Paraná, uma vez que é uma das mesorregiões especializadas. Corroborando ainda os achados de Stilpen (2021) ao analisar o potencial energético do biogás em 54 cidades da região oeste do Paraná. O autor apontou que há uma vasta disponibilidade de resíduos orgânicos da atividade agropecuária, com potencial para produzir 1,1 milhão de metros cúbicos por dia (Nm^3/dia) de biogás e 59,2 megawatts (MW) de energia elétrica, somente em propriedades rurais, abatedouros e frigoríficos.

Observa-se, ainda, que as variáveis, milho área colhida, soja área colhida e produção de leite não se mostraram significantes e, portanto, não seriam determinantes na tomada de decisão para implantação das geradoras de biogás nas cidades paranaenses.

Por fim, os determinantes identificados possuem implicações políticas e regionais que merecem ter atenção, o rebanho de suínos, por exemplo, principal variável significativa, reforça a especialização produtiva do Oeste do Paraná, já citado por Machado et al. (2025). Porém, essa especialização é, também, um fator de preocupação quanto a trazer uma dependência econômica para a atividade, que se alinha com o que alerta Krugman (1991) e a Nova Geografia Econômica, quanto a polarização regional. Neste caso, com o consumo de energia elétrica rural sendo um fator atrativo, municípios mais modernizados terão mais chances de captar recursos para serem investidos, logo, programas como o RenovaPR serão importantes, como políticas públicas, para poder evitar que se ampliem as desigualdades territoriais nesse setor. Alia-se a estas políticas, de cunho financeiro, as políticas de saneamento para ser possível integrar novas plantas o que evidencia a necessidade de políticas públicas integradas de energia e saneamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou analisar os determinantes da localização de geradoras de biogás no Paraná, a fim de verificar a combinação de critérios para a construção dessas unidades e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para o qual utilizou-se o método de regressão logística. Embora alguns estudos tenham sido realizados para estudar a viabilidade e implantação de geradoras de biogás especificamente na atividade pecuária, poucos voltaram-se para analisar os fatores que favorecem a localização dessas unidades em países, regiões ou municípios específicos, especialmente em regiões onde essa atividade está em expansão, como é o caso do Paraná. Os resultados do estudo constataram que, entre os fatores que poderiam influenciar a localização de geradoras de biogás em determinado município do estado, estão aqueles relacionados ao rebanho de suínos, consumo de energia elétrica rural e empregos no setor agropecuário, sendo o rebanho de suínos o mais relevante para a instalação das geradoras. Este fato coaduna com a ideia de que a localização da indústria está orientada pela disponibilidade de fontes de matéria-prima, o que gera vantagem competitiva ao concentrar atividades econômicas em determinados locais.

Nesse alinhamento, pode-se concluir que a variável rebanho de suínos, determinante para a instalação de geradoras de biogás, também é uma das que mais cresceram na agropecuária no estado do Paraná, tanto por questões de produtividade quanto pelo modelo cooperativo existente em algumas regiões do estado, especialmente no Oeste e Sudoeste.

Além de o rebanho de suínos ser o principal determinante para a tomada de decisão relacionada à instalação de geradoras de biogás nos municípios paranaenses, a produção de biogás se destaca por utilizar resíduos orgânicos que, se descartados de outras maneiras, poderiam ser prejudiciais ao meio ambiente. Assim, o biogás torna-se uma importante ferramenta para contribuir com a autossuficiência energética no meio rural, de forma ambientalmente correta.

Neste contexto, foi possível observar que há alinhamento entre as geradoras de biogás e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, sendo este também um dos fatores determinantes que apresentou significância no estudo. Isso corrobora a conceituação de que os sistemas de biogás têm potencial como alternativa que propicia a geração de energia com ganhos ambientais, econômicos e sociais.

Foi constatado que o aumento no número de geradoras de biogás não apresentou significância estatística quanto à produtividade de milho, soja e à produção de leite como determinantes para a instalação dessas unidades, tanto no setor de grãos quanto na pecuária. Ainda assim, houve evolução na participação do programa RenovaPR, no qual o governo paranaense vem desempenhando um papel importante nesse processo. Tal fato não significa inviabilidade da utilização futura dos resíduos orgânicos dessas atividades, uma vez que há potencial energético do biogás para essas cadeias produtivas. Além disso, há uma vasta disponibilidade de resíduos orgânicos na atividade agropecuária, com potencial para produzir 1,1 milhão de metros cúbicos por dia (Nm³/dia) de biogás e 59,2 megawatts (MW) de energia elétrica, apenas em propriedades rurais, abatedouros e frigoríficos.

Embora existam estudos voltados à viabilidade técnica e econômica de geradoras de biogás, sobretudo no contexto da pecuária, ainda são escassas as análises focadas nos fatores locais, especialmente em regiões com forte expansão dessa atividade, como é o caso do Paraná. Para análises futuras, recomenda-se a utilização de dados longitudinais e modelos de painel, que permitiriam avaliar a evolução dos determinantes locais ao longo do tempo e a influência de políticas públicas como o RenovaPR. Além disso, destaca-se a importância de estudos que abordem a viabilidade econômica da implantação de sistemas de biodigestores, contemplando aspectos financeiros e operacionais que também influenciam a decisão de investimento.

Por fim, ao destacar os fatores que orientam a instalação de geradoras de biogás no Paraná, este estudo reforça o papel estratégico dessa fonte energética no avanço de uma matriz mais limpa, sustentável e descentralizada. A valorização dos resíduos agropecuários como insumos para a produção de energia representa não apenas uma oportunidade econômica, mas também um caminho promissor para o cumprimento dos compromissos ambientais e sociais assumidos pelo país na Agenda 2030 da ONU.

REFERÊNCIAS

AEN - Agência Estadual de Notícias. **Biogás diminui custos de produção e gera renda para suinocultores de Pato Bragado**. Curitiba: AEN, 2024. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Biogas-diminui-custos-de-producao-e-gera-renda-para-suinocultores-de-Pato-Bragado>. Acesso em: 06 dez. 2024.

AEN - Agência Estadual de Notícias. **De passivo ambiental a energia com valor agregado: o caminho do biogás no Paraná**. 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/De-passivo-ambiental-energia-com-valor-agregado-o-caminho-do-biogas-no-Parana>. Acesso em: 17 jun. 2024.

AGUILAR, F. X. **Factors influencing the spatial distribution of natural resource based industries: the case of two oilseed industries in the United States South**. Dissertação (Graduate Faculty) - Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Louisiana, 2007.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída por Estado:** Município com GD. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 04 jun. 2024.

AVARGANI, V. M. *et al.* A comprehensive review on hydrogen production and utilization in North America: prospects and challenges. **Energy Conversion and Management**, v. 269, n. 115927, 2022.

BACHA, C. J. C. **Economia e política agrícola no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

BARIZON, F. **Mapeamento do potencial de produção de biogás no Estado do Paraná a partir de dejetos de suínos e bovinos leiteiros**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2020.

BLEY JÚNIOR, C. J. Biogás: A energia invisível. **CIBiogás-ER**. n. 12232131, p. 48-50, 2015.

BLEY JÚNIOR, C. J. *et al.* **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. rev. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional. Brasília: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.

BOROWSKI, P.; BARWICKI, J. Efficiency of Utilization of Wastes for Green Energy Production and Reduction of Pollution in Rural Areas. **Energies**, 2023.

CIBIOGAS. **Panorama do biogás no Brasil 2022**. Centro Internacional de Energias Renováveis. Relatório técnico nº 001/2023. Foz do Iguaçu, 2023. Disponível em: https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2023/12/Panorama_do_Biogs_no_Brasil_2022.pdf?gclid=CjwKCAiAzc2tBhA6EiwArv-i6fd0mxZY0_JJVPO1rZFh_CC2xIfLcPskURYycI2wF7hTTtlkdGowKR0CVz4QAvD_BwE. Acesso em: 04 jun. 2024.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. FIPECAFI. São Paulo: Atlas, 2009.

DIVYA, D.; GOPINATH, L. R.; MERLIN CHRISTY, P. A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 690–699, 2015.

FERRERA LIMA, J. Sustainable Regional Development. **DRd – Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 11, p. 132-143, 2021.

FIELD, A. **Descobrendo a estatística utilizando o SPSS**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2009.

FIEP - Federação das Indústrias do Estado do Paraná. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná** 2016. Disponível em: [https://www.sistemafiep.org.br/relacoes-internacionais/uploadAddress/Biogas\[73656\].pdf](https://www.sistemafiep.org.br/relacoes-internacionais/uploadAddress/Biogas[73656].pdf). Acesso em: 06 dez. 2024.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A. J. **The Spatial Economy**: Cities, Regions, and International Trade. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

GAIGALIS, V.; KATINAS, V. Analysis of the renewable energy implementation and prediction prospects in compliance with the EU policy: A case of Lithuania. *Renawable Energy*, v. 151, p. 1016-1027, 2020.

GASPARIN, F. B. *et al.* A influência de Políticas Públicas para o Progresso da Geração Solar Fotovoltaica e Diversificação da Matriz Energética Brasileira. **Revista Virtual de Química**, 2022.

IDR - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -IAPAR-EMATER. **IDR-Paraná apresenta tecnologias da agricultura paranaense na AgroBrasília 2023**. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/IDR-Parana-apresenta-tecnologias-da-agricultura-paranaense-na-AgroBrasilia-2023>. Acesso em: 17 jun. 2024.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Desenvolvimento paranaense: contexto, tendências e desafios 2022**. Disponível em: https://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2022-09/desenvolvimento_paranaense.pdf#page=87. Acesso em: 04 jun. 2024.

KRIEGER, P. A. *et al.* Análise da sinergia de resíduos obtidos de atividades de agropecuária na produção de biogás. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 153-162, 2021.

KRUGMAN, P. Increasing returns and economic geography. **Journal of Political Economy**, v. 99, p. 483-99, 1991.

LINS, L. P. *et al.* O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Interações**, v. 23, n. 4, p. 1275–1286, 2022.

MACHADO, J. T.M.; MATTE, A.; WAQUIL, P.D. Características socioprodutivas dos municípios paranaenses especializados na produção commercial de suínos. **Revista Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 15, p. 498-516, 2025.

MAROCO, J. **Análise estatística**: com utilização do SPSS. Lisboa: Silabo, 2007.

MATHIAS, J. F. C. M. Estrume como Recurso: Gestão de Resíduos Pecuários da Digestão Anaeróbica, Oportunidades e Desafios para o Brasil. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 17, n. 4, p. 1-24, 2014.

MATHIAS, J. F. C. M.; SILVA, S. S. Agroenergia como vetor para a agricultura sustentável: oportunidades e desafios da produção de biogás no Brasil. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 6, p. 3701-3716, 2023.

MELO, L. S. A. *et al.* Análise da produção científica internacional sobre cidades e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). **REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 12, n. 3, p. 90-108, 2022.

MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA, S. K.; NASCIMENTO, T. C. Formação de nichos tecnológicos e as ecoinovações: o caso do Cibiogás na Itaipu Brasil. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 79-97, 2019.

MILANEZ, A. Y.; MAIA, G. B. S.; GUIMARÃES, D. D. Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil = Biogas: recent evolution and potential of a new frontier for renewable energy in Brazil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-213, mar. 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. **United Nations Development Programme**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 04 jun. de 2024.

ONU -Organização das Nações Unidas. **ONU pede que energia limpa dobre até 2030**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/>. Acesso em: 04 jun. de 2024.

PARANÁ. (2022). **Paraná Energia Rural Renovável**. 2022. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Parana-Energia-Rural-Renovavel>. Acesso em: 04 jun de 2024.

PASQUAL, J. C. *et al.* Assessment of collective production of biomethane from livestock waste for urban transportation mobility in Brazil and the United States. **Energies**, v. 11, n. 4, p. 1–19, 2018

PINHEIRO, D. S. *et al.* Biogás: análise dos dados brasileiros. **Revista Interdisciplinar da FARESE**, v. 4, p. 176-182, 2023.

SALAMONI, I. T. **Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SILVA, M. L. B.; MEZZARI, M. P. Tratamento e purificação de biogás. In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C.. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento da digestão**. 2. ed. Concórdia: Sbera: Embrapa, 2022. p. 69-93.

SOARES, C. M. T. *et al.* Produção de biogás como alternativa energética sustentável: perspectivas de desenvolvimento territorial com autonomia. **Revista Orbis Latina-Racionalidades, Desenvolvimento e Fronteiras**, v. 9, n. 2, p. 102-110, 2019.

SOARES, I. P. *et al.* **Biogás e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022.

SOUZA, J. **Sociedade, tecnologia e meio ambiente: avanços, retrocessos e novas perspectivas**. São Paulo: Editora XPTO, 2022. v. 2. p. 454-465.

STILPEN, D. V. S. **Estudo de potencial energético regional para inserção na matriz elétrica: o caso da geração a biogás na Região Oeste do Paraná**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

STRASSBURG, U. **O biogás no Oeste do Paraná: potencialidade, desafios e perspectivas à luz da Nova Economia Institucional**. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

THÜNEN, J. H. V. **The isolated state**. Nova York: Pergamon Press, 1966. [Edição original de 1826]

VAZ, L. G. **Potencial energético do biogás e gases de efeito estufa no setor agropecuário industrial brasileiro**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/RenovaPR-contribui-para-tornar-o-Parana-referencia-em-producao-de-Biogas>. Acesso em: 04 jun. de 2024.

WANG, Y. *et al.* Biogas energy generated from livestock manure in China: Current situation and future trends. **Journal of Environmental Management**, v. 297, 2021.

WEATHERSPOON, D.; ROSS, A. Designing the last mile of the supply chain in Africa: firm expansion and managerial inferences from a grocer model of location decisions. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 11, n. 1, p. 1-16, 2008.

WEBER, M. **Theory of the Location of Industries**. Chicago: University of Chicago Press, 1929.

AGRADECIMENTOS E INFORMAÇÕES

Agradecimentos especiais ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de apoio financeiro e bolsas de fomento, por meio de editais de pesquisa.