



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,  
INFRAESTRUTURA  
E TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA UNIDADE GERADORA DE  
ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS SUÍNOS  
DE PEQUENOS PRODUTORES RURAIS DA REGIÃO DO OESTE DO PARANÁ:  
PRODUÇÃO CENTRALIZADA x PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA DE BIOGÁS.**

**CAMILA BONATTO DE MELO**

Foz do Iguaçu  
2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,  
INFRAESTRUTURA  
E TERRITÓRIO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA UNIDADE GERADORA DE  
ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS SUÍNOS  
DE PEQUENOS PRODUTORES RURAIS DA REGIÃO DO OESTE DO PARANÁ:  
PRODUÇÃO CENTRALIZADA x PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA DE BIOGÁS.**

**CAMILA BONATTO DE MELO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano e Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.


Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Andreia Cristina Furtado.  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Marciana Pierina Uliana Machado

Foz do Iguaçu  
2023

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UMA UNIDADE GERADORA DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS SUÍNOS DE PEQUENOS PRODUTORES RURAIS DA REGIÃO DO OESTE DO PARANÁ: PRODUÇÃO CENTRALIZADA x PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA DE BIOGÁS.**


Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano e Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 ANDREIA CRISTINA FURTADO  
Data: 07/08/2023 08:41:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Andréia Cristina Furtado  
UNILA

Documento assinado digitalmente  
 MARCIANA PIERINA ULIANA MACHADO  
Data: 07/08/2023 08:33:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marciana Pierina Uliana Machado  
UNILA

Documento assinado digitalmente  
 MARCELA BOROSKI  
Data: 04/08/2023 09:13:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Marcela Boroski  
UNILA

Documento assinado digitalmente  
 CESAR ADOLFO RODRIGUEZ SOTOMONTE  
Data: 03/08/2023 14:05:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr.<sup>o</sup>. Cesar Adolfo Rodriguez Sotomonte  
UNILA

Documento assinado digitalmente  
 LEONARDO PEREIRA LINS  
Data: 03/08/2023 16:50:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr.<sup>o</sup>. Leonardo Pereira Lins  
CIBIOGAS

Foz do Iguaçu, 29 de junho de 2023.

**Dedico este trabalho e todos os anos  
de estudo a mim mesma, por não desistir.**

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, minha mãe Nádia, meu pai Vicente e meu irmão Tiago que me deram a oportunidade e o incentivo de estudar.

A minha amada companheira de vida Tamara que me incentivou arduamente ao longo dos meus estudos do mestrado e sempre esteve ao meu lado me apoiando, sem você isso não seria possível.

Aos meus maravilhosos amigos, Shirley e Fernando que me deram total suporte para a finalização desta pesquisa. Vocês desempenharam um papel significativo no meu crescimento.

Ao meu incrível amigo Gustavo que sempre me animou e me apoiou nessa jornada, obrigada pelas conversas descontraídas.

Ao grupo Joaquina, Mari, Brenda, Bruna S. Bruna M. Natalia, Ale e Ada por sempre estarem presentes com palavras de encorajamento e força.

A orientadora e coorientadora desta dissertação, Andreia e Marciana, que souberam conduzir meu progresso de forma clara, organizada, com eficiência e sabedoria.

Aos proprietários rurais que amavelmente me receberam e se prontificaram a fornecer dados importantes de maneira irrestrita, fundamental para que se chegasse aos resultados alcançados.

A Universidade Federal da Integração Latino-Americana por me acolher todos estes anos e ao Programa de Bolsa Institucional da UNILA (PROBIU) por me conceder uma bolsa de estudo durante o período do programa.

E por fim, a todos os docentes, técnicos e colegas discentes no Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar de Energia e Sustentabilidade da UNILA.

## RESUMO

O rápido crescimento da sociedade moderna juntamente com o desenvolvimento econômico e agrícola tornaram o uso da energia indispensável. No entanto, sua geração é responsável por fortes impactos e danos ambientais, principalmente quando a energia é proveniente de combustíveis fósseis, logo, a busca por fontes renováveis de energia tem sido impulsionada. Uma alternativa encontrada para geração de energia com um reduzido impacto ambiental é o uso do biogás proveniente do manejo da biomassa residual gerada no sistema produtivo de suínos aliado aos sistemas de biodigestores. Contudo, a produção de biogás em pequenas propriedades rurais enfrenta desafios devido à falta de assistência técnica e à adoção de práticas adequadas. Para superar essas dificuldades, uma alternativa viável é a implementação de condomínios cooperativos de agroenergia. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar, considerando três cenários, a viabilidade técnica e econômica de geração de energia elétrica utilizando o biogás produzido a partir de dejetos de suínos de cinco propriedades rurais localizadas na cidade de Medianeira – Paraná, com um plantel total de 9.250 suínos no ciclo de terminação e um consumo diário de 420 kWh/dia. No primeiro cenário foram utilizados todos os dejetos disponíveis nas propriedades, totalizando 56,43 m<sup>3</sup>/dia, e com o auxílio de biodigestores cada granja produziu biogás em um total de 1.326,31 m<sup>3</sup>/dia, este que foi transportado por meio de um bio-gasoduto até a central geradora de energia elétrica, gerando 2.483,51 kWh/dia. No segundo cenário, a totalidade de dejetos de cada granja foi transportada por meio de caminhão tanque até um único biodigestor, total de 46,82 m<sup>3</sup>/dia considerando as perdas pela logística, e a partir disso foi feito o aproveitamento energético produzindo 1.241,39 m<sup>3</sup>/dia de biogás e gerando 2.324,50 kWh/dia. No terceiro cenário, assim como no cenário anterior, os dejetos foram conduzidos por meio de caminhão tanque até um biodigestor central, porém neste caso foi utilizado apenas a quantidade necessária de cada propriedade para produzir o biogás requerente para geração de energia demandada pelas granjas. Assim, para gerar os 420 kWh/dia necessários para atender o consumo das granjas foi utilizado 20% do dejetos disponível de cada propriedade totalizando 11,29 m<sup>3</sup>/dia, gerando 224,30 m<sup>3</sup>/dia de biogás. O panorama que apresentou a maior viabilidade econômica para implantação foi o terceiro apresentando um VPL de R\$ 289.691,30 um TIR de 32% e *payback* de 6 anos.

**Palavras-chave:** biogás; suinocultura; sustentabilidade; energia elétrica.

## RESUMEN

El rápido crecimiento de la sociedad moderna junto con el desarrollo económico y agrícola han hecho indispensable el uso de la energía. Sin embargo, la generación de esta energía es generalmente responsable de fuertes impactos y daños ambientales, especialmente cuando la energía proviene de combustibles fósiles, por lo que se ha impulsado la búsqueda de fuentes renovables de energía. Una alternativa encontrada para la generación de energía con menor impacto ambiental es el uso de biogás a partir de la gestión de la biomasa residual generada en el sistema de producción de cerdos combinado con sistemas biodigestores. Sin embargo, la producción de biogás en pequeñas explotaciones se enfrenta a dificultades debido a la falta de asistencia técnica y de adopción de prácticas adecuadas. Para superar estas dificultades, una alternativa viable es la implementación de condominios agroenergéticos cooperativos. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar, considerando tres escenarios, la viabilidad técnica y económica de la generación de energía eléctrica a partir del biogás producido a partir del estiércol porcino de cinco propiedades rurales ubicadas en la ciudad de Medianeira - Paraná, con una piara total de 9250 cerdos en el ciclo de terminación y un consumo diario de 420 kWh/día. En el primer escenario se utilizaron todos los residuos disponibles en las propiedades, un total de 56,43 m<sup>3</sup>/día, y con la ayuda de biodigestores cada granja produjo biogás, un total de 1.326,31 m<sup>3</sup>/día, que fue transportado a través de un biogasoducto hasta la central, generando 2.483,51 kWh/día. En el segundo escenario, todo el estiércol de cada granja se transportaba en camiones cisterna a un único biodigestor, un total de 46,82 m<sup>3</sup>/día, teniendo en cuenta las pérdidas por logística, y de él se aprovechaba la energía, produciendo 1.514,39 m<sup>3</sup>/día de biogás y generando 2.324,50 kWh/día. En el tercer escenario, al igual que en el anterior, el estiércol se condujo en camión cisterna hasta un biodigestor central, pero en este caso sólo se utilizó la cantidad necesaria de cada finca para producir el biogás necesario para generar la energía demandada por las explotaciones. Así, para generar los 420 kWh/día necesarios para satisfacer el consumo de las granjas se utilizó el 20% del estiércol disponible de cada propiedad, lo que supuso un total de 11,29 m<sup>3</sup>/día, generando 224,30 m<sup>3</sup>/día de biogás. El escenario que presentó mayor viabilidad económica para su implantación fue el tercero presentando un VPL de R\$ 289.691,30, una TIR del 32% y un payback de 6 años.

**Palabras clave:** biogás; cría de cerdos; sustentabilidad; energía eléctrica.

## ABSTRACT

The rapid growth of modern society along with economic and agricultural development have made the use of energy indispensable. However, the generation of this energy is generally responsible for strong environmental impacts and damage, especially when the energy comes from fossil fuels, so the search for renewable sources of energy has been driven. An alternative found for energy generation with a reduced environmental impact is the use of biogas from the management of residual biomass generated in the pig production system combined with biodigester systems. However, biogas production on small farms faces challenges due to lack of technical assistance and adoption of appropriate practices. To overcome these difficulties, a viable alternative is the implementation of cooperative agroenergy condominiums. In this context, the present work aims to analyze, considering three scenarios, the technical and economical viability of electric energy generation using biogas produced from swine manure from five rural properties located in the city of Medianeira - Paraná, with a total herd of 9250 swine in the termination cycle and a daily consumption of 420 kWh/day. In the first scenario all the waste available on the properties was used, a total of 56.43 m<sup>3</sup>/day, and with the help of biodigesters each farm produced biogas, a total of 1326.31 m<sup>3</sup>/day, which was transported through a bio-gas pipeline to the power plant, generating 2483.51 kWh/day. In the second scenario, all the manure from each farm was transported by tanker truck to a single biodigester, a total of 46.82 m<sup>3</sup>/day, considering logistical losses, and from this the energy was used, producing 1241.39 m<sup>3</sup>/day of biogas and generating 2324.50 kWh/day. In the third scenario, as in the previous scenario, the manure was conducted by tank truck to a central biodigester, but in this case only the necessary amount from each property was used to produce the biogas required to generate the energy demanded by the farms. Thus, to generate the 420 kWh/day necessary to meet the consumption of the farms 30% of the available manure from each property was used, totaling 11.29 m<sup>3</sup>/day, generating 224.30 m<sup>3</sup>/day of biogas. The scenario that presented the highest economic viability for implementation was the third one, presenting a NPV of R\$ 289,691.30, an IRR of 32 % and payback of 6 years.

**Key words:** biogas; swine farming; sustainability; electricity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira de 2023. ....	27
Figura 2 - Etapas da digestão anaeróbia.....	31
Figura 3 - Número de plantas de biogás em operação no Brasil em 2021.....	34
Figura 4 - Produção de biogás no Brasil em 2021. ....	35
Figura 5 - Formas de uso comercial do biogás em função da concentração de metano. ....	38
Figura 6 - Valor bruto da produção no agronegócio brasileiro em 2020 e 2021 (em R\$ bilhões). ...	41
Figura 7 - Municípios paranaenses com maior VBP. ....	43
Figura 8 - Localização das propriedades.....	47
Figura 9 - Disposição das cinco propriedades. ....	56
Figura 10 - Propriedade A - Galpão de suínos.....	57
Figura 11 - Propriedade A - Lagoa de tratamento. ....	57
Figura 12 - Propriedade B – Galpão dos suínos.....	57
Figura 13 - Propriedade B - Lagoa de tratamento.....	57
Figura 14 - Propriedade C -Galpão dos suínos. ....	58
Figura 15 - Propriedade C - Lagoa de tratamento.....	58
Figura 16 - - Propriedade D - Galpão dos suínos.....	58
Figura 17 - Propriedade D - Lagoa de tratamento. ....	58
Figura 18 - Propriedade E - Galpão de suínos. ....	59
Figura 19 - Propriedade E - Lagoa de tratamento.....	59
Figura 20 - Rota do bio-gasoduto entre as propriedades até a central geradora. ....	64

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Composição do investimento inicial do projeto para o cenário 1 em % .....	67
Gráfico 2 - Composição do investimento inicial do projeto para o cenário 2 em % .....	73
Gráfico 3 - Composição do investimento inicial do projeto para o cenário 3 em % .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do biogás da biodigestão de resíduos da suinocultura .....	32
Tabela 2 - Variação do PCI conforme composição do biogás.....	33
Tabela 3 - Parâmetros utilizados para a determinação da produção de biogás.....	51
Tabela 4 - Quantitativo de suíno em cada propriedade analisada.....	59
Tabela 5 - Consumo anual de energia elétrica de cada propriedade.....	60
Tabela 6 - Produção diária de dejetos de cada propriedade – cenário 1.....	61
Tabela 7 - Produção de biogás diário de cada propriedade – cenário 1.....	62
Tabela 8 - Diâmetro do bio-gasoduto de cada trecho entre as propriedades.....	62
Tabela 9 - Pressão máxima de saída de cada trecho entre as propriedades.....	65
Tabela 10 - Composição do investimento inicial para o cenário 1.....	66
Tabela 11 - Financiamento e prestações (Método SAC) para o cenário 1.....	68
Tabela 12 - Receita anual projetada em 10 anos para o cenário 1.....	69
Tabela 13 - Fluxo de caixa para o cenário 1.....	70
Tabela 14 - Indicadores econômicos do cenário 1.....	70
Tabela 15 - Composição do investimento inicial para o cenário 2.....	73
Tabela 16 - Financiamento e prestações (Método SAC) para o cenário 2.....	74
Tabela 17 - Receita anual projetada em 10 anos para o cenário 2.....	75
Tabela 18 - Fluxo de caixa para o cenário 2.....	76
Tabela 19 - Indicadores econômicos cenário 2.....	76
Tabela 20 - Produção diária de dejetos necessária para o cenário 3 de cada propriedade.....	78
Tabela 21 - Composição do investimento inicial para o cenário 3.....	79
Tabela 22 - Financiamento e prestações (Método SAC) para o cenário 3.....	80
Tabela 23 - Fluxo de caixa para o cenário 3.....	81
Tabela 24 - Indicadores econômicos cenário 3.....	81

**LISTA DE ABREVIACOES**

<b>ABIOGÁS</b>	Associao Brasileira do Biogás
<b>Abracel</b>	Associao Brasileira de Comercializadores de Energia Elétrica
<b>ABSOLAR</b>	Associao Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
<b>ANEEL</b>	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
<b>ANP</b>	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
<b>BB</b>	Banco do Brasil
<b>BNDES</b>	Banco Nacional do Desenvolvimento
<b>CEPEA</b>	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
<b>CIBiogás</b>	Centro Internacional de Energias Renováveis
<b>COPEL</b>	Companhia Paranaense de Energia
<b>CNA</b>	Confederao Nacional da Agricultura
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>EPE</b>	Empresa de Pesquisa Energética
<b>IAP</b>	Instituto Ambiental Paranaense
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IRENA</b>	Agência Internacional para as Energias Renováveis
<b>Mapa</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>PCI</b>	Poder Calorífico Inferior
<b>PCS</b>	Poder Calorífico Superior
<b>PROINFA</b>	Programa de Incentivos para Fontes de Energia Elétrica
<b>SAC</b>	Amortizao Constante

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>18</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>19</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>20</b>
<b>LISTA DE ABREVIACÕES.....</b>	<b>21</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>26</b>
2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	26
2.2 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA .....	27
2.3 BIOGÁS.....	28
2.3.1 Origem do Biogás .....	28
2.3.2 Produção de Biogás e Digestão Anaeróbia .....	30
2.3.3 Panorama do biogás no Brasil.....	33
2.3.4 Biodigestores.....	36
2.3.5 Utilização do Biogás .....	38
2.3.6 Geração de energia elétrica a partir do biogás .....	39
2.3.7 Biofertilizante.....	40
2.4 AGROPECUÁRIA BRASILEIRA .....	41
2.4.1 A importância da suinocultura no Brasil.....	42
2.4.2 Rebanho de suínos no Paraná.....	43
2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA ACERCA DE PROJETOS DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS .....	44
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>46</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	46
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	46
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>47</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO .....	47
4.1.1 Área do estudo .....	47
4.1.2 Plantel de Animais .....	48
4.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....	48
4.3 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS.....	49
4.3.1 Estimativa de produção de dejetos.....	49
4.3.2 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão .....	49
4.3.3 Estimativa de produção de biogás.....	50
4.3.4 Dimensionamento do bio-gasoduto .....	51
4.3.5 Estimativa de produção de energia elétrica e dimensionamento do grupo motogerador	51
4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA .....	53
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>55</b>
5.1 LEVANTAMENTO DO PLANTEL DE SUÍNOS .....	55
5.2 VIABILIDADE DO CENÁRIO 1.....	59
5.2.1 Estimativa de produção de dejetos para o cenário 1 .....	60
5.2.2 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão para o cenário 1.....	61
5.2.3 Estimativa de produção de biogás para o cenário 1 .....	61

5.2.4 Dimensionamento do bio-gasoduto .....	62
5.2.5 Estimativa de produção de energia elétrica e dimensionamento do grupo motogerador para o cenário 1 .....	65
5.2.6 Viabilidade econômica para o cenário 1 .....	66
<b>5.3 VIABILIDADE DO CENÁRIO 2.....</b>	<b>71</b>
5.3.1 Estimativa de produção de dejetos para o cenário 2.....	71
5.3.2 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão para o cenário 2.....	71
5.3.3 Estimativa de produção de biogás para o cenário 2.....	71
5.3.4 Estimativa de produção de energia elétrica para o cenário 2.....	72
5.3.5 Viabilidade econômica para o cenário 2.....	72
<b>5.4 VIABILIDADE DO CENÁRIO 3.....</b>	<b>77</b>
5.4.1 Estimativa do potencial elétrico da planta de geração (POT) para o cenário 3 .....	77
5.4.2 Estimativa do potencial teórico de produção de eletricidade (PTE) para o cenário .....	77
5.4.3 Estimativa de produção de biogás para o cenário 3 .....	77
5.4.4 Estimativa de produção de dejetos para o cenário 3.....	77
5.4.5 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão para o cenário 3.....	78
5.4.6 Viabilidade econômica para o cenário 3 .....	78
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço das práticas agrícolas e industriais, juntamente com o crescimento populacional resultou em uma maior demanda por energia, com impacto direto sobre o meio ambiente. Assim, a preocupação em atender à demanda energética nas diversas áreas, causando o mínimo de impacto ambiental e social, torna crescente a busca e exploração de fontes de energia renováveis.

A capacidade de geração de energia está diretamente relacionada ao aumento da produção no agronegócio. Na pecuária, a suinocultura se destaca pelo aperfeiçoamento contínuo, tornando-se uma indústria competitiva no mercado nacional e internacional (SILVA *et al.*, 2017).

Mas por outra via os resíduos gerados em grande volume, típicos da suinocultura, causam uma preocupação ambiental pois podem ocasionar contaminação do solo e das águas. Uma das alternativas mais promissoras para o aproveitamento desta biomassa é a produção de biogás. O interesse nesta fonte tem crescido, devido às possibilidades energéticas do biogás, que pode ser convertido na geração de energia elétrica, térmica e veicular (LEÓN & MARTÍN, 2016).

Uma pesquisa recente mostrou que a produção de biogás brasileira em 2021 cresceu 10% em relação a 2020, alcançando uma produção de 2,3 bilhões de metros cúbicos (CIBIOGÁS, 2022). No Oeste do Paraná o potencial de produção de biogás é de mais de 18 milhões de metros cúbicos por ano (POD, 2017).

Isso se permitiu, pois, uma série de ações públicas e privadas voltadas para a produção de energia no âmbito do agronegócio brasileiro está em andamento, com o objetivo de aproveitar o potencial energético dos resíduos orgânicos agrícolas, especialmente os dejetos de animais, para a produção de biogás na agricultura familiar rural (CIBIOGÁS, 2020).

A agricultura familiar constitui 77,4% (3,9 milhões) dos estabelecimentos agropecuários no Brasil (IBGE, 2017). No Paraná 85% das propriedades rurais, um total de 259.250 mil propriedades são constituintes da agricultura familiar (CASTANHO, 2021).

Contudo, estas pequenas propriedades apresentam limitações na produção de biogás, devido à falta de assistência técnica, manuseio inadequado de biodigestores e uso do biogás, ocasionando vazamento de metano e impactos ambientais negativos (BRUUN *et al.*, 2014). Tais dificuldades poderiam ser mitigadas com o aumento da escala de produção e inovações tecnológicas implementadas em condomínios cooperativos de agroenergia (PORTO *et al.*, 2021). Os condomínios agroenergéticos são arranjos empresariais coletivos instituídos para trazer economia de escala e viabilizar a produção de energia em pequenas e médias organizações rurais (PORTO *et al.*, 2021).

No Brasil, várias disposições legais foram criadas nos últimos anos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para incentivar esta prática. Entre os dispositivos criados está a REN nº 482/2012 (ANEEL, 2012) que entrou em vigor em 17 de abril de 2012 e foi posteriormente modificada pela REN 687/2015 (ANEEL, 2015). Desde a publicação desta resolução, o consumidor brasileiro poderá não só gerar eletricidade para consumo próprio a partir de fontes renováveis, mas também pode fornecer o excedente para outros consumidores (ANEEL,2012; ANEEL,2015).

Além disso, há a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Dentro desta configuração a energia gerada pode ser dividida entre os condôminos em percentuais definidos pelos próprios consumidores. Outra modalidade criada foi a geração compartilhada que permite às partes interessadas a aderir a um consórcio ou cooperativa que aderem à geração distribuída e usam esta energia gerada para reduzir suas contas de energia elétrica (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

Neste seguimento, o presente trabalho tem o objetivo de analisar por meio de um estudo de viabilidade técnica e econômica três cenários para a implantação de um condomínio de geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da biomassa residual de cinco granjas de suínos localizadas no município de Medianeira no estado do Paraná.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

Desde o início dos tempos os seres humanos extraíram da natureza os recursos necessários para saciar todas as suas necessidades ou realizar suas atividades, sem considerar que a natureza é uma fonte finita de recursos. Neste sentido, a realidade que nossa sociedade está vivenciando é de grandes desafios relacionados a sua própria sustentabilidade.

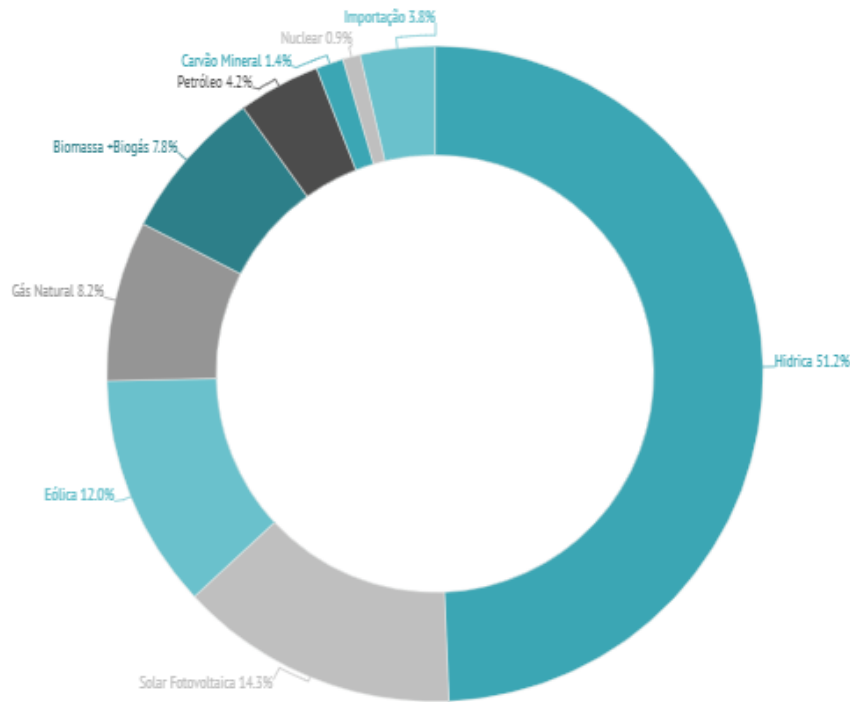
Para tentar contornar esta situação surge a necessidade de atender à demanda energética nas diversas áreas, causando o mínimo de impacto ambiental e/ou social, tornando necessária a busca e exploração de fontes energéticas renováveis.

Nas últimas duas décadas, a representação da energia renovável na matriz energética global vivenciou um crescimento significativo. Em 2021 as energias renováveis experimentaram mais um ano recorde, 12,6% da capacidade de geração de energia global veio por meio de fontes renováveis, apesar das oscilações secundárias da pandemia e do aumento dos preços globais das commodities que perturbaram as cadeias de fornecimento de energias renováveis e atrasaram projetos. A Islândia é o país dominador, com a maior produção de energia limpa por pessoa, quase 100% da energia do país provém de fontes renováveis (REN21, 2023).

O Brasil, apresenta uma matriz elétrica predominantemente de fontes renováveis, segundo dados da ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) de 2023, como mostra a figura 1, 51,2% da eletricidade gerada provem de fontes hídricas, seguido da fonte solar com 14,3%, eólica com 12,0% e biomassa e biogás representando juntos 7,8%. No cenário atual, a vulnerabilidade da matriz energética brasileira, considerando sua dependência pela energia vinda de hidrelétricas, estas que são dependentes dos regimes de chuvas, pode comprometer a segurança energética do país (EPE, 2021).

Para evitar este tipo de problema e não causar prejuízos no fornecimento de energia elétrica, em 2001 o governo brasileiro implantou o Programa de Incentivos para Fontes de Energia Elétrica (PROINFA) que estimula estabelecer mecanismos legais de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, que são eólicas, solar, biomassa e hidrelétrica em pequena escala (FREITAS *et al.*, 2019).

Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira de 2023.



Fonte: Adaptado de ABSOLAR, 2023.

Embora todas as fontes alternativas utilizadas no Brasil desempenhem um papel significativo, o interesse deste estudo é a biomassa, especialmente para a produção de biogás para a geração de energia elétrica. De acordo com o relatório da Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA), a eletrificação do consumo final global de energia deverá aumentar significativamente de 21% em 2018 para mais de 50% em 2050; assim, em comparação com 2018, a demanda global de eletricidade dobrará até 2050 (IRENA, 2021).

Segundo estimativa da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) o potencial teórico de produção de biogás brasileiro é de 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano, o que seria suficiente para suprir 40% da demanda interna de energia elétrica e 70% do consumo de diesel (ABIOGÁS, 2021).

## 2.2 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

A biomassa é a quantidade total de matéria orgânica acumulada em um determinado espaço, ou seja, são todas as plantas e animais, incluindo os seus resíduos e as matérias orgânicas transformadas nas indústrias alimentícias e indústrias de madeira. Os resíduos de animais são considerados fonte potencial de energia disponível além de serem extremamente poluentes ao meio ambiente quando não manejados corretamente (AVACI *et al.*, 2013).

Para Schuch (2012), a biomassa residual animal quando tratada adequadamente, reduz a dependência de fontes externas de energia. Neste mesmo sentido, as tecnologias mais promissoras referentes ao aproveitamento da biomassa residual animal para a geração de energia, propiciando um uso mais racional dos recursos disponíveis na exploração agrícola, reduz a transferência de renda para outros agentes e diminui o consumo de energia de fontes externas (ESPERANCINI *et al.*, 2007).

A utilização dos resíduos de animais pode proporcionar o desenvolvimento de alternativas ambientalmente e economicamente sustentáveis com oportunidades de negócio e renda para as propriedades rurais, tanto de forma individualizada quanto coletiva com a associação de diversos imóveis rurais vizinhos entre si, em condomínios de geração de agroenergias (SCHUCH, 2012).

De acordo com Pereira *et al.*, (2008), a biomassa residual animal tem maior importância na suinocultura, visto que o adensamento e confinamento animal ocorre com mais frequência nesse ramo de atividade, pois ela tem contribuído de maneira equilibrada na balança comercial brasileira. Neste contexto, surge a oportunidade de utilização do biogás para obtenção de energia, transformando um passivo ambiental em um ativo econômico e social, atendendo às expectativas do desenvolvimento sustentável com foco na eficiência e na segurança energética, o qual é o elemento mais importante do sistema.

O método de utilização do biogás é bem versátil, sendo possível aproveitá-lo para a produção de calor, para a geração de energia elétrica e também para a cogeração dessas duas formas de energia (UDDIN *et al.* 2016). Essa multifuncionalidade do uso do biogás ocorre devido ao aprimoramento do processo até o produto final que é o biometano, que pode ser direcionado para redes de gás natural e também como combustível.

De acordo com Chen *et al.*, (2016), a produção de biogás a partir da biomassa permite que o mesmo seja utilizado como biocombustível em substituição às fontes convencionais de combustíveis fósseis utilizados para geração de energia, além disso, quando comparado a combustíveis de fontes não renováveis, tais como o diesel e a gasolina, apresenta um valor de mercado atraente.

## 2.3 BIOGÁS

### 2.3.1 Origem do Biogás

O primeiro pesquisador a observar que a decomposição de matéria orgânica nos pântanos gerava um gás, que inicialmente foi chamado de gás dos pântanos, foi Thomas Shirley em 1667 no Reino Unido. Mas foi depois de um século que o pesquisador Alessandro Volta descobriu a

presença de metano (CH<sub>4</sub>) no gás dos pântanos (CIBIOGÁS, 2018).

No século XIX, na Índia foi realizada a primeira experiência de utilização direta do biogás, sendo usado como gás combustível em um hospital hanseniano no ano de 1859 (CASTANHO e ARRUDA, 2008). Nesta mesma época, o cientista Louis Pasteur juntamente com seu aluno Ulysse Gayon, realizaram a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, obtendo 100 litros de gás por m<sup>3</sup> de matéria. Esta pesquisa foi apresentada para a Academia das Ciências, considerando que a fermentação poderia compor uma fonte de aquecimento e iluminação, assim difundindo esta experiência por toda a Europa (CIBIOGÁS, 2018).

Já na II Guerra Mundial, impulsionados pela crise energética italianos e alemães, entre os povos mais atingidos pela devastação dos conflitos, desenvolveram técnicas para obter biogás de dejetos e restos de culturas (COSTA e KUNZ, 2006). Nas décadas de 50 e 60, com a abundância das fontes energéticas tradicionais como petróleo, gás natural, hídrica e principalmente carvão mineral, a utilização do biogás diminuiu na maioria dos países desenvolvidos.

No entanto, na Índia e na China, o biogás desempenhou um papel de certa importância, sobretudo em pequenas comunidades rurais que possuíam poucos recursos energéticos. Em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, desenvolveu a primeira usina a partir de biodigestores com gás de esterco, o que foi um grande sucesso impulsionando a criação do Gobar Gás Institute no ano de 1950 (ROSILLO-CALLE, 2000). Com este trabalho pioneiro realizado na região oriental, quando a crise energética se estabeleceu nos anos de 1970 nos países do oriente, o gás metano dos digestores anaeróbios voltaram a despertar interesse e a serem utilizados amplamente, tanto por países desenvolvidos como países em desenvolvimento (CIBIOGÁS, 2018).

Nos últimos anos o biogás não é mais encarado apenas como um subproduto obtido a partir de decomposição anaeróbia, mas se tornou alvo de intensas pesquisas que são impulsionadas pelo aquecimento da economia e pela elevação acentuada do preço dos combustíveis fósseis, no intuito de criar novas formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais não renováveis (COSTA e KUNZ, 2006).

No Brasil o uso de combustíveis renováveis, entre eles o biogás, foi impulsionado devido à elaboração do RenovaBio, criado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O programa objetiva a produção sustentável de biocombustíveis no Brasil, e pressupõe que o aumento da produção está vinculado às premissas de um mercado competitivo com empresas em equilíbrio econômico e financeiro (MILANEZ *et al.*, 2018).

### 2.3.2 Produção de Biogás e Digestão Anaeróbia

Nos últimos anos, com o aumento do preço dos combustíveis fósseis, o biogás tem se tornado uma alternativa entre as energias renováveis. Cada dia mais países vêm criando leis de energias renováveis que incentivam os agricultores à utilização de biodigestores anaeróbios (BRAMBILLA *et al.*, 2012).

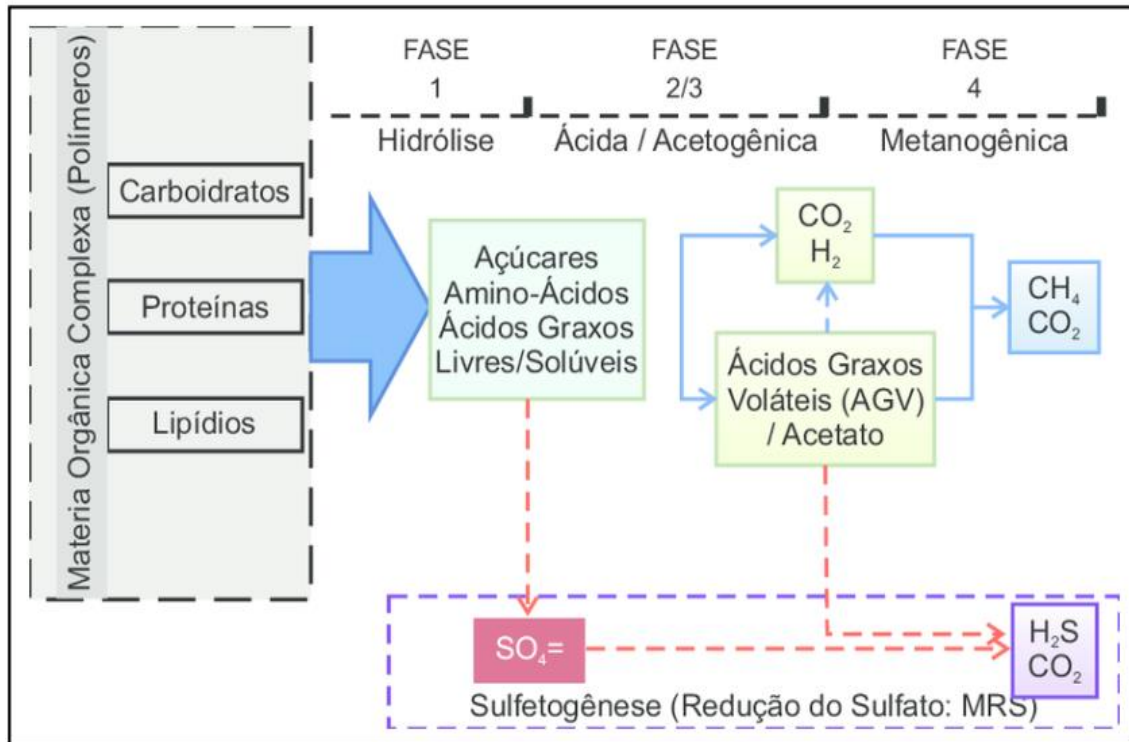
O biogás é um produto gasoso resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, a partir da biomassa animal e vegetal (GONZALEZ *et al.*, 2009). De acordo com Chernicharo (2019), a digestão anaeróbia representa um sistema balanceado, envolvendo processos metabólicos complexos e, pela ação de diversos microrganismos, há a conversão da matéria orgânica em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, além de outros gases. Destaca-se ainda alguns aspectos desse sistema, que são a baixa produção de sólidos, o baixo consumo de energia, a tolerância a elevadas cargas orgânicas e a operação com elevados tempos de retenção de sólidos e baixos tempo de retenção hidráulica.

O mecanismo de decomposição anaeróbia é complexo, tanto pelo número de reações bioquímicas, quanto pela quantidade de micro-organismos envolvidos, dividindo-se em quatro principais etapas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese, descritas continuamente (CIBIOGÁS, 2018). Um esquema sobre o processo encontra-se na Figura 2.

- Hidrólise: nesta primeira etapa, os componentes químicos mais complexos (polímeros) presentes nos substratos são degradados em meio aquoso e convertidos em moléculas menores (monômeros), que são então consumidos durante as etapas que vão seguir. O tempo de duração da hidrólise pode ser de poucas horas para os carboidratos e alguns dias para as proteínas e lipídeos.
- Acidogênese: Os monômeros formados na etapa anterior, como açúcares simples, os aminoácidos e os ácidos graxos de cadeia curta são solúveis em água e, portanto, podem ser absorvidos por bactérias anaeróbias e facultativas por meio de diversos processos fermentativos. Ao final desta segunda etapa são gerados principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), álcoois e ácidos orgânicos. Os compostos orgânicos nitrogenados e compostos orgânicos sulfurados também são formados nesta etapa devido à degradação de aminoácidos e proteínas.
- Acetogênese: Nesta etapa a maioria dos ácidos e álcoois, como ácido butírico, ácido propiônico e etanol, por exemplo, produzidos durante a acidogênese são degradados em acetato, que pode ser utilizado como substrato para as arqueas metanogênicas.
- Metanogênese: Nesta última etapa o metano é formado principalmente a partir do acetato, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> por bactérias estritamente anaeróbias. Desta

forma, todos os produtos da fermentação devem ser convertidos em compostos que podem ser utilizados pelas metanogênicas.

Figura 2 - Etapas da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Strapasson et al., 2014.

A mistura gasosa formada no final do processo caracterizado anteriormente, é composta principalmente de metano e dióxido de carbono, com composição típica de 60% e 40% em volume, respectivamente. O biogás contém ainda pequenas quantidades de hidrogênio, gás sulfídrico, oxigênio, amônia e nitrogênio, entretanto, é difícil definir com precisão sua composição, pois essa depende das características da biomassa residual, temperatura, umidade, acidez, ausência de oxigênio, critérios de fermentação e do tipo de biodigestor e sua operação (MONTROYA *et al.*, 2013). A Tabela 1, mostra a composição do biogás segundo diversos autores, da biodigestão de resíduos da suinocultura.

Tabela 1 - Composição do biogás da biodigestão de resíduos da suinocultura

Parâmetros	Autores		
	Gusmão (2008)	Dal Mago (2009)	ITAI (2012)
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	50 – 72%	23 – 70%	60 – 67%
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	26 – 52%	39 – 75%	31 – 38%
<b>Oxigênio (O<sub>2</sub>)</b>	0,23 – 0,97%	0,43 – 1,99%	0,3 – 1,2%
<b>Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S)</b>	>0,1%	>0,1%	0,08 – 0,4%
<b>Gás Hidrogênio (H<sub>2</sub>)</b>	-	-	1.700 – 1.800 ppm

Fonte: a autora, 2022.

Entre os principais contaminantes que afetam o potencial energético do biogás, destacam-se a umidade, sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a amônia (NH<sub>3</sub>). O biogás apresenta umidade (água) em sua composição, em concentração média de 6% quando a 40°C, quando não removida a água pode acumular nos dutos via processo de condensação, resultando em problemas de corrosão ou entupimento em caso de congelamento (AMARAL, STEINMETZ e KUNZ, 2019). Apesar de ser um gás inflamável que contribui no potencial energético do biogás, a presença de H<sub>2</sub>S causa corrosão nos tanques de armazenamento, tubulações metálicas e motores a combustão, resultando na deterioração da infraestrutura de produção de biogás (GARCIA-ARRIAGA *et al.*, 2010). A presença de CO<sub>2</sub> interfere diretamente no potencial energético do biogás por ser inerte em termo de combustão e ocupar volume. (AMARAL, STEINMETZ e KUNZ, 2019). A amônia (NH<sub>3</sub>) também é outro contaminante comum no biogás originado a partir de resíduos agrícolas, apresentando propriedades corrosivas e tóxicas.

Quando a digestão anaeróbia com resíduos da suinocultura é realizada em biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível, além de ter um alto poder calorífico, de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como produto um lodo que é um excelente biofertilizante (PECORA, 2006).

O poder calorífico do biogás é menor quanto maiores forem as proporções de contaminantes na mistura que o compõem. Em linhas gerais, o poder calorífico inferior (PCI) é aproximadamente 5.000 kcal/m<sup>3</sup> a 60% de metano e 40% de dióxido de carbono (COSTA, 2006). Na Tabela 2, é apresentado o poder calorífico inferior com diferentes concentrações de metano no biogás.

Tabela 2 - Variação do PCI conforme composição do biogás.

<b>Composição química do biogás</b>	<b>PCI (kcal/Nm<sup>3</sup>)</b>
<b>40% CH<sub>4</sub>, 60% CO<sub>2</sub></b>	3430
<b>50% CH<sub>4</sub>, 50% CO<sub>2</sub></b>	4290
<b>60% CH<sub>4</sub>, 40% CO<sub>2</sub></b>	5145
<b>65% CH<sub>4</sub>, 35% CO<sub>2</sub></b>	5575
<b>70% CH<sub>4</sub>, 30% CO<sub>2</sub></b>	6000
<b>75% CH<sub>4</sub>, 25% CO<sub>2</sub></b>	6430
<b>99% CH<sub>4</sub>, 1% CO<sub>2</sub></b>	8500

Fonte: Adaptado de Mitzlaf (1988), Çengel e Boles (2013).

### 2.3.3 Panorama do biogás no Brasil

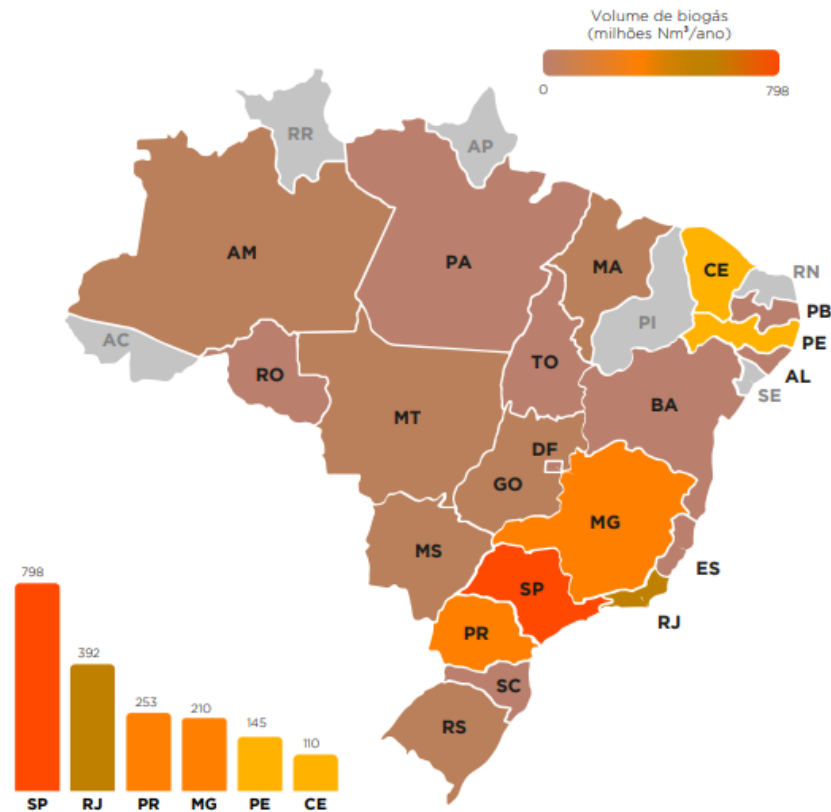
O uso energético do biogás vem sendo realizado há pelo menos 40 anos no Brasil, quando foi iniciado e integrado no modelo da “revolução verde” nos anos 70. Na última década, o biogás tem sido utilizado como fonte de energia nacional, principalmente devido ao incentivo do mercado de créditos de carbono, que busca a redução das emissões do metano – componente do biogás contribuinte do efeito estufa (SILVA e MEZZANI, 2022).

Segundo dados levantados pelo CIBiogás (2022), houve um aumento de 16% no número de plantas de biogás em operação e 10% no volume de biogás produzido em 2021, em comparação ao ano anterior. O Brasil possui 811 plantas de biogás, destas 755 plantas estão em operação produzindo 2,3 bilhões Nm<sup>3</sup>/ano de biogás, porém o potencial teórico de produção de biogás brasileiro é de 84,6 bilhões Nm<sup>3</sup>/ano, ou seja, apenas 3% do potencial é realmente explorado (ABIOGÁS, 2021). Os cinco estados que contaram com o maior número de plantas de biogás, em operação, em 2021 foram: Minas Gerais, Paraná, Goiás, Santa Catarina e Mato Grosso, como é apresentado na Figura 3.





Figura 4 - Produção de biogás no Brasil em 2021.



Fonte: CIBiogás, 2022.

São Paulo mantém a frente dos demais estados com mais que o dobro da produção do Rio de Janeiro, que ocupa a segunda posição no ranking. Isso se justifica devido a São Paulo possuir um número maior de unidades de grande porte, que aproveitam, principalmente, resíduos da indústria e do setor de saneamento. Em termos de número de plantas, o estado conta com 60 unidades em operação (8%) e contribui para a produção de 34% do volume de biogás do país, que equivalem 798 milhões de metros cúbicos por ano (CIBIOGÁS, 2022).

Rio de Janeiro, com apenas 10 plantas em operação, foi responsável por 17% do biogás produzido em 2021, a maior parcela das plantas do estado, 90%, estão instaladas no setor de saneamento, sendo grandes plantas de produção de biometano e usinas de geração de energia elétrica. Pernambuco também se destaca, gerando energia a partir de 145 milhões de metros cúbicos por ano, provenientes de seis plantas de biogás instaladas no setor de saneamento. No Ceará, há três plantas de biogás que contribuem para a produção de 110 milhões Nm<sup>3</sup>/ano (CIBIOGÁS, 2022).

Em 2021, o setor agropecuário foi responsável por 80% das plantas de biogás em operação no país. Enquanto o setor industrial e o setor de saneamento contribuíram em 11% e 9%, respectivamente, no número de plantas. Quanto ao volume de biogás, o setor de saneamento foi

responsável por 74% do volume total produzido, seguido pelos setores industrial (16%) e agropecuário (10%) (CIBIOGÁS, 2022).

#### 2.3.4 Biodigestores

A biodigestão anaeróbia por meio de biodigestores é considerada uma alternativa para viabilizar e motivar investimentos nas áreas rurais principalmente para a geração de biogás (SCHUCH, 2012). Podemos definir os biodigestores anaeróbios como uma câmara fechada, no interior da qual dejetos de animais ou outros resíduos são fermentados anaerobiamente por bactérias, sem a presença de ar, que por sua vez pode chegar a reduzir a carga orgânica em 87%, podendo atingir até 96%, quando auxiliado por agentes biorremediadores, além de liberar o biogás e produzir insumos orgânicos, como o biofertilizante (GASPAR, 2003).

Os biodigestores podem ser classificados segundo o seu regime de alimentação e por sua tecnologia. As características do substrato definem o regime de alimentação de uma planta de biogás, tendo assim, impacto na escolha do tipo de tecnologia e na produção de biogás (CIBIOGÁS, 2018). Conforme o regime de alimentação, os biodigestores podem ser classificados de acordo com os seguintes tipos:

- a) **Contínuo:** Neste sistema, a alimentação do biodigestor é ininterrupta, sendo a vazão de entrada igual a vazão de saída. Esse tipo de fluxo é utilizado principalmente para biodigestores que realizam o tratamento de esgotos industriais e urbanos.
- b) **Semicontínuo:** A alimentação é feita uma vez até completar o tempo de retenção hidráulica, posteriormente são adicionadas novas cargas, onde o digestato é descarregado regularmente na mesma quantidade de substrato inserido. Este processo é mais usual em pequenas escalas, como em áreas rurais.
- c) **Batelada:** Conhecido também como descontínuo, esses biodigestores trabalham com ciclos de alimentação, digestão e descarte. São alimentados uma única vez até se findar a biodigestão. Após, são esvaziados e alimentados novamente, iniciando um novo processo de fermentação. Esse regime é utilizado quando a concentração de sólidos no substrato é mais elevada, por exemplo: biodigestão de resíduos da avicultura ou de resíduos sólidos urbanos.

Os biodigestores variam de acordo com sua complexidade e utilização. Os modelos de biodigestores mais utilizados são:

- a) **Biodigestor modelo indiano:** este modelo de biodigestor é enterrado e vertical, possuem uma campânula móvel como gasômetro, e uma parede

central, que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. O gasômetro, que fica na parte superior do biodigestor, flutua conforme a produção e consumo do biogás (STRAPASSON *et al.*, 2014). Este tipo de biodigestor é muito utilizado para aplicações domésticas por ser de baixo custo de construção e operação, principalmente em pequenas propriedades rurais (CIBIOGÁS, 2017).

b) Biodigestor chinês: este modelo é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria, para fermentação, com teto servindo para o armazenamento do biogás produzido, ou seja, um gasômetro impermeável e fixo (HERRERO, 2018). Como neste tipo de digestores não há gasômetro, o biogás é armazenado dentro do sistema, funcionando com base no princípio de prensa hidráulica (CIBIOGÁS, 2018). Também possui uma relação custo-benefício atrativa, e semelhante ao modelo indiano.

c) Biodigestor canadense (lagoa coberta): Neste modelo, o regime de alimentação é contínuo. Ele é construído com geometria piramidal, escavado no solo é impermeabilizado em alvenaria ou com material geossintético, com as aberturas para a entrada do substrato e saída do digestato (TORRES *et al.*, 2012). Este modelo tem sido amplamente empregado no meio rural no gerenciamento dos efluentes de produção animal. É considerado de baixo nível tecnológico, com facilidade de construção e operação (AMARAL, STEINMETZ e KUNZ, 2019).

d) Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB): este modelo apresenta baixo tempo de retenção hidráulica, mecanismos de retenção de sólidos, capacidade de suportar altas cargas volumétricas, além de ser compacto. É indicado para tratamento de uma variedade de águas residuais, do qual incluem as águas residuais das indústrias, doméstica, agroindústria, entre outros (PRADO *et al.*, 2010).

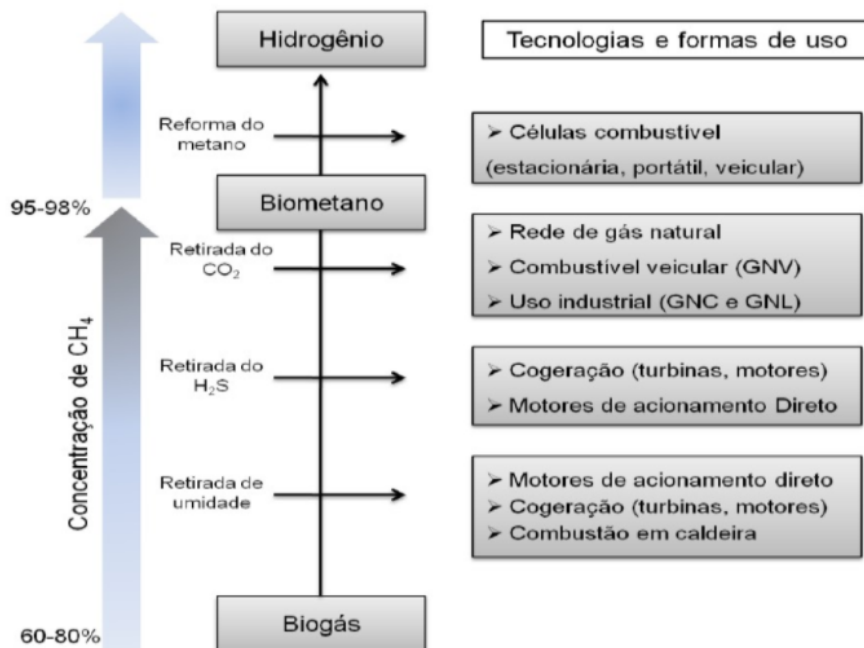
e) Biodigestor de mistura contínua (CSTR): este modelo utiliza um alto nível de tecnologia para geração de biogás, controlando de maneira bastante confiável todo o processo de biodigestão (temperatura, agitação, entre outros) (CIBIOGÁS, 2018). Ele é construído de concreto reforçado, com sistema de aquecimento no interior e exterior das paredes e no chão. Possui também isolamento ao redor das paredes e debaixo do piso, garantindo perda mínima de calor e assim provimento a máxima eficiência em todo o processo (BMELV, 2010).

### 2.3.5 Utilização do Biogás

A utilização do biogás como vetor energético é recomendável do ponto de vista ambiental e econômico. O potencial energético do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano presente. Seu poder calorífico superior (PCS) é de 13.270,14 kcal kg<sup>-1</sup>, o que corresponde a um poder calorífico inferior (PCI) de 11.959,39 kcal kg<sup>-1</sup> (SCHLEY *et al.*, 2010).

Atualmente, os processos de tratamento e purificação do biogás tem como princípio: o ajuste do valor calorífico e a remoção de contaminantes que afetam a qualidade do biogás e a vida útil dos componentes do sistema; e a purificação do biogás e a concentração do biometano para sua inserção em linhas de distribuição e transporte de biogás (AMARAL, STEINMETZ e KUNZ, 2019). Logo, cada componente separado poderá então ser utilizado para diferentes fins (PORTAL DO BIOGÁS, 2016), como mostra a Figura 5. Após o tratamento, o biogás pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, produção de calor ou energia térmica, energia mecânica, biometano, CO<sub>2</sub> e hidrogênio.

Figura 5 - Formas de uso comercial do biogás em função da concentração de metano.



Fonte: Adaptado de Portal do Biogás, 2016.

A decisão sobre qual será a aplicabilidade empregada para o biogás é precedida por uma análise das demandas energéticas da planta e do entorno, considerando os dados sobre que tipo de energia é consumida, a quantidade, o custo e a demanda. Assim, é possível decidir qual será o melhor arranjo técnico para o aproveitamento energético do biogás (CIBIOGÁS, 2018).

À vista disso, a utilização do biogás como fonte alternativa de energia é de grande relevância, pois trata-se de uma fonte renovável que gera menos poluentes atmosféricos comparando com os demais combustíveis usuais, porém, sua aplicação encontra alguns obstáculos referentes à medição de suas características, como o poder calorífico, vazão e seus componentes, além da necessidade de sua purificação para determinados usos (OKAMURA, 2013).

### 2.3.6 Geração de energia elétrica a partir do biogás

Há várias formas disponíveis para gerar energia elétrica a partir do biogás, atualmente, existem dois tipos de tecnologia no mercado brasileiro que são amplamente utilizadas: microturbinas e grupo motogerador (GMG).

As microturbinas possibilitam a geração de energia elétrica a biogás a partir do mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás e apresentam potências disponíveis no mercado que podem variar de 30 a 1.000 kW. Estes equipamentos baseiam-se no ciclo Brayton para geração de energia mecânica a partir de um compressor, uma câmara de combustão interna e uma turbina de expansão. Ao acoplar o eixo da turbina no gerador ocorre a conversão da energia mecânica em energia elétrica (UNIDO e CIBIOGÁS, 2022).

Essa tecnologia opera com elevada velocidade de rotação, visto que o biogás de exaustão é utilizado para pré-aquecimento do ar de combustão interna, o que aumenta a eficiência global do sistema. A disponibilidade de microturbinas de pequeno porte proporciona uma maior flexibilidade operacional, e, conseqüentemente, possibilita a geração de energia elétrica local também em plantas menores. Apesar desta flexibilidade, elevada eficiência e baixa manutenção, esta tecnologia ainda é pouco utilizada no país devido ao elevado custo de implantação e manutenção, quando comparado aos custos para implantação de grupo motogeradores (UNIDO e CIBIOGÁS, 2022).

Os grupos motogeradores a biogás são equipamentos que operam pelo princípio de funcionamento dos motores de combustão interna (MCI) acoplados a alternadores que possibilitam a geração de energia elétrica. Os motores de combustão interna são máquinas térmicas cujo produto da combustão é o próprio trabalho. Sua finalidade é converter energia calorífica em energia mecânica por meio da queima do biogás (UNIDO e CIBIOGÁS, 2022).

Os motores de combustão interna para biogás operam por meio do ciclo Otto, e por isso são conhecidos como motores de ignição por centelha. Isso porque, a energia mecânica gerada por eles parte da combustão pela queima do combustível que, por sua vez, ocorre por meio de uma centelha na câmara de combustão. No mercado, existem diferentes potências de grupos motogeradores disponíveis, variando de 10 a 1.400 kW (incluindo tecnologia nacional e importada).

Esses equipamentos caracterizam-se por apresentar rápida partida, operação estável e elevado potencial de recuperação de calor. A quantidade de manutenções necessárias para sua operação pode ser maior quando comparada às microturbinas, porém os custos referentes à implantação, operação e manutenção são menores (UNIDO e CIBIOGÁS, 2022).

### 2.3.7 Biofertilizante

O biofertilizante é considerado uma mistura composta por diversos microorganismos vivos (MAHMUD *et al.*, 2021) que podem facilmente converter material orgânico complexo em compostos mais simples e de fácil absorção, sendo mutuamente benéfico para raízes e plantas (SNESHA *et al.*, 2018).

Atualmente, os biofertilizantes são a única alternativa econômica de agroquímicos disponível. Com o uso de biofertilizantes, os efeitos danosos irreparáveis dos agroquímicos ao meio ambiente podem ser evitados. No entanto, é necessária maior conscientização dos agricultores para o manejo adequado e uso eficaz dos biofertilizantes. Os biofertilizantes também apresentam amplo escopo de modular o crescimento de suas plantas e atividades de promoção da saúde por meio da aplicação de manipulações genéticas adequadas. Aplicações de biofertilizantes com os devidos cuidados, portanto, têm uso significativo para práticas agrícolas sustentáveis em um futuro próximo (BHATTACHARYYA *et al.*, 2020).

O biofertilizante pode ser utilizado para substituir parcial ou totalmente os adubos químicos convencionais e tem alcançado bons resultados quando aplicado em pastagens (LEE *et al.*, 2021; MACIEL *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2019; PINHEIRO *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2014). Contudo, é importante salientar que no Brasil ainda não há uma legislação que regulamenta a aplicação de biofertilizantes proveniente de dejetos de animais sem tratamento adequado de higienização, sendo desaconselhável sua aplicação no cultivo de hortaliças que são ingeridas cruas.

O uso do biofertilizantes, desta forma, melhora a produtividade por área em um tempo relativamente curto, consome menor quantidade de energia, reduz a contaminação do solo e da água, aumenta a fertilidade do solo, estimula o antagonismo e o controle biológico de organismos fitopatogênicos (SNESHA *et al.*, 2018).

O biofertilizante de dejetos de suínos pode ser usado na fertilização das lavouras sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação considerando a composição química dos dejetos, a área a ser utilizada, a fertilidade e tipo de solo e as exigências da cultura implantada (CERVI, 2009).

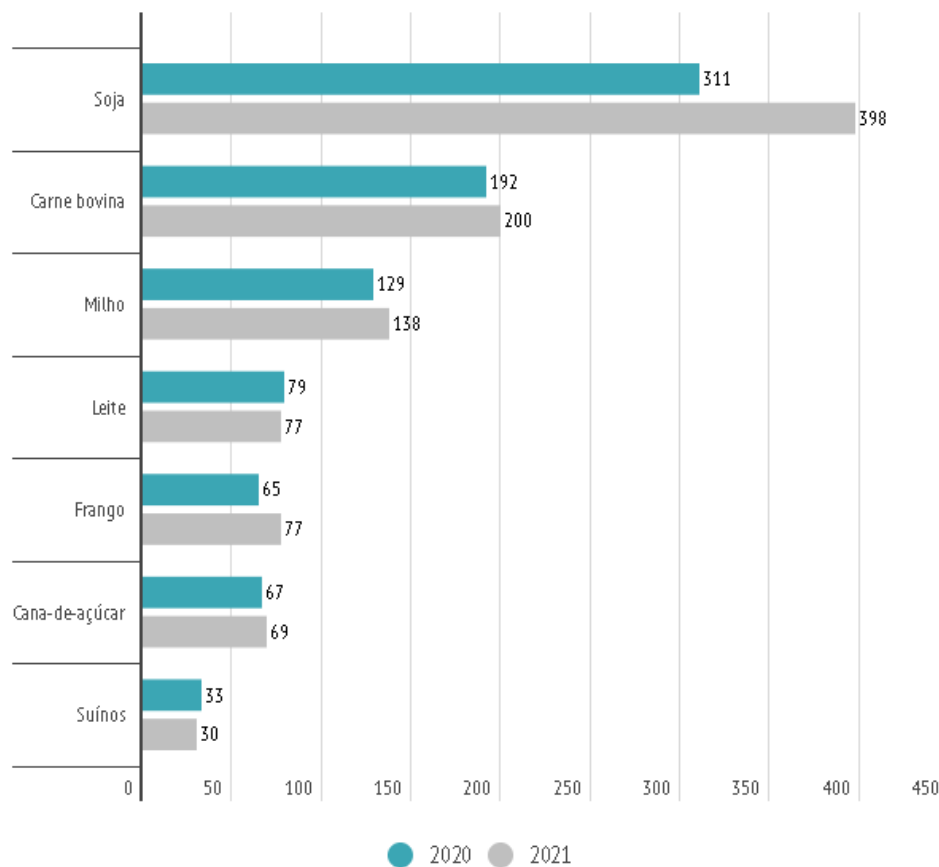
## 2.4 AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

O agronegócio é composto por setores de produção primária, como agricultura e pecuária, que fornecem matéria-prima para a indústria de transformação e commodities (LERMEN *et al.*, 2018). No Brasil, o agronegócio representa cerca de 16% da produção industrial, em 2020 representou 27% do PIB nacional, segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA, em parceria com a Confederação Nacional da Agricultura - CNA.

O setor agroindustrial que mais movimentava as exportações no Brasil é o de origem animal, o que tem colocado o país como um dos maiores exportadores mundiais de carnes (bovina, suína e de aves), com um saldo anual de exportação em 2019 de 655.000 toneladas (CONAB, 2019). Para um abate anual de 32,44 milhões de cabeças de bovinos; 46,33 milhões de cabeças de suínos e 5,81 bilhões de cabeças de aves (IBGE, 2019).

Em 2020 e 2021 o valor bruto de produção do grão de soja é o destaque no agronegócio brasileiro, seguido pela produção de carne bovina, milho, leite, frango, cana-de-açúcar e em sétimo lugar a produção de suínos (CNA, 2021), como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Valor bruto da produção no agronegócio brasileiro em 2020 e 2021 (em R\$ bilhões).



Fonte: Adaptado de CNA, 2021.



Atualmente, o Brasil é o quarto maior exportador mundial de produtos agropecuários, aproximadamente USD 100,7 bilhões, atrás apenas da União Europeia, EUA e China. A nível mundial, o país é hoje o maior exportador de açúcar, café, suco de laranja, soja em grãos, carne bovina e de frango; o terceiro maior de milho e o quarto maior de carne suína (CNA, 2021).

#### 2.4.1 A importância da suinocultura no Brasil

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019), a carne suína é a fonte de proteína animal mais consumida em todo o mundo e no Brasil não é diferente. A suinocultura é uma atividade importante para a economia brasileira, gerando empregos e divisas para o país. Esta atividade gera renda para pequenos, médios e grandes produtores em diversas regiões do país, porém a suinocultura não envolve apenas a criação de suínos, mas também a produção de ração, o abate, o processamento de carne e a distribuição para o mercado interno e externo.

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de carne suína e conta com o sistema de produção animal confinado como principal estratégia de produção para atender a demanda do mercado (USDA, 2021). Isso se deve ao aumento do consumo da carne em 58% nas últimas duas décadas, que não só contribuiu para a expansão do mercado de exportação de suínos, como impulsionou acordos com diversos países do ocidente e oriente. A tendência é que até 2050, o consumo da carne suína dobre, em virtude do crescimento populacional e aumento da exportação (ROBOAGRO, 2021).

No segundo trimestre de 2021 houve um abate de 13,04 milhões de cabeças de suínos, representando um aumento de 7,6% em relação ao mesmo período de 2020. Como é tradicionalmente observado, a região Sul do país respondeu por 66,5% do abate nacional. Em seguida, aparecem as regiões Sudeste (18,2%), Centro-oeste (14,1%), Nordeste (1,0%) e Norte (0,1%) (IBGE, 2021).

Em comparação com o segundo trimestre de 2020, o abate de suínos foi de 923,5 mil cabeças a mais no mesmo período em 2021, esse aumento foi impulsionado por 18 das 25 unidades federativas brasileiras. O crescimento foi destaque no Rio Grande do Sul (+273,47 mil cabeças), Santa Catarina (+222,13 mil cabeças) e Paraná (+156,58 mil cabeças). No ranking dos estados, Santa Catarina lidera o abate de suínos, com 28,5% da participação nacional, seguido por Paraná (20,5%) e Rio Grande do Sul (17,5%) (BRASIL, 2021).

Além do ponto de vista econômico, a suinocultura também é uma atividade importante no âmbito ambiental, já que a suinocultura moderna tem se preocupado com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. Muitos produtores adotam técnicas de manejo e

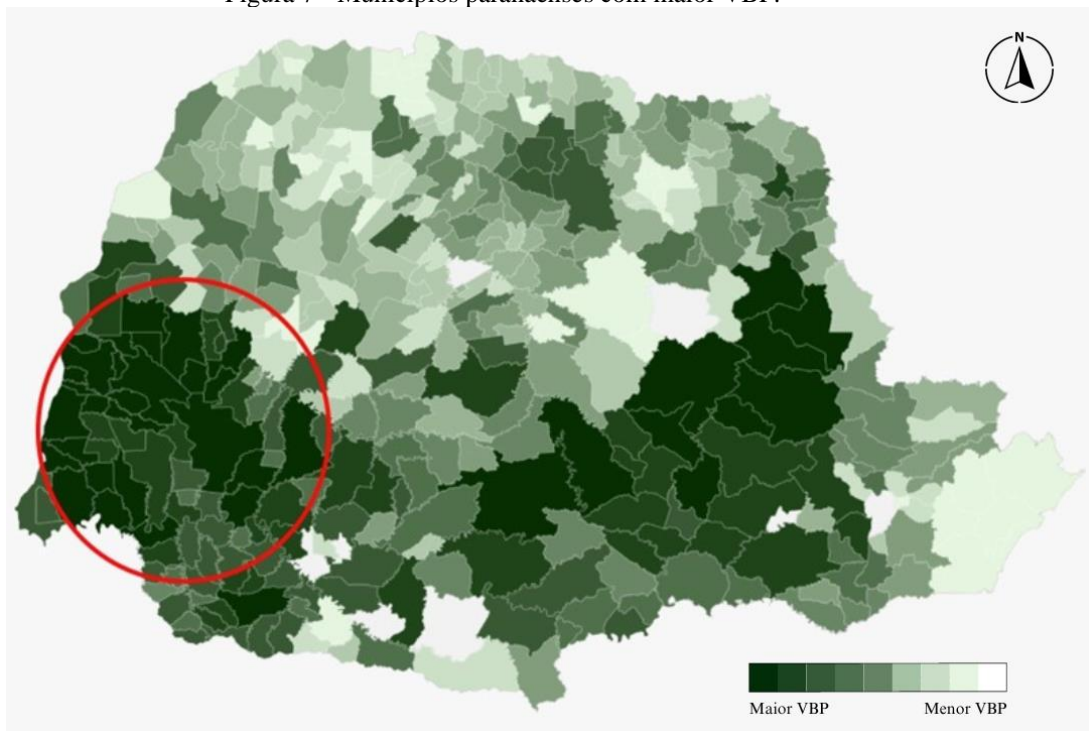
alimentação que visam reduzir o impacto ambiental da atividade.

#### 2.4.2 Rebanho de suínos no Paraná

Segundo a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB, 2017), há aproximadamente 135.000 produtores de suínos no Paraná, dos quais 105 mil produtores ocasionais ou para consumo próprio, 23 mil produtores com escala menor e 7 mil produtores comerciais de grande escala.

O estado detém um rebanho de mais de 6 milhões de cabeças de suínos, sendo o segundo colocado no ranking nacional em produção de carne suína (IBGE, 2021). A região oeste do estado do Paraná é uma grande potência na produção de animais para abate, com 71% do rebanho de suínos (IPARDES, 2023). Logo, a região concentra uma grande produção de dejetos, como pode ser observado na Figura 7 onde as cores mais intensas representam maior valor bruto de produção (VBP), ou seja, maior quantidade de animais. O município de Medianeira retém um rebanho de suíno com um total de 131.960 cabeças (IPARDES, 2023).

Figura 7 - Municípios paranaenses com maior VBP.



Fonte: Adaptado de IPARDES, 2023.

Sendo uma grande potência na produção de animais para abate, a região oeste do estado do Paraná também detém grande produção de resíduos destas atividades, essencialmente os dejetos de suínos. Além disso, estudos na área apontam resultados promissores do uso dos

excrementos dos animais para a produção de biogás (TAVARES *et al.*, 2013; SOUZA, 2016; CIBIOGAS, 2018; EMPRAPA, 2019).

## 2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA ACERCA DE PROJETOS DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS

Para que suceda o aumento de projetos de biogás a partir de dejetos de suínos é fundamental que os pequenos produtores planejem o investimento corretamente, considerando os riscos e incertezas técnicas, econômicas e regulatórias. Na literatura acadêmica, existem estudos em relação à viabilidade econômica da eletricidade produzida a partir do biogás com foco específico em aspectos técnicos.

Alguns estudos avaliaram a viabilidade econômica da produção por meio de diferentes efluentes (AVACI *et al.*, 2013; BRITO *et al.*, 2021; GOVENDER *et al.*, 2019; KHOSHGOFTAR MANESH *et al.*, 2020; MENEZES LIMA *et al.*, 2020; MENSAH *et al.*, 2021; VELÁSQUEZ PIÑAS *et al.*, 2019), ou entre diferentes processos de degradação da matéria orgânica durante a produção de biogás (CUDJOE *et al.*, 2021). Outros estudos compararam a viabilidade da geração de biogás para vários substratos em diferentes comunidades (CUDJOE *et al.*, 2020 ; DENNEHY *et al.*, 2017; MENSAH *et al.*, 2021 ).

Desta forma, observou-se alguns estudos que apresentaram resultados positivos em relação a viabilidade econômica de aplicação e uso do biogás, como é exposto no trabalho de SILVA *et al.*, (2022) onde a pesquisa feita no sul do estado de Minas Gerais em uma granja com 10.468 cabeças de suínos. Nesta pesquisa a viabilidade econômica do sistema foi assegurada pela venda de fertilizante orgânico que representou aproximadamente 72% das receitas e destacou a importância do seu valor na implementação do projeto.

O estudo de PINTO *et al.*, (2023) relata a avaliação teórica da geração de energia elétrica a partir do biogás utilizando um processo de codigestão de dejetos de bovinos e suínos em biodigestores anaeróbios. Os resultados obtidos mostraram que o projeto é viável a partir de 1.410 cabeças de bovinos e 2.350 cabeças de suínos e nesta proporção de resíduos resulta em um potencial de geração de energia elétrica de 128 MWh/ano.

A pesquisa realizada por HOLLAS *et al.*, (2022) avaliou a viabilidade ambiental de cinco unidades de tratamento de biogás utilizando resíduos de produção de suínos, comparando a produção de eletricidade e biometano como vias críticas para promover mudanças na matriz energética nacional e aumentar a descarbonização no sector agrícola. Com base nos resultados, ambas as estratégias provam ser favoráveis ao ambiente para mitigar os impactos ambientais causados durante a manipulação de resíduos. Além disso, a configuração das instalações de produção de biogás

revela-se uma estratégia estimulante para auxiliar o tratamento dos resíduos gerados no contexto de pequenas propriedades produtivas, tornando a adoção deste tratamento economicamente viável.

A pesquisa de PORTO *et al.*, (2021) abordou os impactos da produção de biogás implementada por agricultores familiares organizados num condomínio cooperativo de agroenergia. Foram obtidos resultados positivos estatisticamente significativos para critérios como consumo de energia, segurança energética, emissões para a atmosfera, qualidade do solo e geração de rendimentos.

Alinhado a estes estudos, o presente trabalho vem contribuir com a investigação da viabilidade técnica e econômica de projetos de geração de biogás a partir de resíduos de suínos. Neste caso será avaliado três possíveis panoramas para a proposta de aproveitamento de biogás de um condomínio de cinco produtores rurais para a geração de energia elétrica.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Verificar, por meio de análise comparativa entre produção descentralizada e produção centralizada de biogás, qual o melhor cenário econômico e técnico para a implantação de um condomínio de agroenergia, para geração de energia elétrica, proveniente da biomassa residual de cinco granjas de suínos localizadas no município de Medianeira no estado do Paraná.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o biogás produzido a partir de dejetos de suínos;
- Analisar o potencial de produção de biogás das cinco propriedades do estudo;
- Propor técnicas para melhorar o manejo dos efluentes das granjas analisadas;
- Estudar alternativas para estabelecer a autonomia energética dos produtores rurais;
- Realizar o estudo econômico da implantação de biodigestores e de bio-gasoduto.

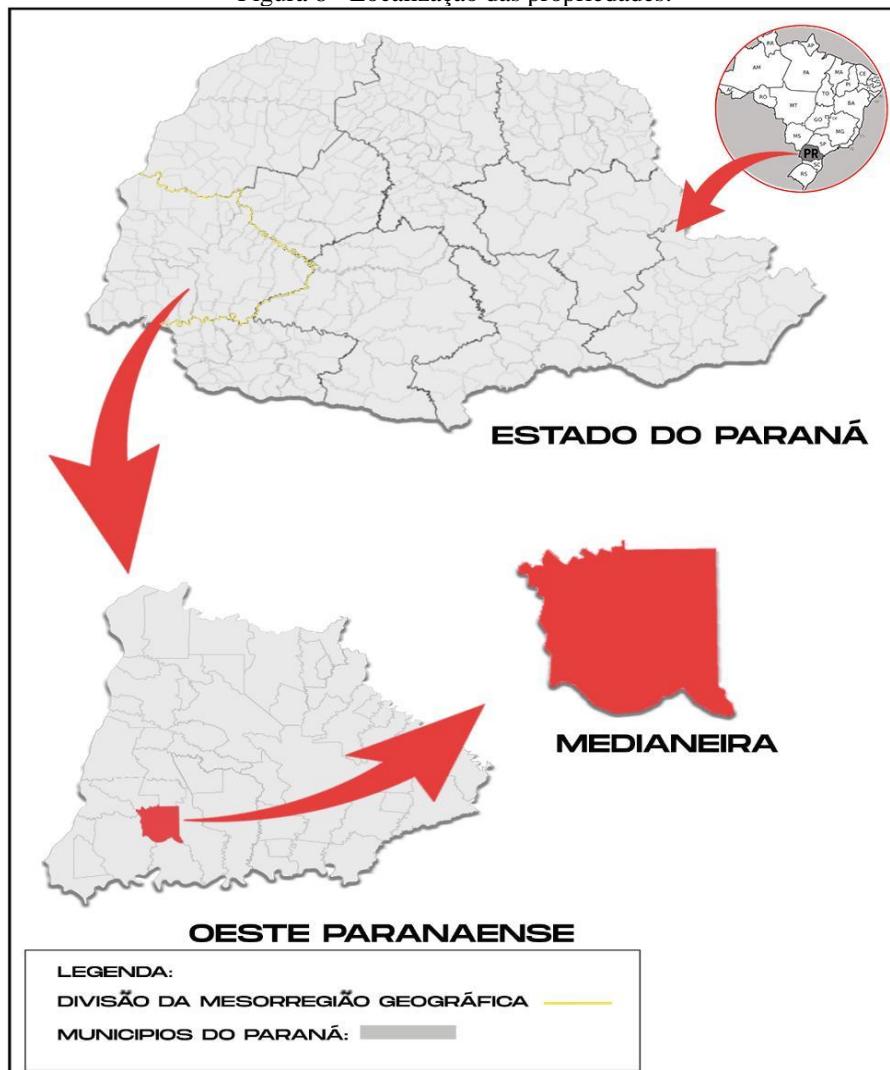
## 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

#### 4.1.1 Área do estudo

A área utilizada como estudo de caso é composta por cinco granjas suinocultoras que estão localizadas no interior do município de Medianeira, situado no oeste do estado do Paraná. As propriedades rurais estudadas estão localizadas na Linha Dourado, nas coordenadas 25°33'97'', latitude sul e 54°00'58'', longitude oeste. Com uma população estimada em 46.574 habitantes (IBGE, 2020), o município de Medianeira tem as atividades agropecuárias como principal fonte de geração de renda e emprego. A Figura 8 mostra a localização das propriedades.

Figura 8 - Localização das propriedades.



Fonte: a autora, 2022.

#### 4.1.2 Plantel de Animais

Todas as cinco granjas analisadas são de suínos na fase de terminação, esta que objetiva finalizar o ciclo de produção do animal e abastecer o mercado consumidor, sendo conhecida como a fase de engorda ou fase de terminação na produção de suínos. Nesta fase, os suínos iniciam a engorda pesando em média 25 kg e são encaminhados para o abate com um peso médio de até 120 kg. O ciclo produtivo do crescimento e terminação dura, em média, entre 90 e 105 dias (EMBRAPA, 2019).

As propriedades possuem um sistema de parceria com uma cooperativa de produção, processamento e distribuição de alimentos, formalizada por meio de contratos que, segundo os produtores rurais, apresentam exigências técnicas de manejo dos suínos. Os contratos concedem garantias formais de compra e venda à agroindústria vinculada a especificações de volumes e prazos, exigência de exclusividade, definição de um preço de referência e de critérios de remuneração em função do desempenho e uniformidade dos animais.

#### 4.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Foram propostos três cenários para avaliação dos indicadores de viabilidade empregados na metodologia. A análise de ambos foi realizada a partir do levantamento dos investimentos necessários para implantação do projeto em cada um dos panoramas estudados e também a identificação dos ganhos econômicos obtidos com o projeto.

**a) Cenário 1 – Produção descentralizada:** inicialmente foram avaliados os potenciais de produção de biogás para cada unidade produtora de suíno, utilizando todo o dejetos disponível, em seguida foi dimensionado um bio-gasoduto para o transporte do biogás até uma planta central geradora de eletricidade, instalada entre as cinco propriedades. O local de instalação da planta geradora de eletricidade foi definido avaliando tanto a viabilidade técnica e econômica de transporte do biogás produzido.

**b) Cenário 2 – Produção centralizada:** neste caso foi analisado o transporte de toda a biomassa residual disponível produzida nas propriedades rurais até um biodigestor de alto rendimento e demais dispositivos necessários para fazer o aproveitamento energético do biogás. Para isso, foi determinado um local propício para a instalação do biodigestor visando a melhor logística para os caminhões fazerem o transporte de toda a biomassa residual.

**c) Cenário 3 - Produção centralizada reduzida:** neste cenário foi avaliado inicialmente a média de consumo de energia elétrica anual de cada

propriedade. Com este valor levantado, foi dimensionado a quantidade de dejetos necessário de cada propriedade para produzir o biogás requerente para a produção de eletricidade substancial para as granjas. Assim como no cenário anterior foi realizado o transporte da biomassa residual até uma central geradora.

### 4.3 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS

#### 4.3.1 Estimativa de produção de dejetos

Para determinar a produção de dejetos a partir dos resíduos orgânicos dos suínos, foi utilizada a metodologia proposta pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás (CIBIOGÁS, 2018).

A estimativa de produção de dejetos foi feita com base no peso médio dos animais e a produção diária de dejetos por suíno. A comparação do peso dos animais quando entram e saem da granja é utilizada para calcular o ganho médio de peso diário e a conversão alimentar (MARQUES e SILVA, 2014).

A produção diária de dejetos ( $PDD_{suínos} - m^3/dia$ ) foi obtida a partir da multiplicação da quantidade de suínos alojados e a produção de dejetos por categoria, conforme Equação 1. A produção diária de dejetos efetiva possui dependência direta do peso dos animais.

$$PDD_{suínos} = N_{animais} \times PE_{ca} \quad (1)$$

Sendo,

- $PDD_{suínos}$  ( $m^3/dia$ ) - Produção diária de dejetos.
- $N_{animais}$  (cabeças) – Quantidade de suínos alojados.
- $PE_{ca}$  ( $m^3.cabeça^{-1}/dia$ ) - Produção de dejetos de suíno por cabeça.

#### 4.3.2 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão

O dimensionamento do volume de cada biodigestor é dado pela Equação 2. Este dimensionamento foi realizado para os cenários 2 e 3, pois atualmente cada propriedade já conta com uma lagoa de tratamento, que foram usadas para a modelagem dos biodigestores do cenário 1.

$$V_{bio} = TRH \cdot PDD_{suínos} \quad (2)$$



Sendo que,

- $V_{bio}$  ( $m^3$ ) – Volume biodigestor.
- TRH (dias) - Tempo de retenção hidráulica.
- $PDD_{suínos}$  ( $m^3/dia$ ) - Produção diária de dejetos.

Considerando que o presente trabalho tem como foco o aproveitamento do biogás produzido a partir da suinocultura, considerou-se o TRH de 30 dias, conforme recomendado por KUNZ *et al.* (2005) para este tipo de biomassa residual animal.

#### 4.3.3 Estimativa de produção de biogás

Uma consideração importante a se fazer neste tópico é que as características dos substratos podem variar entre regiões, mas a produção de biogás por tipo de biomassa, deve ser relativamente constante, dado que a biodigestão é um processo invariante se forem adotadas condições mínimas de funcionamento (INDAP, 2016).

Para estimar a produção de biogás, que é dada pela Equação 3, a seguir, também foi usada a metodologia proposta pelo CIBiogás (CIBIOGAS, 2018), adaptada a partir da metodologia proposta pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC,2006) e descrita por MARQUES e SILVA (2014), onde os autores tentaram simplificar as equações fornecidas pelo IPCC para realizar os cálculos de estimativa de produção de biogás a partir de poucos dados disponíveis.

$$Prod_{biogás} = \left( \frac{MCF \cdot SV_{dejetos} \cdot B_o}{\%CH_4} \right) \cdot PDD_{suínos} \quad (3)$$

Onde,

- $Prod_{biogás}$  ( $m^3/dia$ ) – Produção de biogás diária.
- MCF (%) - fator de conversão anual de metano que está relacionado ao fator tecnológico adotado para o tratamento de dejetos.
- $SV_{dejetos}$  ( $kg SV/m^3.dejeto$ ) – Sólidos voláteis produzidos pela categoria animal.
- $B_o$  ( $m^3CH_4/kg SV$ ) – capacidade máxima teórica de produção de metano por dejetos produzido.
- $\%CH_4$  – concentração de metano no biogás.

Para a estimativa foram adotadas variáveis para o fator de conversão anual, sólidos voláteis, capacidade máxima de produção de metano, e a concentração de metano no biogás, determinadas a partir da classe de suínos. As variáveis adotadas para a realização dos cálculos encontram-se na Tabela 3, que segue.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados para a determinação da produção de biogás.

<b>MCF(%)<sup>(1)</sup></b>	60
<b>SVdejetos (kg SV/m<sup>3</sup>.dejeito)<sup>(2)</sup></b>	80,35
<b>B<sub>o</sub> (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg SV)<sup>(3)</sup></b>	0,33
<b>%CH<sub>4</sub><sup>(3)</sup></b>	60

Fonte: Marques e Silva, 2014<sup>1</sup>, ASAE,2005<sup>2</sup>, CIBIOGÁS, 2018<sup>3</sup>.

#### 4.3.4 Dimensionamento do bio-gasoduto

O bio-gasoduto foi dimensionado para o cenário 1 de acordo com a produção de biogás de cada propriedade. O diâmetro da tubulação em cada trecho foi calculado com base na norma NBR 15561 e ISO 4427, que regulamenta o uso do polietileno de alta densidade para o transporte de GLP, uma vez que no Brasil ainda não existe uma normatização para cálculo de rede de biogás.

As Equações 4 e 5, determinam, respectivamente, o diâmetro da tubulação de biogás e a pressão mínima de saída.

$$D = \left( 2220 * S^{0,8} * L * \frac{Q^{1,8}}{H} \right)^{\frac{1}{4,8}} \quad (4)$$

Sendo,

- D (mm) – Diâmetro interno da tubulação.
- S – Densidade relativa do gás em relação ao ar. Para o biogás, S= 0,9 (RATHUNDE, 2009).
- L (m) – Comprimento do trecho.
- Q (m<sup>3</sup>/h) – Vazão do biogás.
- H (kPa) – Perda de carga máxima admissível. Adotado 50 kPa (RATHUNDE, 2009).

$$PB = PA - \left( 2220 * S^{0,8} * L * \frac{Q^{1,8}}{D^{4,8}} \right) \quad (5)$$

Onde,

- PB (kPa) – Pressão máxima de saída.
- PA (kPa) – Pressão máxima de entrada. Adotado 200 (RATHUNDE, 2009).

#### 4.3.5 Estimativa de produção de energia elétrica e dimensionamento do grupo motogerador

Para o dimensionamento do motor gerador, foram utilizados como parâmetros, o poder calorífico do biogás, a eficiência do motor gerador, a disponibilidade diária de biogás (m<sup>3</sup>/dia), o tempo de utilização da planta de geração e o fator de potência (SOUZA, 2016).

Com os dados obtidos da produção de biogás em cada propriedade foi possível

determinar inicialmente o potencial teórico de produção de energia elétrica, a partir do poder calorífico do biogás, conforme a Equação 6 abaixo:

$$PTE = PCI * Prod_{biogás} \quad (6)$$

Onde,

- PTE (kWh/dia) – Potencial teórico de produção de eletricidade.
- PCI (kWh/m<sup>3</sup>) – Poder calorífico inferior.
- Prod<sub>biogás</sub> (m<sup>3</sup>/dia) – Produção diária de biogás.

Para a determinação do potencial técnico de produção de eletricidade (PTCE), deve-se levar em consideração a eficiência global de conversão nas máquinas térmicas ( $\eta$ ) e o valor do potencial teórico de produção de eletricidade (PTE). Assim, o PTCE foi calculado pela Equação 7.

$$PTCE = \frac{PTE * \eta}{100} \quad (7)$$

Em que,

- PTCE (kWh/dia) - Potencial técnico de produção de eletricidade.
- PTE (kWh/dia) – Potencial teórico de produção de eletricidade.
- $\eta$  (%) – Eficiência do grupo motogerador.

Desta forma, a potência elétrica da planta de geração foi obtida por meio da Equação 8, que segue:

$$POT = \frac{PTCE}{HO * \cos \varphi} \quad (8)$$

No qual,

- POT (kVA) – Potência elétrica da planta de geração.
- PTCE (kWh/dia) - Potencial técnico de produção de eletricidade.
- HO (horas) – Número de horas diárias de operação do grupo motogerador.
- Cos  $\varphi$  - Fator de potência.

O local para instalação do grupo motor gerador foi a propriedade com a maior produção de biogás. Desse modo, com uma menor distância a ser percorrida pelo biogás, reduz-se a perda de pressão, minimizando assim a necessidade de pressurização e conseqüentemente, os gastos com pressurizadores.

#### 4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo da viabilidade econômica foi realizado para os três cenários propostos. Nos dois primeiros casos a quantidade de dejetos a ser digerida é exatamente a mesma, porém no cenário 3 a quantidade de dejetos foi apenas a necessária para gerar energia elétrica requerida nas propriedades. No cenário 1 foi adicionado o valor de adequação das esterqueiras em biodigestores e também o valor do bio-gasoduto para o transporte do biogás até a central geradora de eletricidade. Já para os cenários 2 e 3, foi inserido o custo do transporte dos dejetos para o biodigestor central. A análise financeira é feita sobre o fluxo de caixa do empreendimento a ser avaliado. Alguns parâmetros calculados a partir do fluxo de caixa, são utilizados para verificar a viabilidade econômica dos empreendimentos. O primeiro é o VPL – Valor Presente Líquido que é calculado utilizando a Equação 9 (GITMAN, 2002).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \left[ \frac{FC_t}{(1+k)^t} \right] - I_0 \quad (9)$$

Dado que,

- VPL – Valor Presente Líquido. Representa o balanço do fluxo de caixa do empreendimento ao longo dos anos, trazido para o presente, o qual deve ser positivo para que o empreendimento seja viável, sendo que quanto maior seu valor mais viável o empreendimento.
- FC – Valor futuro considerado. É o valor de despesa ou receita do fluxo de caixa que se deseja trazer para o valor presente (VPL).
- n – Período de análise, em anos. Neste caso foi considerado n=10.
- t – Tempo do fluxo de caixa correspondente ao valor futuro considerado (FC).

Como n=10, t varia de 1 a 10.

- k – Taxa de remuneração do capital. É um percentual de correção dos valores no tempo.
- $I_0$  – Investimento inicial, feito no tempo 0 do fluxo de caixa, ou seja, no momento presente, em que t=0.

Um outro parâmetro de análise é o TMA – taxa mínima de atratividade, também chamada de custo de oportunidade, representa o percentual de remuneração do capital investido no mercado financeiro, caso a decisão seja não investir no empreendimento, neste trabalho optou-se por adotar como TMA o rendimento atual da poupança que é de 10,5%.

Já a TIR – taxa interna de retorno é a taxa de remuneração do capital investido e

resulta do fluxo de caixa do projeto. O empreendimento se torna atrativo se a TIR for maior que a TMA. Utiliza-se o índice TMA/TIR que expressa essa relação, quanto mais baixo for esse melhor é o empreendimento. A TIR é obtida da mesma Equação 9 considerando o valor do VPL=0.

O Payback Descontado é normalmente expresso em anos, representa o tempo necessário para que os fluxos de caixa positivos cubram os fluxos de caixa negativos do projeto, considerando a taxa de juros. Para modelagem dos cenários de viabilidade foi utilizada a Equação 10 a seguir para calcular o payback descontado.

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n} \quad (10)$$

Onde,

- VP - Valor presente.
- VF – Valor futuro.
- i – taxa de juros.
- n – ano de ocorrência do fluxo.

Outro ponto a ser considerado é a linha de crédito escolhida, para esta pesquisa foi a Inovagro. Esta linha é custeada pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), distribuída pelo Banco do Brasil (BB) e utiliza o sistema de Amortização Constante (SAC) para o cálculo das parcelas de pagamento anual. Com simulação feita em dezembro de 2022, a taxa de juro prefixada oferecida aos produtores rurais foi de 10,5% a.a. e financiamento de 100% do projeto para incorporação de inovação tecnológica para aumento da competitividade e geração de energias renováveis.

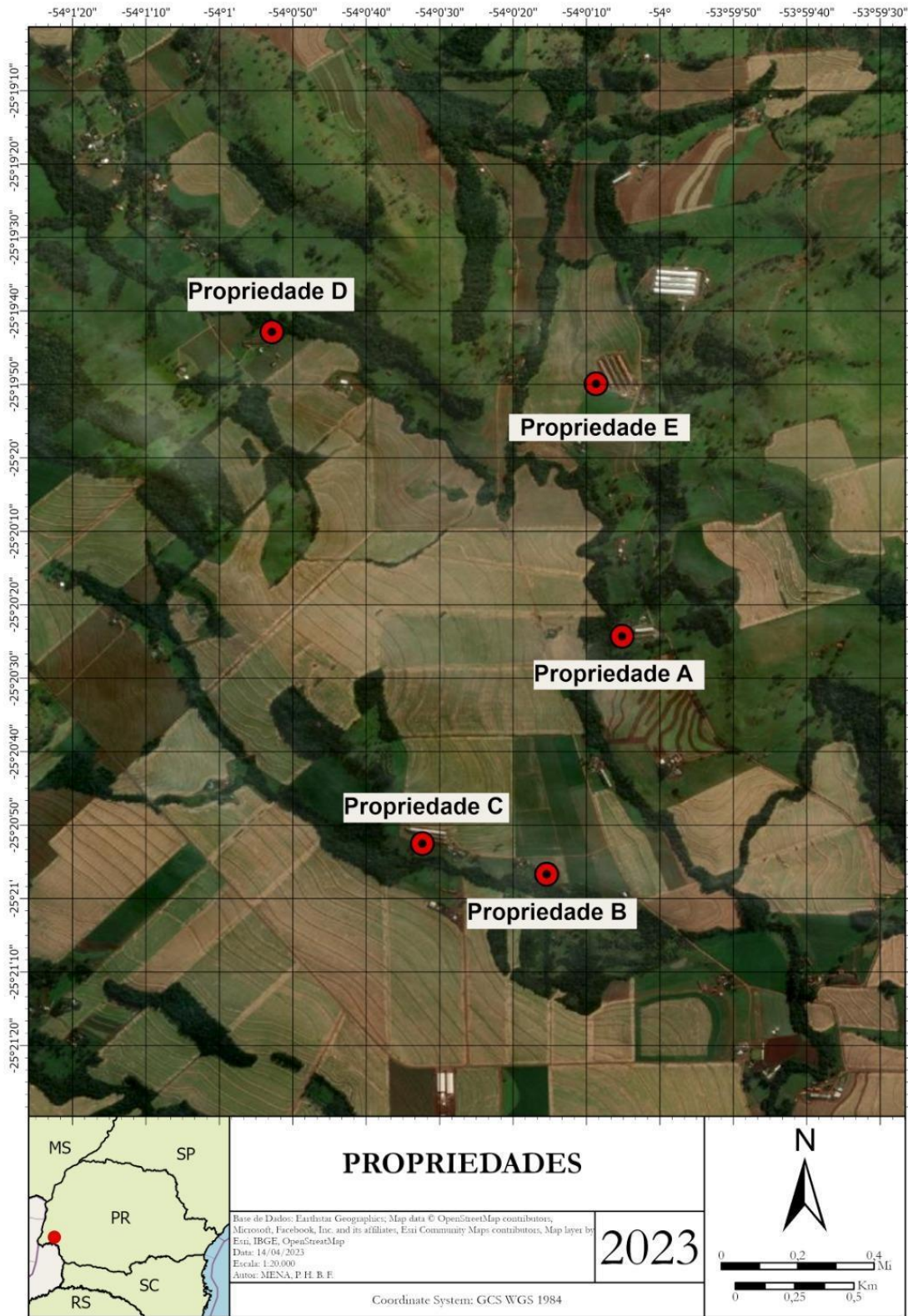
## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 LEVANTAMENTO DO PLANTEL DE SUÍNOS**

Os dados referentes à quantidade de animais em cada propriedade foram coletados a partir de visitas técnicas realizadas nas propriedades no mês de janeiro de 2022. Na Figura 9 é mostrado a disposição das propriedades.

Foram coletadas também algumas fotos na visita de campo realizada, apresentadas nas fotografias que seguem (Figuras 10 – 19). As ilustrações retratam a realidade que se encontram as propriedades e principalmente a forma que ocorre o manejo dos efluentes. Em todos os casos os dejetos são redirecionados a lagoas de tratamento que são revestidas por geomembrana de polietileno e todas elas seguem o tratamento de acordo com as normas do Instituto Ambiental Paranaense (IAP).

Figura 9 - Disposição das cinco propriedades.



Fonte: a autora,2023.

Figura 10 - Propriedade A - Galpão de suínos.



Fonte: a autora,2022.

Figura 11 - Propriedade A - Lagoa de tratamento.



Fonte: a autora,2022.

Figura 12 - Propriedade B – Galpão dos suínos.



Fonte: a autora,2022.

Figura 13 - Propriedade B - Lagoa de tratamento.



Fonte: a autora,2022.



Figura 14 - Propriedade C -Galpão dos suínos.



Fonte: a autora,2022.

Figura 15 - Propriedade C - Lagoa de tratamento.



Fonte: a autora,2022.

Figura 16 - - Propriedade D - Galpão dos suínos.



Fonte: a autora,2022.

Figura 17 - Propriedade D - Lagoa de tratamento.



Fonte: a autora,2022.

Figura 18 - Propriedade E - Galpão de suínos.



Fonte: a autora,2022.

Figura 19 - Propriedade E - Lagoa de tratamento.



Fonte: a autora,2022.

Na Tabela 4, é mostrada a quantidade de animais em cada propriedade.

Tabela 4 - Quantitativo de suíno em cada propriedade analisada.

<b>Propriedade</b>	<b>Número de animais</b>
A	1250
B	600
C	2300
D	1100
E	4000
<b>TOTAL</b>	<b>9250</b>

Fonte: a autora,2022.

## 5.2 VIABILIDADE DO CENÁRIO 1

A análise da viabilidade do cenário 1 levou em consideração a produção descentralizada de biogás por meio da implantação de sistemas de biodigestão em cada uma das granjas de suínos e posteriormente o transporte do biogás por meio de um bio-gasoduto até uma central geradora de energia elétrica. A propriedade escolhida como central é a E, a escolha desta granja como central é estratégica pois esta apresenta um maior número de animais e conseqüentemente a maior produção de biogás, assim sua escolha reduzirá a perda esperada no

transporte do biogás via bio-gasoduto.

O principal critério adotado para determinação do traçado da rede de transporte do biogás teve como ponto de partida as estradas rurais já existentes entre as propriedades, bem como as características topográficas e conformação dos terrenos, optando-se pela menor distância e declividade necessária para o transporte, como também as opções de menos intervenção em obras de engenharia. A extração das declividades e dos perfis longitudinais e os cálculos de distância dos traçados (trechos) de rede e demais grandezas territoriais foram executadas em ambiente digital, por meio de ferramentas de geoprocessamento (software Arcgis).

O primeiro ponto a se analisar neste panorama é o consumo de energia elétrica das propriedades. Para tanto, foi feito um levantamento junto aos proprietários para coletar estes dados. A Tabela 5, mostra o consumo anual de energia elétrica de cada propriedade.

Tabela 5 - Consumo anual de energia elétrica de cada propriedade.

<b>Propriedade</b>	<b>Consumo Anual (kWh)</b>
A	13.763,88
B	6.606,60
C	25.325,52
D	12.112,20
E	44.044,42
<b>TOTAL</b>	<b>101.852,62</b>

Fonte: a autora, 2022.

A partir desses dados, pode-se determinar que o consumo médio diário de todas as propriedades é de 279 kWh. Porém visando uma maior comodidade aos produtores, além deste consumo será considerado 50% a mais de geração diária, ou seja, a geração de 420 kWh/dia, logo este valor é o considerado como consumo diário em todas as propriedades.

Vale ressaltar neste tópico que todas as propriedades estão dentro da mesma área de concessão da distribuidora de energia elétrica, portanto a geração e compensação da energia no condomínio se dará por meio do autoconsumo remoto, onde toda a energia produzida na propriedade E, será distribuída para as outras propriedades por meio de créditos energéticos.

### 5.2.1 Estimativa de produção de dejetos para o cenário 1

Como relatado anteriormente a produção diária de dejetos está diretamente relacionada com o peso do animal e a produção de dejetos de suíno por cabeça. Segundo Oliveira, (1993) a quantidade total de resíduos líquidos produzidos na suinocultura varia de acordo com o

desenvolvimento ponderal dos animais, cerca de 4,9 a 8,5% de seu peso vivo/dia, para uma faixa de 15 a 100 kg. Um dos componentes que influi marcadamente na quantidade de dejetos líquidos é a produção de urina que, por sua vez, depende diretamente da ingestão de água.

Segundo Ageitec, (2015), o peso médio dos suínos para a categoria animal de terminação é de 90 kg. Assim, a variação de produção diária de dejetos pode ser entre 0,0044 m<sup>3</sup>/dia e 0,0077 m<sup>3</sup>/dia. Para fins de dimensionamento deste estudo de caso o valor que será utilizado é a média desta variação, 0,0061 m<sup>3</sup>/dia. Considerando este valor e utilizando a Equação 1, a Tabela 6 mostra a produção de dejetos diários de cada propriedade.

Tabela 6 - Produção diária de dejetos de cada propriedade – cenário 1.

<b>Propriedade</b>	<b>Produção diária de dejetos (m<sup>3</sup>/dia)</b>
A	7,63
B	3,66
C	14,03
D	6,71
E	24,40
<b>TOTAL</b>	<b>56,43</b>

Fonte: a autora, 2023.

Como esperado as propriedades que retêm um maior número de animais possuem uma maior produção diária de dejetos, sendo a capacidade total de produção entre todas as propriedades de 56,43 m<sup>3</sup>/dia.

### 5.2.2 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão para o cenário 1

Para este cenário considerou-se a adaptação das lagoas de tratamento que cada propriedade possui. Estas lagoas são revestidas de geomembrana de polietileno, então é necessário apenas cobri-las e fazer algumas adequações para que cada uma se converta em um biodigestor do modelo canadense. Este modelo foi escolhido pois apresenta o maior custo-benefício para instalação na região, esta que apresenta uma faixa de temperatura ideal para a produção do biogás. Logo, esta adaptação é considerada na realização da análise econômica.

### 5.2.3 Estimativa de produção de biogás para o cenário 1

Com a produção de dejetos de cada propriedade estabelecida, a produção diária de biogás foi obtida a partir da Equação 3, a estimativa de produção de cada propriedade se encontra na Tabela 7.

Tabela 7 - Produção de biogás diário de cada propriedade – cenário 1.

<b>Propriedade</b>	<b>Prod<sub>biogás</sub> (m<sup>3</sup>/dia)</b>
A	202,18
B	97,05
C	372,01
D	177,92
E	646,98
<b>TOTAL</b>	<b>1.496,14</b>

Fonte: a autora, 2023.

A estimativa de biogás produzido diariamente para este cenário considerando todas as propriedades é de 1.496,14 m<sup>3</sup>/dia, porém é necessário considerar a perda pelo deslocamento e atrito no bio-gasoduto que, segundo referência da 3DI Engenharia (2023) é de 20%, logo o valor total da produção de biogás é de 1.326,31 m<sup>3</sup>/dia. Vale ressaltar que esta perda não foi considerada na produção de biogás na propriedade E, pois, ela é a central receptora de biogás e geradora de energia elétrica.

#### 5.2.4 Dimensionamento do bio-gasoduto

Para dimensionamento do traçado do bio-gasoduto foram consideradas as estradas rurais existentes entre as propriedades, confirme a rota apresentada na Figura 20, que mostra a interconexão das propriedades até a propriedade E, que receberá a central geradora. Foram consideradas as distâncias de cada propriedade até a central, e a partir da Equação 4 foi estimado inicialmente o diâmetro de cada trecho. A Tabela 8 mostra os diâmetros encontrados nos cinco trechos até a chegada na central geradora.

Tabela 8 - Diâmetro do bio-gasoduto de cada trecho entre as propriedades.

<b>Trecho</b>	<b>Distância do trecho (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>
Propriedade A até Central	1.349,69	20,34
Propriedade C a Propriedade B	409,3	19,94
Propriedades (C-B) até encontro com Propriedade D	1.777,59	29,53
Propriedade D até encontro com Propriedades (C-B)	1.654,09	20,23
Propriedades (B-C-D) até Central	1.475,68	32,82
<b>TOTAL</b>	<b>6.666,35</b>	-

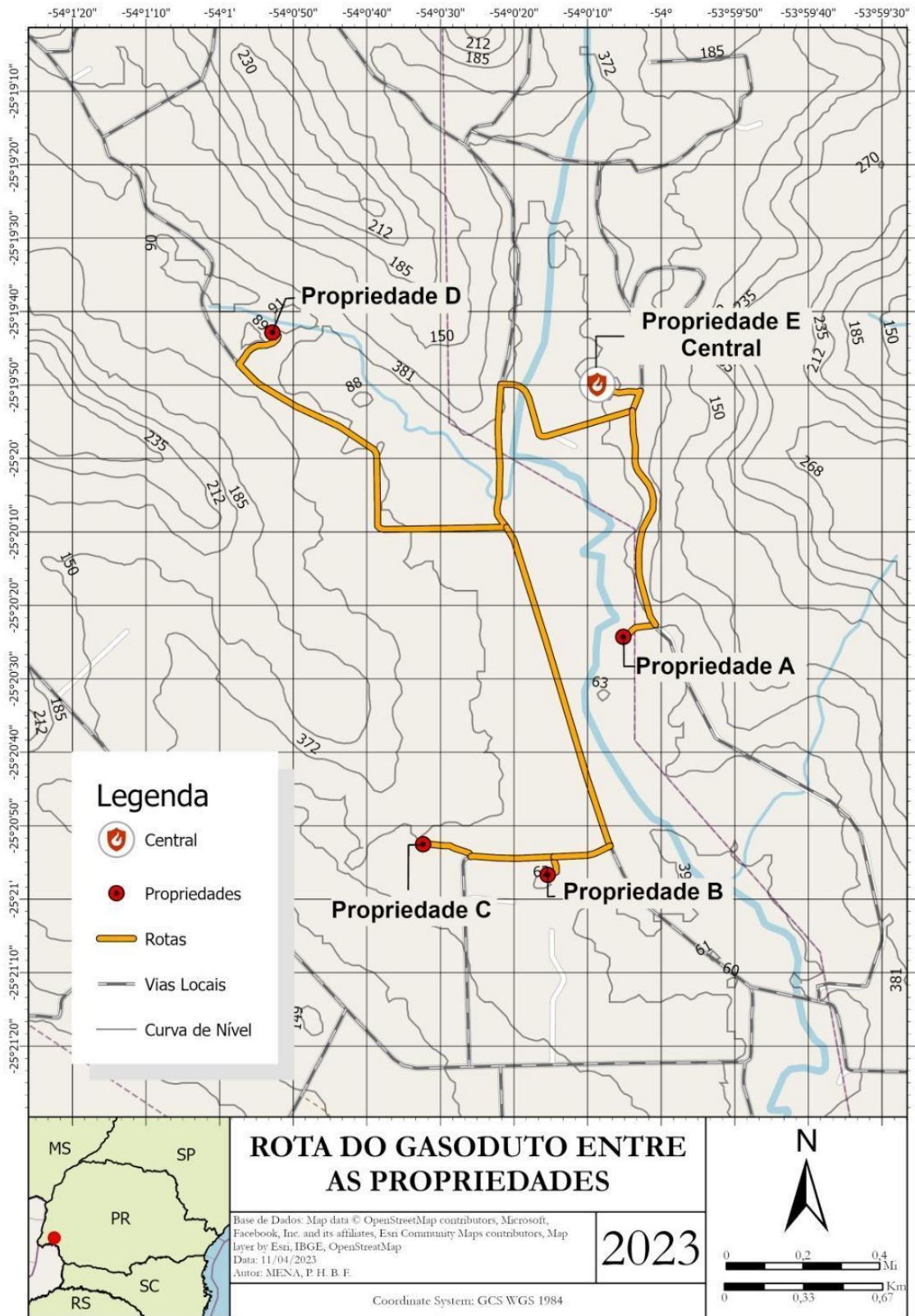
Fonte: a autora, 2023.

O trecho total do bio-gasoduto abrange uma extensão estimada de 6,66 km, ao longo

das vias rurais. Para a construção do gasoduto, uma escavação preliminar é realizada e em seguida é colocada uma camada de areia para acomodar e proteger o tubo de polietileno de alta densidade, o qual fica enterrado. Para garantir a máxima eficiência do transporte do biogás, deverão ser instalados compressores de alto desempenho em cada segmento do gasoduto. Ademais, placas de advertência são dispostas ao longo de todo o percurso, com o objetivo de prevenir possíveis acidentes ambientais.

Cabe ressaltar, ainda, que a implementação desse tipo de sistema requer a obtenção de diversas licenças ambientais, as quais foram consideradas no âmbito da avaliação econômica realizada.

Figura 20 - Rota do bio-gasoduto entre as propriedades até a central geradora.



Fonte: a autora, 2023.

Com os diâmetros de cada trecho calculados e usando a Equação 5 é possível obter a pressão máxima de saída, definida para cada trecho, como apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Pressão máxima de saída de cada trecho entre as propriedades.

<b>Trecho</b>	<b>Pressão máxima de saída (kPa)</b>
Propriedade A até Central	150
Propriedade C a Propriedade B	150
Propriedades (C-B) até encontro com Propriedade D	150
Propriedade D até encontro com Propriedades (C-B)	150
Propriedades (B-C-D) até Central	155,39

Fonte: a autora, 2023.

### 5.2.5 Estimativa de produção de energia elétrica e dimensionamento do grupo motogerador para o cenário 1

Para determinar a produção de energia elétrica a partir do biogás nas cinco propriedades foi aplicada a Equação 6 considerando o poder calorífico superior do biogás em 5,35 kWh/m<sup>3</sup> segundo Souza (2006). Assim, o valor do potencial teórico de produção de eletricidade obtido foi de 7.095,74 kWh/dia.

Para determinação do potencial técnico de produção de eletricidade foi utilizado a Equação 7, visto que o valor da eficiência global de conversão nas máquinas térmicas é de 35% (SOUZA *et al.*, 2004). Logo, o potencial técnico de geração de energia mínimo é de 2.483,51 kWh/dia.

Com o potencial técnico de geração de energia e o valor do consumo das propriedades em 420 kWh/dia é notório que há uma sobra significativa de energia, para ser exato 2.063,51 kWh/dia, correspondente a cinco vezes o valor do consumo. Este excesso de poderá ser vendido no mercado livre e contabilizado como receita positiva na análise da viabilidade econômica.

Considerando o tempo de utilização da planta de geração em 24h e um fator de potência de 0,8 (SOUZA *et al.*, 2004) é obtido, por meio da Equação 8, a potência elétrica da planta de geração (POT) no valor de 149 kVA. A partir deste resultado é possível escolher o grupo gerador. Em consulta ao catálogo do fabricante da marca Enemarc, o grupo gerador que mais se aproxima ao POT calculado é o modelo ENGGB 120 com uma potência nominal de 96 kVA.



### 5.2.6 Viabilidade econômica para o cenário 1

Os custos iniciais para este cenário, associado à geração de energia elétrica proveniente de todo o dejetos produzido nas propriedades e o biogás direcionado via bio-gasoduto, estão relacionados à adequação das lagoas de tratamento de cada propriedade para se transformarem em biodigestores do modelo canadense, a construção do bio-gasoduto, a aquisição do motor gerador que contempla também o sistema de filtragem e os painéis de proteção e equipamentos para a conexão da rede elétrica da concessionária.

O valor para a implantação do bio-gasoduto contempla os tubos e conexões PEAD, toda a obra civil necessária, o serviço de instalação e a licença ambiental. O motor gerador escolhido para este projeto foi o modelo ENGG B 120 da fabricante Enermarc com uma potência nominal de 96 kVA. A compra de todo este sistema inclui o quadro de comando para geração distribuída, o quadro de proteção do sistema de geração distribuída e o sistema de monitoramento remoto.

Na Tabela 10 são apresentados os valores para a aquisição destes equipamentos onde também estão incluídos o transporte e a instalação dos mesmos.

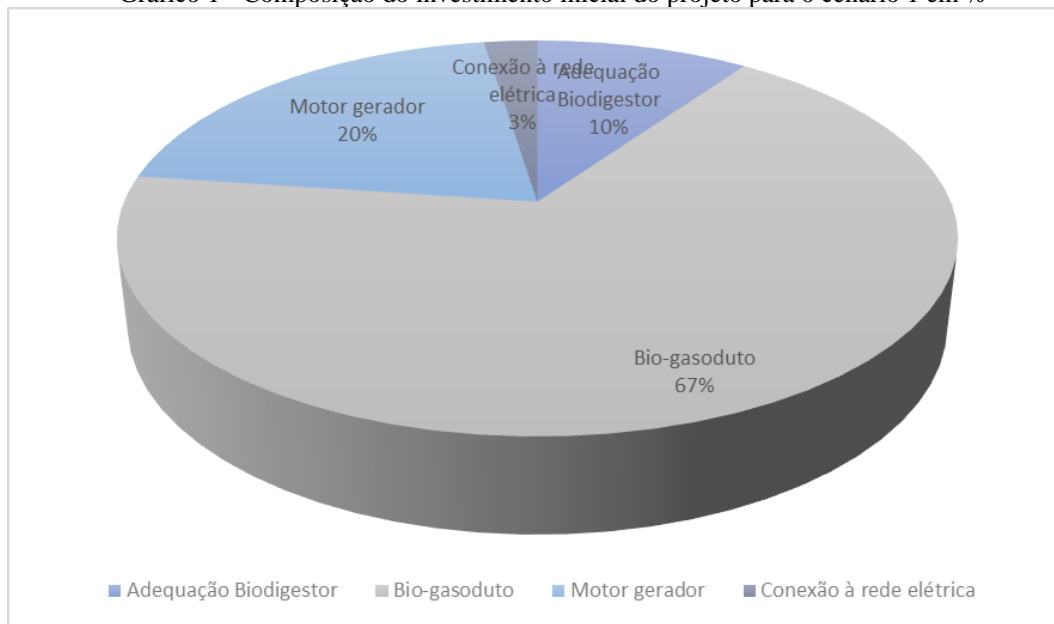
Tabela 10 - Composição do investimento inicial para o cenário 1.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo de aquisição(R\$)</b>
Adequação biodigestores	100.000,00
Bio-gasoduto	826.600,00
Grupo motor gerador	250.000,00
Conexão à rede elétrica	30.000,00
<b>Total</b>	<b>1.206.600,00</b>

Fonte: a autora,2023.

A partir destes valores, pode-se concluir que a adequação dos biodigestores representa 9,78% do total da aquisição, o bio-gasoduto representa 67,39%, o grupo motor gerador representa 20,38% e a conexão destes equipamentos com a rede representa 2,45% do total dos investimentos iniciais para a aplicação do projeto neste cenário, como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Composição do investimento inicial do projeto para o cenário 1 em %



Fonte: a autora,2023.

Como mostra o Gráfico 1, a construção do bio-gasoduto representa a maior parcela do investimento. O valor total do orçamento tem o prazo de liquidação de 10 anos em 10 parcelas. A despesa fixa anual do financiamento é de R\$120.660,00 (valor total do financiamento dividido pelo número de parcelas), acrescido os juros correspondentes do período. Na Tabela 11 encontram-se os valores do financiamento e prestações finais de cada ano.

Tabela 11 - Financiamento e prestações (Método SAC) para o cenário 1.

<b>Período</b>	<b>Prestação(R\$)</b>	<b>Amortização (R\$)</b>	<b>Juros (R\$)</b>	<b>Saldo(R\$)</b>
0	-	-	-	1.206.600,00
1	247.353,00	120.660,00	126.693,00	1.085.940,00
2	234.683,70	120.660,00	114.023,70	965.280,00
3	222.014,40	120.660,00	101.354,40	844.620,00
4	209.345,10	120.660,00	88.685,10	723.960,00
5	196.675,80	120.660,00	76.015,80	603.300,00
6	184.006,50	120.660,00	63.346,50	482.640,00
7	171.337,20	120.660,00	50.677,20	361.980,00
8	158.667,90	120.660,00	38.007,90	241.320,00
9	145.998,60	120.660,00	25.338,60	120.660,00
10	133.329,30	120.660,00	12.669,30	-

Fonte: a autora,2023.

A economia gerada com a não utilização da energia elétrica da concessionária acrescida da venda do excedente de energia elétrica produzida será a receita positiva deste projeto e os custos operacionais e de manutenção, será a receita negativa do projeto. Cada kWh não consumido da concessionária resultará em receita para as propriedades, para o cálculo desta receita ao longo do período do projeto foi considerado uma projeção de aumento de 9,4% no reajuste tarifário anual (ANEEL, 2022). Para o primeiro ano de análise a economia por cada kWh é de R\$0,68 (COPEL,2022). A venda do excedente da energia elétrica gerada no condomínio se dará no mercado livre, onde o valor de cada MWh é negociado a R\$69,04, com correção monetária anual de 3% (ABRACEEL, 2022).

Os custos operacionais para este cenário preveem a operação do biodigestor e verificação do bio-gasoduto. Em pequenas propriedades os empregadores geralmente executam mais de uma função, logo foi considerada a quantidade de horas de trabalho por dia em 4 horas por dia, cuja jornada é de 330 dias por ano. Esta quantidade de dias considera a inoperabilidade da planta de biodigestão para manutenção, férias dos trabalhadores e feriados. Ademais considerou-se o valor de R\$10,42 por hora de trabalho, com uma correção monetária anual de 3% (WU et al., 2016). Os custos de manutenção tanto do bio-gasoduto quanto do biodigestor, estão baseados na troca mandatória de peças por tempo de vida útil, abastecimento e reposição de insumo e neste cenário corresponde a 4% do valor da econômica de não compra de energia elétrica. Além dessas variáveis, acrescenta-se a depreciação do preço dos custos dos equipamentos de geração, que é de 2% ao ano.

Na Tabela 12 estão apresentadas as previsões de arrecadação para todas as propriedades, durante o período de análise do projeto, isso em função do consumo de energia esperado em cada granja, como mostrado.

Tabela 12 - Receita anual projetada em 10 anos para o cenário 1.

<b>Período</b>	<b>Economia de não compra de energia elétrica (R\$)</b>	<b>Venda de energia elétrica (R\$)</b>	<b>Operação(R\$)</b>	<b>Manutenção(R\$)</b>	<b>Receita Anual(R\$)</b>
1	65.601,53	51.287,30	-R\$ 13.755,00	-R\$ 26.240,61	R\$ 76.893,22
2	71.761,51	52.825,92	-R\$ 14.167,65	-R\$ 27.027,83	R\$ 83.391,96
3	78.499,92	54.410,70	-R\$ 14.592,68	-R\$ 27.838,67	R\$ 90.479,28
4	85.871,06	56.043,02	-R\$ 15.030,46	-R\$ 28.673,83	R\$ 98.209,80
5	93.934,36	57.724,31	-R\$ 15.481,37	-R\$ 29.534,04	R\$ 106.643,25
6	102.754,79	59.456,04	-R\$ 15.945,81	-R\$ 30.420,06	R\$ 115.844,96
7	112.403,47	61.239,72	-R\$ 16.424,19	-R\$ 31.332,66	R\$ 125.886,34
8	122.958,15	63.079,61	-R\$ 16.916,92	-R\$ 32.272,64	R\$ 136.845,51
9	134.503,92	64.969,22	-R\$ 17.424,42	-R\$ 33.240,82	R\$ 148.807,90
10	147.133,84	66.918,30	-R\$ 17.947,16	-R\$ 34.238,05	R\$ 161.866,94

Fonte: a autora,2023.

A partir dos resultados obtidos podemos notar que a receita gerada em todos os períodos analisados é positiva. Com a receita anual definida é possível calcular o fluxo de caixa. A Tabela 13 demonstra o fluxo de caixa para este cenário. A partir deste é possível fazer a análise e a avaliação para determinar a viabilidade do projeto.

Tabela 13 - Fluxo de caixa para o cenário 1.

<b>Período</b>	<b>Investimento(R\$)</b>	<b>Economia gerada (R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa livre(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa descontado (R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa descontado acumulado (R\$)</b>
1	- 247.353,00	R\$ 76.893,22	-R\$ 170.459,78	-R\$ 148.225,89	-R\$ 148.225,89
2	- 234.683,70	R\$ 83.391,96	-\$ 151.291,74	-R\$ 114.398,29	-R\$ 262.624,19
3	- 222.014,40	R\$ 90.479,28	-\$ 131.535,12	-R\$ 86.486,48	-R\$ 349.110,67
4	- 209.345,10	R\$ 98.209,80	-\$ 111.135,30	-R\$ 63.541,97	-R\$ 412.652,64
5	- 196.675,80	R\$ 106.643,25	-R\$ 90.032,55	-R\$ 44.762,09	-R\$ 457.414,73
6	- 184.006,50	R\$ 115.844,96	-R\$ 68.161,54	-R\$ 29.468,12	-R\$ 486.882,84
7	- 171.337,20	R\$ 125.886,34	-R\$ 45.450,86	-R\$ 17.086,66	-R\$ 503.969,51
8	- 158.667,90	R\$ 136.845,51	-R\$ 21.822,39	-R\$ 7.133,78	-R\$ 511.103,28
9	- 145.998,60	R\$ 148.807,90	R\$ 2.809,30	R\$ 798,58	-R\$ 510.304,71
10	- 133.329,30	R\$ 161.866,94	R\$ 28.537,64	R\$ 7.054,07	-R\$ 503.250,64

Fonte: a autora,2023.

A partir do fluxo de caixa é possível obter os indicadores econômicos. O VPL, a TIR e o Payback calculados para este cenário apresentado foram expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Indicadores econômicos do cenário 1.

<b>VPL</b>	R\$ 856.230,34
<b>TIR</b>	- 53%
<b>Payback</b>	-

Fonte: a autora,2023.

Portanto, com base nos resultados encontrados dos indicadores econômicos, fica claro que este cenário não é economicamente viável para o investimento na implementação do projeto. Isso se deve ao VPL ser inferior ao capital inicial investido, o que inviabiliza a recuperação do investimento no período de análise. Além disso, a TIR obtida é negativa. Tornando o investimento inviável. Também é importante destacar que durante o período de análise não ocorre o *payback* do investimento.

### 5.3 VIABILIDADE DO CENÁRIO 2

O estudo de viabilidade para o cenário 2, estabeleceu o transporte de toda a biomassa residual produzida nas propriedades rurais, por meio de um caminhão tanque, até o local onde será construído o biodigestor central para a produção de biogás. Neste ponto também será implantada a central geradora de energia elétrica.

Os critérios para transporte dos dejetos levaram em consideração o traçado mais curto até a unidade de tratamento proposta e as estradas rurais já existentes entre as propriedades.

Neste cenário o consumo de energia elétrica anual de cada propriedade se mantém igual ao apresentado na Tabela 5, anteriormente. Logo, considerando o consumo atual mais 50% na geração diária para comodidade dos produtores, a quantidade de energia elétrica produzida para este cenário é de 420 kWh/dia.

#### 5.3.1 Estimativa de produção de dejetos para o cenário 2

A produção de dejetos em cada propriedade para este cenário não apresenta alterações, o que difere do cenário 1 é que, como o transporte de toda a matéria residual será feita por caminhões tanques é necessário considerar uma perda associada à logística do transporte dos resíduos, para a pesquisa foi considerado uma perda de 30% no valor total, sendo assim o total de dejetos acumulado entre as cinco propriedades será de 46,82 m<sup>3</sup>/dia.

#### 5.3.2 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão para o cenário 2

O local mais apropriado para a construção do biodigestor e posterior instalação da unidade de geração de energia elétrica é a propriedade E, pois, esta granja é a que apresenta um número maior de animais e conseqüentemente tem uma produção maior de dejetos, assim sua escolha reduzirá a perda no transporte da biomassa.

Considerando assim o total de dejetos produzido em todas as propriedades e utilizando a Equação 2, tem-se que o tamanho do biodigestor para este cenário será de 1.404,53 m<sup>3</sup>, tendo em conta o tempo de retenção hidráulica de 30 dias.

#### 5.3.3 Estimativa de produção de biogás para o cenário 2

Considerando a perda de dejetos associada ao transporte da biomassa, o valor do biogás produzido entre todas as granjas para este cenário, considerando a Equação 3, será de 1.241,39 m<sup>3</sup>/dia.

### 5.3.4 Estimativa de produção de energia elétrica para o cenário 2

Primeiramente, para determinar a produção de energia elétrica a partir do biogás nas cinco propriedades foi aplicada a Equação 6 considerando o poder calorífico superior do biogás em  $5,35 \text{ kWh/m}^3$  (SOUZA, 2006). Assim, o valor do potencial teórico de produção de eletricidade obtido foi de 6.641,43 kWh/dia.

Para determinação do potencial técnico de produção de eletricidade foi utilizado a equação 7, visto que o valor da eficiência global de conversão nas máquinas térmicas é de 35% (SOUZA *et al.*, 2004). Logo, o potencial técnico de geração de energia é de 2.324,50 kWh/dia, quatro vezes superior ao consumo das propriedades, resultando em um excedente de 1.904,50 kWh/dia, este excesso será vendido no mercado livre e contabilizado como receita positiva na análise da viabilidade econômica.

Considerando o tempo de utilização da planta de geração em 24h e um fator de potência de 0,8 (SOUZA *et al.*, 2004) é obtido, por meio da Equação 8, a potência elétrica da planta de geração (POT) no valor de 139 kVA.

A partir deste resultado é possível escolher o grupo gerador. Em consulta ao catálogo do fabricante da marca Enemarc, o grupo gerador que mais se aproxima ao POT calculado é o modelo ENGGB 120 com uma potência nominal de 96 kVA.

### 5.3.5 Viabilidade econômica para o cenário 2

Os custos iniciais para este cenário, associado à geração de energia elétrica proveniente de todo o dejetos produzido nas propriedades e transportados para uma central, estão relacionados à aquisição do biodigestor central, o motor gerador que contempla também o sistema de filtragem e os painéis de proteção, bem como os equipamentos para a conexão da rede elétrica da concessionária. O valor do transporte da biomassa foi considerado como um serviço terceirizado e seus custos logísticos serão apresentados na receita anual projetada.

O biodigestor central foi cotado com a empresa Biokohler, e o modelo escolhido foi o de mistura completa que conta com sistema de agitação, evitando a formação de crostas. O motor gerador escolhido para este projeto foi o modelo ENGGB 120 da fabricante Enermarc com uma potência nominal de 96 kVA. A compra de todo este sistema inclui o quadro de comando para geração distribuída, o quadro de proteção do sistema de geração distribuída e o sistema de monitoramento remoto.

Na Tabela 15 são apresentados os valores para a aquisição destes equipamentos onde também estão incluídos o transporte e a instalação dos mesmos.

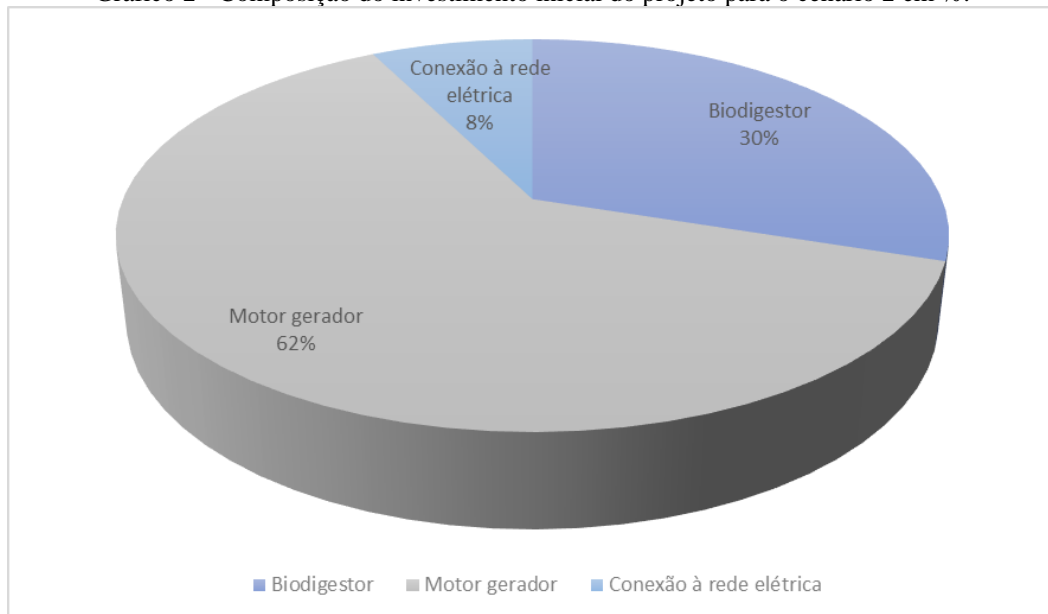
Tabela 15 - Composição do investimento inicial para o cenário 2.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo de aquisição(R\$)</b>
Biodigestor	120.000,00
Grupo motor gerador	250.000,00
Conexão à rede elétrica	30.000,00
<b>Total</b>	<b>400.000,00</b>

Fonte: a autora,2023.

Com base nos valores apresentados, pode-se inferir que a instalação do biodigestor corresponde a 30% do montante do investimento, enquanto o grupo motor gerador representa 62%, e a conexão desse equipamento à rede elétrica compreende 8% dos investimentos iniciais para a implementação do projeto neste cenário, conforme evidenciado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Composição do investimento inicial do projeto para o cenário 2 em %.



Fonte: a autora,2023.

Conforme previamente mencionado, o montante total do orçamento em análise corresponde a R\$400.000,00, sujeito a ser liquidado em um período de 10 anos, em parcelas igualmente distribuídas em 10 pagamentos. A despesa anual do financiamento consiste em um valor fixo de R\$40.000,00 (valor do financiamento dividido pelo número de parcelas), acrescido dos juros correspondentes ao respectivo período. Os valores do financiamento e das prestações finais de cada ano estão apresentados na Tabela 16.



Tabela 16 - Financiamento e prestações (Método SAC) para o cenário 2.

<b>Período</b>	<b>Prestação(R\$)</b>	<b>Amortização(R\$)</b>	<b>Juros(R\$)</b>	<b>Saldo(R\$)</b>
0	-	-	-	400.000,00
1	82.000,00	40.000,00	42.000,00	360.000,00
2	77.800,00	40.000,00	37.800,00	320.000,00
3	73.600,00	40.000,00	33.600,00	280.000,00
4	69.400,00	40.000,00	29.400,00	240.000,00
5	65.200,00	40.000,00	25.200,00	200.000,00
6	61.000,00	40.000,00	21.000,00	160.000,00
7	56.800,00	40.000,00	16.800,00	120.000,00
8	52.600,00	40.000,00	12.600,00	80.000,00
9	48.400,00	40.000,00	8.400,00	40.000,00
10	44.200,00	40.000,00	4.200,00	-

Fonte: a autora,2023.

A economia resultante da não compra da energia elétrica da concessionária somada à venda de energia elétrica excedente, constituem a receita positiva do projeto. Por outro lado, os custos operacionais, de manutenção e de logística representam a receita negativa. A receita gerada por cada kWh não consumido da concessionária representa um benefício para as propriedades envolvidas no projeto. Para o cálculo desta receita ao longo do período do empreendimento, foi considerada uma projeção anual de 9,4% no reajuste tarifário (ANEEL, 2022). No primeiro ano de análise, o valor economizado por cada kWh é de R\$0,68 (COPEL,2022). Além disso, a venda da energia elétrica excedente gerada na cooperativa ocorrerá no mercado livre, onde o valor de cada MWh é negociado a R\$69,04, com correção monetária anual de 3% (ABRACEEL, 2023). Com esta estratégia de economia e venda de excedentes, o projeto visa alcançar um balanço financeiro positivo, beneficiando as propriedades envolvidas e contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos.

Neste cenário, os custos operacionais abrangem a operação do biodigestor e do grupo motor gerador. Assim como no cenário 1, foram consideradas 4 horas de trabalho por dia, totalizando 330 dias por ano. Para essa mão de obra, foi adotado o valor de R\$10,42 por hora de trabalho, com uma correção monetária anual de 3% (WU et al., 2016). Os custos de manutenção estão associados à substituição periódica de peças, ao fornecimento e reposição de insumos, representando 4% do valor economizado pela não compra de energia elétrica. Os custos logísticos, referentes ao transporte de toda a biomassa residual até o biodigestor central, correspondem a 4% do valor economizado pela não compra de energia elétrica. Além dessas variáveis, acrescenta-se a depreciação do preço dos equipamentos de geração, que é de 2% ao ano.

Tabela 17 - Receita anual projetada em 10 anos para o cenário 2.

<b>Período</b>	<b>Economia de não compra de energia elétrica(R\$)</b>	<b>Venda de energia elétrica (R\$)</b>	<b>Operação (R\$)</b>	<b>Manutenção (R\$)</b>	<b>Custos Logístico (R\$)</b>	<b>Receita Anual (R\$)</b>
1	65.601,53	R\$ 47.335,20	-R\$ 13.755,00	-R\$ 19.680,46	-R\$ 26.240,61	R\$ 53.260,66
2	71.761,51	R\$ 48.754,44	-R\$ 14.167,65	-R\$ 20.270,87	-R\$ 27.027,83	R\$ 59.049,60
3	78.499,92	R\$ 50.214,81	-R\$ 14.592,68	-R\$ 20.879,00	-R\$ 27.838,67	R\$ 65.404,39
4	85.871,06	R\$ 51.723,17	-R\$ 15.030,46	-R\$ 21.505,37	-R\$ 28.673,83	R\$ 72.384,58
5	93.934,36	R\$ 53.279,53	-R\$ 15.481,37	-R\$ 22.150,53	-R\$ 29.534,04	R\$ 80.047,94
6	102.754,79	R\$ 54.877,02	-R\$ 15.945,81	-R\$ 22.815,05	-R\$ 30.420,06	R\$ 88.450,89
7	112.403,47	R\$ 56.522,51	-R\$ 16.424,19	-R\$ 23.499,50	-R\$ 31.332,66	R\$ 97.669,63
8	122.958,15	R\$ 58.215,99	-R\$ 16.916,92	-R\$ 24.204,48	-R\$ 32.272,64	R\$ 107.780,11
9	134.503,92	R\$ 59.964,33	-R\$ 17.424,42	-R\$ 24.930,62	-R\$ 33.240,82	R\$ 118.872,39
10	147.133,84	R\$ 61.760,65	-R\$ 17.947,16	-R\$ 25.678,54	-R\$ 34.238,05	R\$ 131.030,75

Fonte: a autora,2023.

Uma vez estabelecida a receita anual é possível realizar o cálculo de fluxo de caixa. A Tabela 18 demonstra o fluxo de caixa para este cenário. A partir destes dados, é possível avaliar a viabilidade do projeto.

Tabela 18 - Fluxo de caixa para o cenário 2.

<b>Período</b>	<b>Investimento (R\$)</b>	<b>Economia gerada(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa livre(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa descontado(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa descontado acumulado(R\$)</b>
1	- 82.000,00	R\$ 53.260,66	-R\$ 28.739,34	-R\$ 24.990,73	-R\$ 24.990,73
2	- 77.800,00	R\$ 59.049,60	-R\$ 18.750,40	-R\$ 14.178,00	-R\$ 39.168,72
3	- 73.600,00	R\$ 65.404,39	-R\$ 8.195,61	-R\$ 5.388,75	-R\$ 44.557,47
4	- 69.400,00	R\$ 72.384,58	R\$ 2.984,58	R\$ 1.706,44	-R\$ 42.851,03
5	- 65.200,00	R\$ 80.047,94	R\$ 14.847,94	R\$ 7.382,05	-R\$ 35.468,98
6	- 61.000,00	R\$ 88.450,89	R\$ 27.450,89	R\$ 11.867,78	-R\$ 23.601,20
7	-56.800,00	R\$ 97.669,63	R\$ 40.869,63	R\$ 15.364,41	-R\$ 8.236,79
8	- 52.600,00	R\$ 107.780,11	R\$ 55.180,11	R\$ 18.038,47	R\$ 9.801,68
9	- 48.400,00	R\$ 118.872,39	R\$ 70.472,39	R\$ 20.032,65	R\$ 29.834,33
10	- 44.200,00	R\$ 131.030,75	R\$ 86.830,75	R\$ 21.463,23	R\$ 51.297,57

Fonte: a autora,2023.

A partir do fluxo de caixa é possível obter os indicadores econômicos, tais como o VPL, a TIR e o *Payback*. Os resultados desses cálculos específicos, referente ao cenário apresentado, estão devidamente registrados na Tabela 19.

Tabela 19 - Indicadores econômicos cenário 2.

<b>VPL</b>	R\$396.454,53
<b>TIR</b>	13%
<b><i>Payback</i></b>	8 anos

Fonte: a autora,2023.

Desta forma, com base nos resultados dos indicadores econômicos, fica evidente que este cenário não demonstra viabilidade para o investimento na implementação do projeto. Embora a Taxa Interna de Retorno (TIR) tenha sido superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), o VPL é inferior ao capital inicial investido, o que indica que, durante o período analisado, não foi possível recuperar o valor do investimento inicial. Além disso, o período de *payback* encontrado é de 9 anos.

## 5.4 VIABILIDADE DO CENÁRIO 3

Neste cenário foi considerado a geração de energia elétrica apenas para suprir o consumo das propriedades, mostrado na Tabela 5, sendo assim o montante de 420 kWh/dia. Nos cenários 1 e 2 apresentados anteriormente a geração de energia elétrica proveniente de todo o biogás gerado causava a não utilização de toda a eletricidade gerada e enviada para a rede da concessionária. Portanto foi calculado a quantidade de biogás e em seguida de dejetos necessários para a geração da quantidade necessária de energia elétrica. A geração de biogás será centralizada, ou seja, haverá o transporte da biomassa residual para um único ponto, como sucedeu no cenário 2.

### 5.4.1 Estimativa do potencial elétrico da planta de geração (POT) para o cenário 3

Com o PTCE estabelecido em 420 kWh/dia e considerando o tempo de utilização da planta de geração em 24h e um fator de potência de 0,8 (SOUZA *et al.*, 2004) é obtido por meio da Equação 8 a potência elétrica da planta de geração no valor de 25 kVA.

### 5.4.2 Estimativa do potencial teórico de produção de eletricidade (PTE) para o cenário

A partir do PTCE definido em 420 kWh/dia e visto que a eficiência global de conversão nas máquinas térmicas ( $\eta$ ) é de 35%, calculou-se o PTE a partir da Equação 7. Logo, o potencial teórico de produção de eletricidade é de 1200 kWh/dia.

### 5.4.3 Estimativa de produção de biogás para o cenário 3

Com base na Equação 6 e sabendo que o poder calorífico superior do biogás é 5,35 kWh/m<sup>3</sup> segundo Souza (2006), define-se a produção de biogás necessária em 224,30 m<sup>3</sup>/dia.

### 5.4.4 Estimativa de produção de dejetos para o cenário 3

Fundamentado na Equação 3 e levando em conta os valores dos parâmetros apresentados na metodologia a produção de dejetos necessária é de 8,46 m<sup>3</sup>/dia. Todavia, como neste cenário ocorreu o transporte da biomassa residual para uma central é preciso levar em consideração uma perda relacionada à logística de transporte dos resíduos, neste caso foi considerado 20%. Assim, já considerando esta perda o valor final de dejetos necessários é de 10,15 m<sup>3</sup>/dia.

Como já foi obtido no cenário 1 a quantidade de produção diária de dejetos de cada propriedade, demonstrado na Tabela 6, pode-se concluir que não será necessário a utilização de todo o dejetos disponível e sim apenas 20% de dejetos de cada propriedade. A Tabela 20 apresenta a

quantidade de dejetos que será utilizada de cada propriedade para este cenário. Os dejetos excedentes após tratados serão usados como biofertilizantes nas lavouras das propriedades, essa prática sustentável pode minimizar o impacto ambiental do uso do dejetos sem tratamento no solo, reduzindo o potencial de poluição dos corpos d'água e diminuindo os odores desagradáveis próximo às instalações.

Tabela 20 - Produção diária de dejetos necessária para o cenário 3 de cada propriedade.

<b>Propriedade</b>	<b>Produção diária de dejetos (m<sup>3</sup>/dia)</b>
A	1,53
B	0,73
C	2,81
D	1,34
E	4,88
<b>TOTAL</b>	<b>11,29</b>

Fonte: a autora,2023.

#### 5.4.5 Estimativa do volume dos sistemas de biodigestão para o cenário 3

Como exposto nos outros cenários, o local mais apropriado para a instalação da unidade de geração de energia elétrica e assim a construção do biodigestor para este cenário é a propriedade E, pois, esta granja apresenta o maior número de animais, logo, tem a maior produção de dejetos e sua escolha reduzirá a perda no transporte da biomassa.

Considerando assim os 20% de dejetos produzido em cada propriedade e utilizando a Equação 2, tem-se que o tamanho do biodigestor para este cenário será de 338,55 m<sup>3</sup>, tendo em conta o tempo de retenção hidráulica de 30 dias.

#### 5.4.6 Viabilidade econômica para o cenário 3

Para determinar o capital necessário para a implantação deste cenário foram consultadas algumas empresas fornecedoras de equipamentos para produção de biogás. Para o sistema proposto foi necessário a aquisição do biodigestor central, o motor gerador que contempla também o sistema de filtragem e os painéis de proteção e os equipamentos para a conexão da rede elétrica da concessionária.

O motor gerador escolhido para esta possibilidade de cenário é o de modelo ENGGB 30 da fabricante Enermarc com uma potência nominal de 25 kVA, a aquisição deste inclui o quadro de comando e quadro de proteção para a geração distribuída e o sistema de monitoramento remoto. O biodigestor central foi cotado com a empresa Biokohler, e o modelo escolhido foi o de

mistura completa que conta com sistema de agitação, evitando a formação de crostas.

Na Tabela 21 são apresentados os valores finais, que inclui a aquisição, transporte e instalação dos equipamentos.

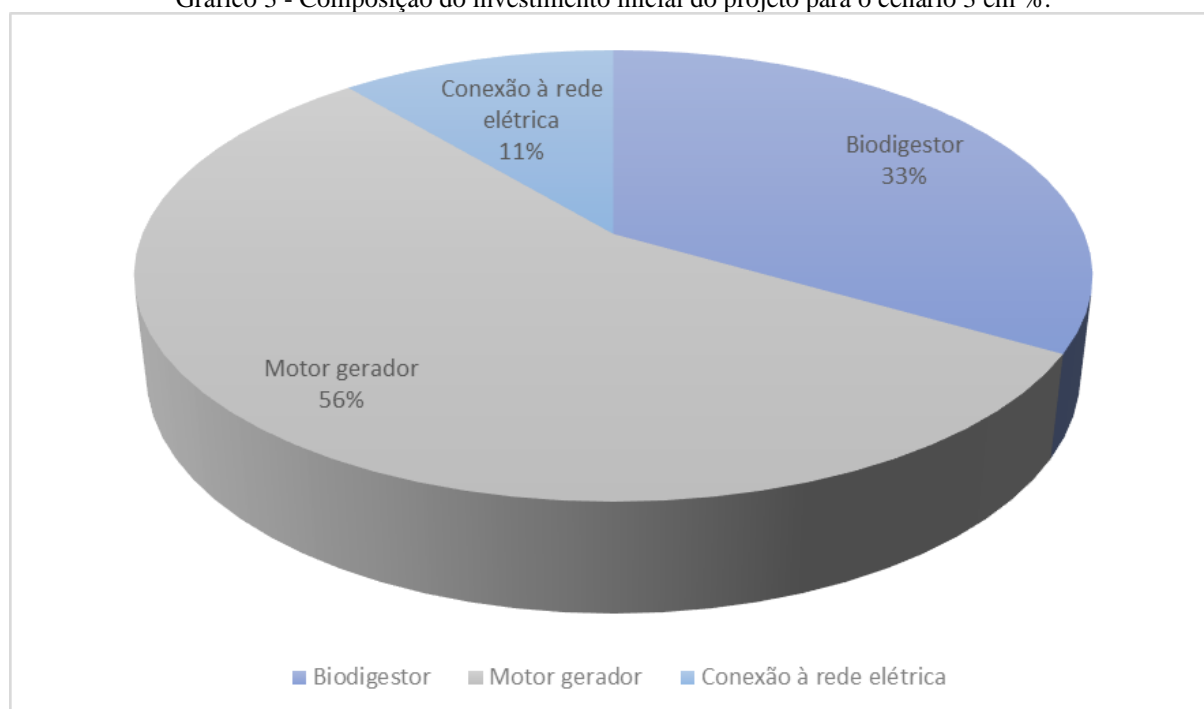
Tabela 21 - Composição do investimento inicial para o cenário 3.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo de aquisição (R\$)</b>
Biodigestor	90.000,00
Motor gerador	150.000,00
Conexão à rede elétrica	30.000,00
<b>Total</b>	<b>270.000,00</b>

Fonte: a autora,2023.

A partir desses valores é possível concluir que a instalação dos biodigestores representa 33% do total dos investimentos, os equipamentos de geração representam 56% e a conexão destes equipamentos com a rede representa 11% do total dos investimentos iniciais para a aplicação do projeto, como pode ser observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Composição do investimento inicial do projeto para o cenário 3 em %.



Fonte: a autora,2023.

O valor total do orçamento em questão foi de R\$270.000,00, com prazo de liquidação de 10 anos em 10 parcelas. A despesa anual do financiamento é o valor fixo da parcela de R\$27.000,00 (valor do financiamento dividido pelo número de parcelas), acrescido os juros

correspondentes do período. Na Tabela 22, encontram-se os valores do financiamento e prestações finais de cada ano.

Tabela 22 - Financiamento e prestações (Métod SAC) para o cenário 3.

<b>Período</b>	<b>Prestação(R\$)</b>	<b>Amortização(R\$)</b>	<b>Juros(R\$)</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
0	-	-	-	270.000,00
1	55.350,00	27.000,00	28.350,00	243.000,00
2	52.515,00	27.000,00	25.515,00	216.000,00
3	49.680,00	27.000,00	22.680,00	189.000,00
4	46.845,00	27.000,00	19.845,00	162.000,00
5	44.010,00	27.000,00	17.010,00	135.000,00
6	41.175,00	27.000,00	14.175,00	108.000,00
7	38.340,00	27.000,00	11.340,00	81.000,00
8	35.505,00	27.000,00	8.505,00	54.000,00
9	32.670,00	27.000,00	5.670,00	27.000,00
10	29.835,00	27.000,00	2.835,00	-

Fonte: a autora,2023.

A receita positiva esperada para este cenário é apenas da economia da não compra de energia elétrica, uma vez que neste cenário não acontecerá o uso de toda a biomassa residual para geração de eletricidade e sim apenas a quantidade necessária para suprir a demanda de 420 kWh de todas as granjas. E os custos operacionais, de manutenção e de logística são as receitas negativas para este cenário. A economia proveniente de cada kWh da energia fornecida pela concessionária que não é consumida, resulta em benefício significativo para as granjas. Ao calcular esta receita ao longo dos períodos de análise do empreendimento, levou-se em conta uma projeção anual de 9,4% no reajuste tarifário (ANEEL,2022). No primeiro ano de análise, o valor economizado por cada kWh é de R\$0,68 (COPEL,2022).

Os custos de manutenção estão associados à substituição periódica de peças, ao fornecimento e reposição de insumos, representando 2% do valor economizado pela não compra de energia elétrica. Os custos logísticos, que é referente ao transporte de toda a biomassa residual até o biodigestor central, corresponde a 1% do valor economizado pela não compra de energia elétrica. Além dessas variáveis, acrescenta-se a depreciação do preço dos equipamentos de geração, que é de 2% ao ano.

Com a receita anual é possível calcular o fluxo de caixa. A Tabela 23 a seguir exemplifica o cálculo do resultado encontrado no fluxo de caixa. A partir deste é possível fazer a análise e a avaliação para determinar a saúde financeira do projeto.

Tabela 23 - Fluxo de caixa para o cenário 3.

<b>Período</b>	<b>Investimento (R\$)</b>	<b>Economia gerada(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa livre(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa descontado(R\$)</b>	<b>Fluxo de caixa descontado acumulado(R\$)</b>
1	- 55.350,00	R\$ 39.043,57	-R\$ 16.306,43	-R\$ 14.179,50	-R\$ 14.179,50
2	- 52.515,00	R\$ 44.406,82	-R\$ 8.108,18	-R\$ 6.130,95	-R\$ 20.310,46
3	- 49.680,00	R\$ 50.324,58	R\$ 644,58	R\$ 423,82	-R\$ 19.886,63
4	- 46.845,00	R\$ 56.850,46	R\$ 10.005,46	R\$ 5.720,66	-R\$ 14.165,98
5	- 44.010,00	R\$ 64.043,14	R\$ 20.033,14	R\$ 9.960,01	-R\$ 4.205,97
6	- 41.175,00	R\$ 71.966,84	R\$ 30.791,84	R\$ 13.312,16	R\$ 9.106,20
7	- 38.340,00	R\$ 80.691,87	R\$ 42.351,87	R\$ 15.921,64	R\$ 25.027,83
8	- 35.505,00	R\$ 90.295,21	R\$ 54.790,21	R\$ 17.911,02	R\$ 42.938,85
9	- 32.670,00	R\$ 100.861,09	R\$ 68.191,09	R\$ 19.384,16	R\$ 62.323,02
10	- 29.835,00	R\$ 112.481,73	R\$ 82.646,73	R\$ 20.429,01	R\$ 82.752,02

Fonte: a autora,2023.

A partir do caixa de fluxo é possível obter os indicadores econômicos.O VPL, a TIR e o Payback calculados para este cenário apresentado foram expostos na Tabela 24.

Tabela 24 - Indicadores econômicos cenário 3.

<b>VPL</b>	R\$289.691,30
<b>TIR</b>	32%
<b>Payback</b>	6 anos

Fonte: a autora,2023.

Logo, com base nos indicadores econômicos obtidos, pode-se constatar a viabilidade econômica para o investimento na implementação do projeto, considerando o cenário 3. Essa conclusão é respaldada pelo VPL positivo de R\$289.691,30, valor maior que o investimento inicial, indicando que o investimento é lucrativo. Além disso, ao considerar a TMA de 10,5% a TIR se revela superior que a TMA, demonstrando a viabilidade do projeto. O retorno do investimento, *payback*, está previsto para o sexto ano, consolidando ainda mais a atratividade deste cenário.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de energia elétrica proveniente do biogás em condomínios de agroenergia é uma estratégia adotada com o intuito de aproveitar um passivo ambiental da criação de suínos em larga escala em potencial energético das propriedades, mitigar problemas ambientais decorrentes dos dejetos animais e aprimorar a qualidade de vida dos produtores.

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram a viabilidade técnica e econômica da implantação de um condomínio de agroenergia para as cinco propriedades estudadas apenas no terceiro cenário analisado em que é utilizado 20% do dejetos disponível de cada granja e gerando a quantidade de energia elétrica necessária demandada de 420 kWh/dia. O restante dos dejetos após tratados será utilizado como biofertilizantes nas propriedades, minimizando o impacto ambiental do uso do dejetos sem tratamento no solo. A implantação deste cenário apresentou um VPL de R\$ 289.619,30, um TIR de 32% e um *payback* de 6 anos.

Os outros dois cenários examinados, referentes ao bio-gasoduto e ao transporte de toda a biomassa residual, não apresentam viabilidade econômica, mesmo com a venda de energia elétrica excedente. No primeiro cenário, a construção do bio-gasoduto corresponde a 67% do investimento inicial, o que representa uma porcentagem consideravelmente alta, tornando inviável a implementação do projeto. No cenário 2, embora a Taxa Interna de Retorno resultante da análise tenha sido positiva, o retorno do investimento não ocorreu dentro do período analisado, tornando o projeto inviável.

A implementação deste condomínio no contexto brasileiro contribui para a sustentabilidade da produção rural, especialmente para os pequenos produtores, ao promover autonomia na geração de energia elétrica. É relevante destacar que, embora a geração de energia seja o objetivo primordial desses condomínios, o biodigestor instalado desempenha uma função crucial na mitigação do potencial poluidor, ao eliminar odores desagradáveis e promover o tratamento adequado dos dejetos provenientes da suinocultura.

Por fim, faz-se necessário considerar que, em todos os casos, os ganhos ambientais obtidos com o tratamento dos dejetos em relação às emissões de gases de efeito estufa evitadas e a redução das fontes pontuais de poluição das águas e solos da região são de extrema importância.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOGÁS. Associação Brasileira de Biogás e Biometano. **ABiogás divulga novo potencial do biogás para o mercado brasileiro**. São Paulo: ABiogás, 2021.

ABRACEEL. Associação Brasileira de Comercializadores de Energia. **Boletim Abraceel – 2022**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://abraceel.com.br/destaques/2022/05/boletim-abraceel-maio-2022/>. Acesso em: 26 jul. 2023.

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no Mundo**. Infográfico ABSOLAR. São Paulo, 2023.

AGEITEC - AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Bovinos de Corte e Suínos**. 2015. Disponível em < <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/> > .

AMARAL, A. C. do., STEINMETZ, R. L. R., KUNZ, A. Os biodigestores. In: KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., AMARAL, A. C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1a ed. Concórdia: Sbera: Embrapa, 2019c, 41-68

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Mercado de Referência - Cálculo tarifário e metodologias**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022

AVACI, A. B., *et al.* Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.4, p.456-462, 2013.

ARANHA, Carla. **Produção de biogás aumenta 21,3% no Brasil em 2022**. UDOP, 12 jan. 2023. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/01/12/producao-de-biogas-aumenta-21-3-no-brasil-em-2022.html>. Acesso em: 18 out. 2022.

ASAE. **ASAE D384.2 MAR2005 – Manure Production and Characteristics**. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2005.

BHATTACHARYYA, C., *et al.* Biofertilizantes como substitutos de agroquímicos comerciais. **Deteção, Tratamento e Remediação de Agroquímicos**, p.263–290, 2020.

BLEY JR, Cícero. **Condomínio cooperativo de agroenergia para agricultura familiar – definição dos requisitos para o projeto**. Anais do I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais. Florianópolis, 2009.

BMELV. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. Ed. 5. 2010. September 2019, p. 105928, 2021.

BRAMBILLA, M. et al. Monitoring of the startuo phase of one continuous anaerobic digester at pilot scale level. **Biomass and Bioenergy**, v. 36, p. 439-446, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Abate de suínos no 2º trimestre de 2021 é o maior desde 1997**. Brasília, 2021.

BRAUN, R. J.; TRENDEWICZ, A. A. Techno-economic analysis of solid oxide fuel cell-based combined heat and power systems for biogas utilization at wastewater treatment facilities. **Journal of Power Sources**, v. 233, p. 380–393, 2013.

BRITO, R.C., *et al.* Gestão de resíduos sólidos urbanos e viabilidade econômica para geração de eletricidade a partir de gás de aterro sanitário e reatores anaeróbios em um estado brasileiro **Ambiente. Tecnol. Inovar**, v. 22, n. 101453, 2021.

BRUUN, L.S., *et al.*, **Small-scale household biogas digesters: an option for global warming mitigation or a potential climate bomb?** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v.33, p. 736–741, 2014.

CASARIN, M. A. Microgeração Distribuída de energia elétrica a partir do biogás de dejetos suínos: uma contribuição para sustentabilidade da suinocultura. 2016. 257p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica- Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2016.

CATANHO, Lucas. A relevância da agricultura familiar no Paraná. **Folha de Londrina**, 07 ago. 2021. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/folha-rural/a-relevancia-da-agriculturafamiliar-no-parana-3095035e.html?d=1>. Acesso em: 19 out. 2022.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. Biodigestores. In: semana de tecnologia em alimentos. Ponta Grossa: UTFPR, 2008.

ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A. **Termodinâmica**. 7. Ed, Porto Alegre: AMGH, 2013.

CERVI, R.G. **Avaliação Econômica do Aproveitamento do Biogás e Biofertilizante produzido por Biodigestão Anaeróbia: Estudo de Caso em Unidade Biointegradora**. Dissertação (Mestrado Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista. Bocatú, 2009.

CHEN, C., *et al.* Challenges in biogas production from anaerobic membrane bioreactors. **Renewable Energy**, v. 98, p. 120-134, 2016.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás. Panorama do Biogás no Brasil 2021. CIBiogás (Brasil) Relatório Técnico nº 001/2022 – Foz do Iguaçu, 2022.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Nota Técnica: Nº 02/2020 – Panorama do biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, 2020.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Nota Técnica: Nº 001/2018 – Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no Oeste do Paraná**. Foz do Iguaçu, 2018.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Características e aplicações do biogás e do digestato**. Curso de Biogás: fundamentos e aplicações. Foz do Iguaçu, 2018.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Conceitos básicos e digestão anaeróbia**. Curso de Biogás: fundamentos e aplicações. Foz do Iguaçu, 2018.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **UD Itaipu**, 2017.

CNA. Confederação da agricultura e pecuária do Brasil. **Panorama do Agronegócio**. 2021.  
CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento Indicadores da Agropecuária. **Estatística agrícola**. Brasília, 2019.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Taxas e Tarifas**. Curitiba, PR, Disponível em: Acesso em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

COSTA, R.; KUNZ, A. Partida e operação de reator UASB em escala de bancada para remoção de carga orgânica em dejetos de suínos. In: JORNADA DE INICIAÇÃO.2006.

CUDJOE, D., *et al.* Prevendo o potencial e a viabilidade econômica da geração de energia usando biogás a partir de resíduos alimentares em Gana: evidências de Accra e Kumasi. **Energy**, v.226, Artigo 120342, 2021.

CUDJOE, D., *et al.* Geração de eletricidade usando biogás a partir de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos gerados em províncias da China: análise de impacto técnico-econômico e ambiental. **Processo de Combustível. Tecnol.**, v.203, Artigo 106381, 2020.

DAL MAGO, A. Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos em Braço do Norte e em Concórdia. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

DENNEHY, C., *et al.* Modelagem estocástica da viabilidade econômica da codigestão na fazenda de esterco suíno e restos de comida na Irlanda. **Appl. Energy**, v.205, p. 1528 - 1537, 2017.

DIELMANN K. P. Mikrogasturbinen Technik und Anwendung. BWK Das Energie- Fachmagazin, 06/2001, Springer VDI Verlag. 2001.

ECOGEN. **As expectativas na produção de biogás e biometano em 2022**. Blog Ecogen. 19 maio 2022. Disponível em: <https://ecogenbrasil.com.br/blogadmin/as-expectativas-na-producao-de-biogas-e-biometano-em2022/#:~:text=Segundo%20%20Associa%C3%A7%C3%A3o%20Brasileira%20de,de%20%20metros%20c%C3%ABabicos%20por%20ano>. Acesso em: 19 out. 2022.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Central de inteligência de aves e suínos - estatísticas**. Curitiba, 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2022**: relatório síntese: ano base 2021. Rio de Janeiro, 2021.

ESPERANCINI, M. S. T., *et al.* Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, 2007.

FREITAS, F. F., *et al.* The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 146–157, 2019.

GARCIA-ARRIAGA, V.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; AMAYA, M.; SOSA, E. H<sub>2</sub>S and O<sub>2</sub> influence on the corrosion of carbon steel immersed in a solution containing 3M diethanolamine. **Corrosion Science**, v. 52, p. 2268–2279, 2010.

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

GITMAN, L. J. Princípios de Administração Financeira, São Paulo: Harbra, 2022.  
**Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 12, p. 1889–1897, 2020.

GONZÁLEZ, C., *et al.* Comparison of combustion properties of simulated biogas and methane. **C.T.F Cienc. Tecnol**, v.3, n.5, Bucaramanga, 2009.

GOVENDER, I. *et al.* Avaliação financeira e econômica de um projeto de biogás para eletricidade **J. Limpo. Prod.**, v.214, pp. 154 – 165,2019.

GUSMÃO, M. M. F. E. C. DE C. Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

HERRERO, M. J. **Taller Biogas (Bolivia – Peru – Ecuador)**, 2018. Disponível em <<http://tallerbiogas.blogspot.com.br/>>. Acesso em 30 nov. 2021.

HOLLAS, C. E., *et al.* Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production. **Journal of Cleaner Production**, v. 354, p. 131654, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Pecuária**.2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa trimestral de abate de animais**. Conselho de Pesquisa, Coordenação Agropecuária, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Resultado definitivo. Rio de Janeiro,2017.

INDAP - Instituto de Desarrollo Agropecuario. **Biogás de recursos agropecuarios en la región de los ríos. Aspectos generales, experiencias y potencial de producción**. 2016.

IRENA. Agência Internacional de Energia Renovável. **Renewable Energy Statistics 2021**. Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos, IRENA, 2021.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Base de Dados do Estado: BDEweb**. Curitiba. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>. Acesso em: 20 fev. 2023.

IPCC. Emissions from livestock and Manure Management. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Kanagawa: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

ITAI. **Relatório Técnico Final de Acompanhamento das Unidades de Geração Distribuída**. Foz do Iguaçu: Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação, 2012.

KHOSHGOFTAR MANESH, M.H., *et al.* Um estudo de viabilidade sobre as vantagens potenciais, econômicas e ambientais da produção de biogás a partir de esterco de aves no Irã. **Renovar Energia**, v.159, p. 87 - 106, 2020.

KUNZ, A., *et al.* Biodigestor par ao tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente. Comunicado Técnico, Embrapa - Suínos e Aves, v. 416, p. 1-5, 2005.

LEE, M. S. *et al.* Effect of digestate and digestate supplemented with biochar on switchgrass growth and chemical composition. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, n.

LEÓN, E.; MARTÍN, M. **Optimal production of power in a combined cycle from manure based biogas**. Energy Conversion and Management, v. 114, p. 89–99, 2016.7

LERMEN, F.H., *et al.* Um framework para seleção de práticas enxutas no desenvolvimento sustentável de produtos: o estudo de caso de uma agroindústria brasileira. **J. Limpo. Prod.**, 2018.

MACIEL, A. M. *et al.* Application of biofertilizers from dairy livestock in planosols. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 151–171, 2019.

MAHMUD, A. A. *et al.* Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 3, p. 100063, 2021.

MARQUES, C. A. Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica. 2012. 81p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Cascavel, 2012.

MARQUES, F.S.; SILVA, F.P. **Método simplificado de identificação de potencial de produção de biogás na suinocultura - terminação**. II Simpósio de bioenergia e biocombustíveis do Mercosul. 2014.

MENEZES LIMA, J.A., *et al.* Avaliação técnico-econômica e de desempenho da produção de energia por digestão anaeróbia no Brasil: efluentes de abatedouros de bovinos, suínos e aves. **J. Limpo. Prod.**, v. 277, Artigo 123332, 2020.

MENSAH, J.H.R., *et al.* Avaliação da geração de eletricidade a partir do biogás no Benin a partir de perspectivas energéticas e de viabilidade econômica. **Renovar Energia**, v.163, p. 613 - 624, 2021

MILANEZ *et al.* Biogás de resíduos agroindustriais: Panorama e Perspectivas. BNDES Setorial 47, p. 221-276, 2018.

MITZLAFF, K. V. Engines for biogas. Eschborn: GTZ, 1988.

MONTOYA, J. P. G., *et al.* **Effect of biogas enriched with hydrogen on the operation and**

**performance of a diesel-biogas dual engine.** v. 5, n. 2, p.61-72, 2013.

OKAMURA, L. A. **Avaliação e melhoria do poder calorífico do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

OLIVEIRA, P.A.V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27, 1993. 188 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIA; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Aplicações do biogás para geração de energia elétrica.** Brasília: MCTI, 2020. E-book. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso.** Universidade de São Paulo, 2006.

PEREIRA, V. J. *et al.* Fertilization with liquid swine manure increases productivity and improves the quality of urochloa decumbens. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 6, p. 1862–1870, 2019.

PEREIRA, B. D., *et al.* Eficiência técnica na suinocultura: efeitos dos gastos com meio ambiente e da renúncia fiscal. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12 n.2, Campina Grande, 2008.

PINHEIRO, P. L. *et al.* Application of biofertilizer in degraded pasture modified C dynamics and improved forage yield in a short-term period at the tropical region.

PINTO, J. A., *et al.* Study of the Anaerobic Co-Digestion of Bovine and Swine Manure: Technical and Economic Feasibility Analysis. **Cleaner Waste Systems**, p. 100097, 2023.

POD. Programa Oeste em Desenvolvimento. Programa de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Território Oeste do Paraná. **Desenvolvimento energético do território Oeste do Paraná: 2016-2026.** Foz do Iguaçu, 2017.

PORTAL DO BIOGÁS. **Formas de uso do biogás.** 2016. Disponível em:<<https://www.portaldobiogas.com/formas-de-uso-do-biogas/>>. acesso em: 18 fev. 2022.

PORTO, B.H.C., *et al.* **Socio environmental impacts of biogas production in a cooperative agroenergy condominium.** Biomass and Bioenergy, v.13, p. 0961-9534, 2021.

PROBIOGAS. **Guia Técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto.** 1ª edição, Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

RATHUNDE, P.H. Viabilidade Econômica da Geração Distribuída do Biogás de Dejetos Animais no Município de Cruz Machado. 2009. Dissertação de Mestrado -Centro Universitário Franciscano. Curitiba, 2009.

REN21: RENEWABLES NOW. **Renewables Global Status Report.** Paris, 2023. Disponível em:

<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 04 abr. 2023

ROBOAGRO. **Suinocultura no Brasil: Conheça a história e entenda sua importância para a economia**. 2021. Disponível em: <<https://www.roboagro.com.br/suinocultura-no-brasil-tudo-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

RODRIGUES, J. S. *et al.* Growth and nutritional status of maize plants in response to different doses and application frequencies of biofertilizer. **Científica**, v. 47, n. 1, p. 123–131, 2019.

ROSILLO-CALLE, F. The role of biomass energy in rural development. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 3, 2000, Campinas. Unicamp, 2000.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.24 n.1 Jaboticabal, 2004.

SCHLEY, P., BECK, M., UHRIG, M., SARGE, S.M., RAUCH, J., HALOUA, F., FILTZ, J.R., HAY, B., YAKOUBI, M., ESCANDE, J., BENITO, A., CREMONESI, P.L. Measurements of the calorific value of methane with the new GERG reference calorimeter. **International Journal of Thermophysics**. v. 31, p. 665-679, fev. 2010

SCHUCH, S. L. M. **Condomínio de agroenergia: Potencial de disseminação na atividade agropecuária**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

SEAB. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. Curitiba, 2017.

SILVA, E. *et al.* Lab-scale and economic analysis of biogas production from swine manure. **Renewable Energy**, v. 186, p. 350-365, 2022.

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

SILVA, P. P. *et al.* Resposta de cultivares de *Brachiaria brizantha* a doses de biofertilizantes de aves. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 3, p. 286–289, 2014.

SNESHA, S. *et al.* Biofertilizer for crop production and soil fertility. **Academia Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. August, p. 299–306, 2018.

SOUZA, J. **Desempenho de um motor de combustão interna ciclo otto operando com gás natural e biogás**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2006.

SOUZA, S. N. M., *et al.* Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v, 26, p. 127-133, 2004.

SOUZA, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural**.



Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2016.

STRAPASSON, A.B., *et al.* Matérias-primas para geração de biocombustíveis. In: Carlos Augusto Perlingeiro. (Org.). Biocombustíveis no Brasil: fundamentos, aplicações e perspectivas. 1ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2014, v. 1, p. 49-81.

SILVA, F.P., *et al.* **Energy efficiency of a micro-generation unit of electricity from biogas of swine manure.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.7, p.1364-0321, 2017.

UDDIN, W., *et al.* Biogas potential for electric power generation in Pakistan: A survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 25-33, 2016.

USDA. **Pecuária e aves: mercados e comércio mundiais Estados Unidos Dep. Agrícola Estrangeiro.** Serv. Glob. Marca. Anal., 31, 2021

VELÁSQUEZ PIÑAS, J.A., *et al.* Uma avaliação de viabilidade econômica holística de usinas de biogás centralizadas e descentralizadas com sistemas de monodigestão e codigestão **Renovar Energia**, v.139, p. 40 – 51, 2019.

VISAKHAMOORTHY, S. et al. Numerical study of a homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine fueled with biogas. **Applied Energy**, v. 92, p. 437–446, abr. 2012.

WU, B.; BIBEAU, E. L. **Development of 3-D anaerobic digester heat transfer model for cold eather applications.** TRANSACTIONS AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, v. 9, n. 3, p. 749, 2016.