



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA
ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA RESULTANTE DE DEJETOS
GERADOS NA PECUÁRIA DO ESTADO DO PARANÁ**

CLEBER MOREIRA DE SOUZA

Dissertação de Mestrado

MARINGÁ
2024



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

CLEBER MOREIRA DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA
ELETRICA A PARTIR DA BIOMASSA RESULTANTE DE DEJETOS
GERADOS NA PECUÁRIA DO ESTADO DO PARANÁ**

Acadêmico: Cleber Moreira de Souza

Dissertação encaminhada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia como parte dos requisitos para a obtenção do grau de mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnanni.

Maringá, abril de 2024.



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S729a

Souza, Cleber Moreira de

Avaliação do potencial de geração de biogás e energia elétrica a partir da biomassa resultante de dejetos gerados na pecuária do estado do Paraná / Cleber Moreira de Souza. -- Maringá, PR, 2024.

95 f. : il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnanni.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2024.

1. Biocombustíveis - Engenharia química. 2. Potencial energético. 3. Biogás. I. Ravagnanni, Mauro Antônio da Silva Sá, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.

CDD 23.ed. 665.3



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por **Cleber Moreira de Souza** perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Bioenergia em 12 de abril de 2024.

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani,
Orientador/Presidente.

Prof. Dr. Telmo Adriana Pacifico Martirelli,
Membro.

Prof. Dr. Daniel Tait Vareschini,
Membro.

AGRADECIMENTOS



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar meu caminho e pela oportunidade da vida. Ao Programa de pós-graduação em bioenergia da Universidade Estadual de Maringá, que proporcionou a realização deste sonho, possibilitando um crescimento pessoal e profissional. Aos professores pelas orientações durante as apresentações dos seminários, em especial ao orientador, Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnanni, por todo conhecimento compartilhado, orientações, sugestões e presteza no auxílio quanto ao desenvolvimento deste trabalho. A secretária Maria Sueli B. Peron por todo auxílio na parte de documentações e orientações referentes ao programa. Minha gratidão a todos que se fizeram presente, acreditaram e me ajudaram nesta etapa de conhecimento.



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA RESULTANTE DE DEJETOS GERADOS NA PECUÁRIA DO ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

O aumento da emissão de poluentes atmosféricos, associados à preocupação com os impactos ambientais negativos da queima de combustíveis fósseis para geração e uso de energia tem impulsionado debates sobre práticas limpas na geração de energia elétrica, intensificando os esforços para substituir estas fontes poluentes e limitadas por combustíveis limpos e renováveis como o biogás. O Paraná é destaque quando se trata do assunto, sendo o estado que possui o maior número de biodigestores instalados, e com crescentes investimentos nessa tecnologia. Este trabalho tem por objetivo realizar uma avaliação quantitativa e qualitativa do potencial energético a partir da geração do biogás no Estado do Paraná, como alternativa para o tratamento de efluentes e substratos gerados pela pecuária, de forma a transformar o que seria um passivo ambiental, na geração de energia elétrica, bem como para a aplicação térmica, purificação, recuperação de CO₂ e esterilização. Observou-se que o potencial de produção de energia elétrica a partir dos dejetos nos anos de 2020 a 2022 equivale em média a $3,07 \times 10^9$ kWh/ano. Do total geral de energia elétrica que pode ser gerada, 50% corresponde à avicultura, que tem potencial de geração em média de $1,50 \times 10^9$ kWh/ano. A suinicultura, contribui com um valor de 11,6%, com potencial de geração média de $3,50 \times 10^8$ kWh/ano e a bovinocultura contribui com um valor de 38,4% do valor total, com potencial de geração média de $1,15 \times 10^9$ kWh/ano. De acordo com a análise realizada pode-se concluir que o estado do Paraná possui uma enorme capacidade de expansão no que tange o aproveitamento energético através dos dejetos oriundos da pecuária do Estado, concentrando o maior potencial de produção de biogás e o maior índice de aproveitamento entre os estados sul brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis. Potencial energético. Biogas.



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

**ASSESSING THE POTENTIAL FOR GENERATING BIOGAS AND
ELECTRICITY FROM BIOMASS RESULTING FROM LIVESTOCK WASTE IN
THE STATE OF PARANÁ**

ABSTRACT

The increase in the emission of atmospheric pollutants, coupled with concern about the negative environmental impacts of burning fossil fuels to generate and use energy, has spurred debates on clean practices in electricity generation, intensifying efforts to replace these polluting and limited sources with clean and renewable fuels such as biogas. Paraná stands out when it comes to this issue, being the state with the largest number of biodigesters installed, and with growing investments in this technology. The aim of this work is to carry out a quantitative and qualitative assessment of the energy potential from biogas generation in the state of Paraná, as an alternative for treating effluents and substrates generated by livestock, in order to transform what would be an environmental liability into electricity generation, as well as for thermal application, purification, CO₂ recovery and sterilization. It was observed that the potential for producing electricity from waste in the years 2020 to 2022 is equivalent to an average of 3.07×10^9 kWh/year. Of the total electricity that can be generated, 50% corresponds to poultry farming, which has the potential to generate an average of 1.50×10^9 kWh/year. Pig farming contributes 11.6%, with an average generation potential of 3.50×10^8 kWh/year and cattle farming contributes 38.4% of the total, with an average generation potential of 1.15×10^9 kWh/year. According to the analysis carried out, it can be concluded that the state of Paraná has enormous capacity for expansion when it comes to using energy from livestock waste in the state, concentrating the greatest potential for biogas production and the highest rate of use among the southern Brazilian states.

KEYWORDS: Biofuels. Energy potential. Biogas.



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01.	Esquema representativo da visão interna do reator modelo Canadense.....	22
Figura 02.	Biodigestor de modelo Canadense ou de lona.....	24
Figura 03.	Fases da conversão energética do biogás.....	27
Figura 04.	Fluxograma do projeto.....	45
Figura 05.	Potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná em Suinocultura.....	48
Figura 06.	Potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná em Bovinocultura.....	49
Figura 07.	Potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná em Avicultura de corte e de postura.....	51
Figura 08.	Fonte do Substrato – Indústria. Principal uso – energia elétrica.....	52
Figura 09.	Fonte do Substrato – Indústria. Principal uso – energia térmica.....	52
Figura 10.	Fonte do Substrato – Agropecuária. Principal uso – energia elétrica.....	53
Figura 11.	Fonte do Substrato – Agropecuária. Principal uso – energia térmica.....	53
Figura 12.	Fonte do Substrato – RSU ou Esgoto. Principal uso – energia elétrica.....	54



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

LISTA DE QUADROS

Quadro 01.	Composição química do biogás.....	20
Quadro 02.	Tecnologias utilizadas para geração de energia a partir do biogás.....	28
Quadro 03.	Ambiente Institucional para produção de biogás no estado do Paraná.....	32
Quadro 04.	Plantel Paranaense entre os anos de 2020 à 2022.....	58
Quadro 05.	Valores médios diários da produção de dejetos.....	59
Quadro 06.	Valores da quantidade de CH ₄ gerados a partir de dejetos.....	63
Quadro 07.	Volume do biogás corrigido em função do processo.....	70
Quadro 08.	Poder calorífico do biogás a partir da concentração de metano.....	71
Quadro 09.	Valor teórico do Potencial médio de conversão de biogás em energia elétrica.....	72
Quadro 10.	Número de habitantes por mesorregião geográfica.....	77



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

LISTA DE TABELAS

Tabela 01.	Volumes de metano e biogás corrigidos e potencial teórico de geração de energia elétrica.....	76
Tabela 02.	Quantidade de habitantes atendidos pela energia elétrica gerada a partir dos dejetos da pecuária Paranaense.....	77
Tabela 03.	Comparativo do aumento de número de cabeças e geração de energia elétrica entre 2019 e 2022.....	79



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01.	Número de cabeças do plantel de bovinos do estado do Paraná, entre os anos de 2020 à 2022.....	55
Gráfico 02.	Número de cabeças em milhões do plantel de suínos do estado do Paraná, entre os anos de 2020 à 2022.....	56
Gráfico 03.	Número de cabeças em milhões do plantel de galináceos do estado do Paraná, entre os anos de 2020 à 2022.....	57
Gráfico 04.	Plantel Paranaense entre os anos de 2020 à 2022.....	58
Gráfico 05.	Valores da quantidade de CH ₄ gerados a partir de dejetos.....	64
Gráfico 06.	Valores da quantidade de CH ₄ e do volume do biogás corrigido em função do processo.....	70
Gráfico 07.	Potencial teórico de geração de energia elétrica.....	75



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABiogás	Associação Brasileira do Biogás
ANEEL	Agência Nacional de energia elétrica
ANP	Agência de notícias do Paraná
CAF	Cadastro da Agricultura Familiar
CENBIO	Centro Nacional de Referência da Biomassa
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
Compagas	Companhia Paranaense de Gás
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
Conc.	Concentração
Confaz	Conselho Nacional de Política Fazendária
CH₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
Copel	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CPF	Cadastro Nacional de Pessoa Física
DAP	Declaração de Aptidão ao Pronaf
DERAL	Departamento de Economia Rural
Emater	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de pesquisa energética
ES	Espírito Santo
Et	Esterco total



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

FA	Fundação Araucária
FER	Frente Parlamentar de Energia Renovável
FPTI	Fundação Parque Tecnológico Itaipu
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GDER	Geração Distribuída com Energias Renováveis
GIZ	Agência Técnica de Cooperação Alemã
GO	Goiás
GWh	Giga Whats hora
H₂	Hidrogênio
H₂O	Água
H₂S	Sulfeto de hidrogênio
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Serviços
Ipardes	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
ITAI	Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação
Kg	Quilogramas
Labiogás-PR	Rede Paranaense de Laboratórios de Biogás
m³	Metro cúbico
Mtep	Milhões de tonelada equivalente de petróleo
MPA	Movimento Nacional dos Pequenos Agricultores
MW	Mega Whats



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

MWh	Mega Whats hora
N₂	Nitrogênio
NAPI	Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação
Nm³	Normal metro cúbico
O₂	Oxigênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
Pb	Produção de biogás
PCI	Poder calorífico inferior
PIBB	Programa de Incentivo à Produção e ao Aproveitamento de Biogás, de Biometano e de Coprodutos Associados
PL	Projeto de Lei
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
PR	Paraná
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, 2016
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PVC	Policloreto de vinil
RenovaPR	Programa Paraná Energia Rural Renovável
RICMS/PR	Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação do Estado do Paraná
RSU	Resíduos sólidos urbanos
Scielo	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SEAB	Secretaria da Agricultura e Abastecimento
Seab	Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Seagri	Sistema Estadual de Agricultura
Sedest	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo
Seti	Superintendência Geral de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior
SP	São Paulo
T	Tempo
Tecpar	Instituto de Tecnologia do Paraná
TWh	Terawats hora
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
Unica	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
UPL	Unidade de Produção de Leitões
UTB	Usina Termelétrica a Biogás Municipal do Brasil



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	O biogás no cenário dos biocombustíveis e a sustentabilidade econômica.....	19
2.2	Biodigestor.....	21
2.3	Biodigestor de modelo Canadense.....	24
2.4	Geração de energia a partir do biogás.....	26
2.4.1	Motores de combustão interna.....	29
2.4.2	Turbinas a gás.....	30
2.5	O papel do Estado no fomento do desenvolvimento da produção de biocombustíveis.....	31
2.6	Levantamento de dados referente à produção de biogás no estado do Paraná.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1	Panorama do biogás no estado do paraná em 2019	47
3.2	Quantificação dos sistemas de produção de biogás no estado do Paraná.....	51
3.3	Coleta de dados.....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
4.1	Estimativa do potencial teórico de produção de biogás.....	58
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
	REFERÊNCIAS.....	84

**1. INTRODUÇÃO**

As formulações e reavaliações das políticas energéticas, alvo de mudanças e adaptações de acordo com a situação política, econômica e climática de cada país, possuem em comum, o objetivo de minimizar a concentração de dióxido de carbono (CO₂) emitido para a atmosfera, oriundo dos processos de produção de energia. Neste contexto, a utilização de energias renováveis ganhou representatividade no panorama energético, principalmente após os elevados preços do petróleo como consequência das crises dos anos 1970 e 1980 (Ferreira Junior e Rodrigues, 2015), que tornou necessária a reestruturação da cadeia energética dos países, que passaram a introduzir em suas matrizes energéticas, ações que diminuem em ritmo crescente a queima de petróleo, gás natural, carvão e combustíveis de origem não renovável.

O agravamento dos problemas ambientais e os impactos negativos da queima de combustíveis fósseis para geração de energia, junto à constante variação e elevação do preço do petróleo tem despertado o interesse no desenvolvimento de fontes energéticas alternativas, impulsionando debates sobre práticas limpas na geração de energia elétrica (Salvador, et al. 2018).

O aumento da emissão de poluentes atmosféricos, associado à poluição da água e do ar, causada pela atividade industrial e pela alta geração de resíduos agrícolas acentuam as preocupações em relação à poluição do ar atmosférico. Soma-se a isso, a constante desordem pela qual tem passado o Sistema Energético Brasileiro nos últimos anos, que mesmo com a ampliação e implantação de diversos equipamentos para melhoria da rede elétrica, ainda apresentam falhas que causam retrocessos no fornecimento de energia elétrica para alguns pontos do país (Seabra Júnior; Colmenero; Braghini Junior, 2021). Neste sentido, destaca-se a importância do investimento na diversificação da matriz energética de forma a suprir a demanda energética com diferentes fontes de energia.

Esta versatilidade em termos de energias renováveis é fundamental para o desenvolvimento do país, proporcionando melhorias no padrão de vida da população, principalmente nas áreas rurais que podem se beneficiar da



cogeração, devido ao aumento da disponibilidade de energia (Seabra Júnior; Colmenero; Braghini Junior, 2021).

De acordo com *Losekann* e *Tavares* (2020), o Brasil tem uma condição única dentro dos *BRICS*, com forte participação de renováveis na matriz energética, com uma indústria de biocombustíveis já madura, apresentando alternativas aos derivados de petróleo.

Devido ao potencial energético, não apenas em usinas hidrelétricas, mas também em fontes alternativas de energia, como energia solar, eólica, biomassa, entre outras (*Almeida, et al., 2017*), nos últimos anos, o Brasil tem sido avaliado por importantes agências e instituições internacionais do setor elétrico que destacam o potencial de aproveitamento energético do biogás obtido de depósito de biomassa residual (*Coimbra-Araújo, et al. 2014*) de forma a mitigar os impactos ambientais, gerados com o aumento da poluição resultante das cadeias produtivas de suínos, bovinos e avícolas (*Almeida, et al., 2017*). Nesse cenário de abundância de recursos, o Brasil deve promover a expansão da oferta de energia de modo a sustentar a retomada do crescimento econômico, elevando a disponibilidade energética por habitantes mantendo o caráter fortemente renovável da sua matriz energética (*Losekann e Tavares, 2020*).

A produção animal é uma das atividades mais expressivas do agronegócio brasileiro, e o estado do Paraná se destaca como o terceiro maior produtor de suínos, e maior produtor de aves do país, possuindo um alto potencial energético a partir de dejetos animais (*Mancini, et al. 2019*). O uso de biodigestores é, o método mais eficaz no tratamento desses resíduos, pois neutraliza-se os dejetos animais nas propriedades permite-se a geração de energia aos pequenos produtores (*Almeida, et al., 2017*).

O Estado tem capacidade de produzir 1,1 bilhão de Nm^3/ano do produto, liderando a produção de biogás no Sul do País, conforme documento publicado em dezembro de 2019 pelo *Global Environment Facility* (GEF) Biogás Brasil que apontou que entre os estados sul brasileiros o Paraná destaca-se entre os três com 105 plantas em operação, seguido de Santa Catarina com 36 e Rio Grande do Sul com 25. Todas essas unidades acumulam uma produção de biogás de

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

150,8 milhões Nm^3/ano . Comparado aos demais estados, o Paraná gerou 16,4 milhões de Nm^3/ano da energia limpa, superando Santa Catarina (12,8 milhões Nm^3/ano) e Rio Grande do Sul (3,3 milhões Nm^3/ano). O bom resultado foi puxado especialmente pela Região Oeste, reflexo da maior produção de proteínas originadas de suínos e frangos do Estado. De acordo com o estudo, 70% da região está apta para receber um arranjo de produção de biogás, obtido a partir dos dejetos da suinocultura ou avicultura. O percentual do Oeste é semelhante ao de todo o Paraná, que tem 69,91% do seu território considerado propício para a exploração do gás (Freddo; Martinez; Bastos, 2019).

Por se tratar de uma fonte de energia renovável, que reduz a emissão de gases do efeito estufa, a utilização do biogás em conjunto com a biomassa são as formas mais econômicas para o pequeno produtor, pois possui alto poder calorífico, auxiliando na redução do custo do produtor permitindo uma participação no fornecimento final de energia, possibilitando a distribuição da energia excedente para outras regiões pelas concessionárias (Sandim, et al., 2019).

Considerando a grande quantidade de matéria-prima (biomassa) resultante de dejetos gerados na produção animal, o presente trabalho pretende contribuir com a demanda por estudos que avaliem o potencial de produção de biogás como combustível a partir do uso de biodigestores, no estado do Paraná, devido ao grande potencial apresentado pelo estado na produção de biogás, bem como do passivo ambiental, que pode ser usado como energia elétrica, para a aplicação térmica, purificação, recuperação de CO_2 e esterilização.

Desta forma, este estudo tem como objetivo principal avaliar o potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa resultante de dejetos gerados na pecuária do estado do Paraná.

Para alcançar esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram avaliados:

- Analisar o papel do Estado no fomento do desenvolvimento da produção de biocombustíveis, por meio do Programa Paraná Energia Rural Renovável (RenovaPR);

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

- Levantar o potencial de geração de biogás a partir dos dejetos gerados na produção animal;
- Realizar levantamento bibliográfico e quantificar os sistemas de produção de biogás no Paraná;
- Analisar a evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no estado do Paraná;
- Definir e apresentar as potencialidades do biogás no estado do Paraná, na geração de energia elétrica;

A apresentação da dissertação está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo é referente à introdução, a importância do seu estudo e os objetivos a serem atingidos. No capítulo dois segue a revisão da literatura, destacando o cenário dos biocombustíveis e a sustentabilidade econômica, o biodigestor e a geração de energia a partir do biogás, assim como o papel do Estado no fomento do desenvolvimento da produção de biocombustíveis e o levantamento dos dados referente à produção de biogás no estado do Paraná. Os materiais e métodos utilizados são descritos no capítulo três, com destaque para o panorama do biogás no estado do Paraná, a quantificação do sistema de produção do biogás no Paraná e a coleta de dados. No capítulo quatro são apresentados os resultados e discussão dos resultados obtidos durante a pesquisa. Em seguida, no capítulo cinco são apresentadas as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros. Finalizando o presente trabalho são apresentadas as referências utilizadas.

Os dados gerados neste estudo são úteis para demonstrar o potencial de geração de biogás e energia elétrica a partir dos dejetos gerados pela pecuária paranaense, contribuindo para o ambiente e para o desenvolvimento sustentável.



2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O biogás no cenário dos biocombustíveis e a sustentabilidade econômica

No Brasil a queda da oferta de energia hidráulica, associada à escassez hídrica e ao acionamento das usinas termelétricas impulsionou a participação das energias renováveis na matriz energética (Brasil, 2022). Associa-se a isso, o atual ambiente econômico, com evidente destaque as questões relativas ao desenvolvimento sustentável, e a preocupação com os impactos negativos da utilização de combustíveis fósseis que tem aberto portas para as fontes renováveis de energia, que ganham cada vez mais importância na sociedade. Neste cenário, o biogás apresenta-se como alternativa de complementação de uma matriz energética, com produção de energia limpa e renovável, equilibrando a utilização de recursos energéticos (Abreu, 2014).

A produção de biogás a partir de dejetos provenientes da pecuária representa uma oportunidade de transformar o que inicialmente é um passivo, em um ativo ambiental, pois, além de permitir uma destinação adequada ambientalmente aos subprodutos da pecuária, apresenta como resultado um potencial energético, capaz de contribuir com o crescimento da demanda energética cuja oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 301,5 Mtep (Milhões de tonelada equivalente de petróleo) em 2021, registrando um avanço de 4,5% em relação ao ano anterior (Brasil, 2022).

O biogás é um combustível renovável e sustentável, derivado da digestão anaeróbia da biomassa e elegível para substituição do gás natural (Budzianowski, et al., 2017). Trata-se de um gás incolor e em alguns casos inodoro, dependendo da composição. Esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH_4) e por dióxido de carbono (CO_2), além de outros compostos em menor proporção, como apresentado no Quadro 01.



Quadro 01 - Composição química do biogás

GÁS	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAGEM NA MISTURA GASOSA
Metano	CH ₄	50 a 75
Dióxido de Carbono	CO ₂	25 a 40
Hidrogênio	H ₂	1 a 3
Nitrogênio	N ₂	0,5 a 2,5
Oxigênio	O ₂	0,1 a 1
Sulfeto de Hidrogênio	H ₂ S	0,1 a 0,5
Amoníaco	NH ₃	0,1 a 0,5
Monóxido de Carbono	CO	0 a 0,1
Água	H ₂ O	Variável

Fonte: Adaptado de Biogás *Renewable Energy* (2022).

A produção de biogás é realizada por meio de uma tecnologia capaz de se adaptar a distintas escalas produtivas e a diferentes ambientes geográficos, a partir de fontes diversificadas e renováveis de biomassa, o que não ocorre com os derivados de petróleo. Por este motivo, o biogás se torna um importante instrumento para a busca da sustentabilidade, dos pontos de vista ambiental, social e econômico, pois trata-se de uma fonte de energia renovável, que reduz a emissão de gases do efeito estufa, a dependência na importação de combustíveis fósseis e a geração de resíduos. Além disso, gera empregos, e possui flexibilidade e eficiência de uso, podendo ser usado como fonte de calor e eletricidade, e, quando necessário, armazenado (Plugge, 2017).

Apesar do movimento ascendente de 2019 para 2020, na capacidade instalada e geração distribuída quando alcançou 42 MW, a participação do biogás na oferta interna de energia ainda é tímida (0,1%). Porém, vem apresentando crescimento acelerado, de 27% a.a. no último quinquênio, sendo



que grande parte do potencial deste biocombustível encontra-se no setor sucroenergético (ANEEL, 2020b).

No Brasil, destaca-se a prevalência de substratos de origem agropecuária na produção de biogás pelos sistemas de biodigestão. Como há grande flexibilidade no tamanho e escala dos biodigestores, existe um enorme potencial para a geração compartilhada de energia elétrica. Os gases produzidos pela digestão anaeróbica, em especial o metano, além de terem grande potencial energético, produzem uma energia limpa, renovável e, capaz de reduzir as emissões de CO₂ (Milanez; Maia; Guimarães, 2021).

As principais aplicações do biogás são a sua combustão direta e a combustão interna em motores. Durante a combustão direta, o biogás é queimado a fim de fornecer calor para caldeiras, secadores ou aquecedores. Já a utilização em motores, consiste em sua conversão em energia elétrica ou mecânica (Freitas, et al., 2019). Para obtenção de biogás pode ser utilizado um biodigestor, capaz de gerar energia por meio da coleta e queima dos gases oriundos do processo de fermentação anaeróbica dos efluentes e a geração de biogás, reduzindo os resíduos poluentes dos dejetos animais.

Na sequência, apresentamos o princípio de funcionamento de um biodigestor, e os modelos disponíveis no mercado, para geração de biogás a partir dos dejetos gerados na pecuária.

2.2. Biodigestor

Na prática, a produção de biogás é possível com a utilização de um equipamento denominado de biodigestor. Um biodigestor é uma câmara fechada, que não permite a entrada de ar, onde a biomassa (resíduos) sofre a digestão por micro-organismos anaeróbios, produzindo gás. Pode ser construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, onde é colocado o material a ser digerido (Alves; Inoue; Borges, 2010).

A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor, com a consequente geração de biogás, chama-se digestão anaeróbica, processo que Alves, Inoue e Borges (2010) consideram como opção viável para o tratamento biológico dos resíduos, pois demandam pequena área e são de construção



simples, além de permitir a redução do potencial poluidor, configurando-se como importante setor energético, capaz de fornecer os benefícios da energia e a produção de biofertilizantes, principais produtos do processo anaeróbico, com benefícios no aumento da produtividade e preservação do meio ambiente.

O biodigestor anaeróbico (Figura 01) é um sistema fechado onde é feita a degradação da matéria orgânica por ação microbiológica, que geralmente conta com um sistema de entrada de matéria orgânica, um tanque onde ocorre a digestão e um mecanismo para retirada de subprodutos.

Figura 01 – Esquema representativo da visão interna do reator modelo Canadense



Fonte: Steinmetz; Amaral; Kunz (2019).

Existem vários tipos de digestores, porém todos eles visam basicamente criar condição anaeróbia, isto é, total ausência de oxigênio na biomassa a ser digerida. Os modelos de biodigestores são elaborados de acordo com as características do substrato, assim como as características locais: solo, temperatura, quantidade de produção de matéria prima, características do substrato, entre outros (Sturmer et al. 2011). Os biodigestores são classificados quanto a sua forma de abastecimento em: Batelada e Contínuos.

Os biodigestores em batelada, são os biodigestores não-contínuos. Em outras palavras, há períodos específicos em que eles funcionam. Assim, a recarga ocorre de uma só vez a cada ciclo. Nessa alimentação, coloca-se muita

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

matéria orgânica. Em seguida, fecha-se o sistema, não permitindo a entrada de oxigênio. Feito esses procedimentos, o biodigestor fica fechado por um período de 40 a 60 dias. Depois desse tempo, a matéria orgânica já foi consumida. Isso diminui a produção de biogás e possibilita a retirada de parte do fertilizante. O ideal é deixar, ainda, 20% do material no biodigestor para garantir que na próxima batelada haja material suficiente para se decompor. Sendo assim, um novo ciclo se inicia após uma nova alimentação.

Os biodigestores tipo batelada, são formados apenas pela estrutura em si da câmara de biodigestão (feita de alvenaria) e pelo medidor de gás (gasômetro). Por isso, eles são considerados um sistema simples e de fácil manutenção. Entretanto, por não ter uma alimentação contínua, ele costuma ser utilizado apenas em locais onde há uma periodicidade na produção de biomassa.

Diferentemente dos biodigestores em batelada, o modelo de biodigestor contínuo é alimentado sucessivamente por meio de dutos de alimentação. O biogás é removido através de tubulação em cima, e o biofertilizante é retirado por meio de canos de saída.

Os biodigestores contínuos podem ficar de diferentes formas no solo. Em um sistema vertical, a alimentação é feita por baixo e a saída do gás é na parte de cima. Costumam ficar enterrados, demandando maiores cuidados com a escavação do projeto e riscos de contaminação. Já nos sistemas horizontais, a alimentação e a saída são laterais. Têm a possibilidade de serem ou não submersos. Para esse tipo de biodigestor, o material deve ser de fácil decomposição. Dessa forma, recomenda-se triturar (se possível) e diluir esse substrato. Isso evita a ocorrência de entupimento na tubulação do biodigestor e formação de crostas na parte interna.

Geralmente os biodigestores são construídos adaptando-se às necessidades locais. Desse modo, a escolha do modelo deve levar em consideração a análise da qualidade de biomassa que estará disponível para utilização. Dessa maneira será possível calcular a capacidade de produção de biogás. O nível de consumo diário de biogás para a atividade a que está destinado se constitui noutra variável muito importante a se levar em conta, quando da definição acerca das dimensões do equipamento (Pereira, 2009).

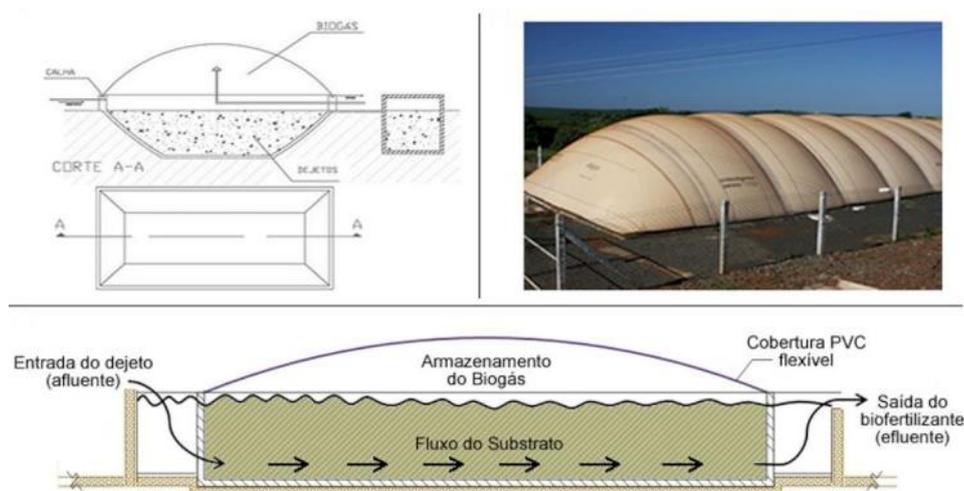


Os biodigestores mais conhecidos e utilizados no Brasil são os modelos Indiano, Chinês e o Canadense. A seguir, descrevemos as características e vantagens do biodigestor de modelo Canadense, que faz dele o melhor modelo a ser utilizado na geração de biogás a partir dos dejetos gerados pela pecuária paranaense.

2.3. Biodigestor de modelo Canadense

O biodigestor de modelo Canadense ou de lona (Figura 02), tem sido o tipo mais utilizado para geração de biogás nas propriedades rurais, principalmente por conta do fácil processo de instalação e impulsionado pelo mercado de crédito de carbono (Bell et. al. 2019; Pigosso et al., 2019). Esse modelo de biodigestor possui baixo custo de implementação em relação aos biodigestores com campânulas metálicas ou de fibra de vidro (Lindemeyer, 2008), e seu nível tecnológico se caracteriza pela baixa permeabilidade de fluídos e gases, sendo normalmente usados para o tratamento de efluentes que contém baixa concentração de sólidos e baixa carga volumétrica (Reis, Liege, 2020).

Figura 02 – Biodigestor modelo Canadense ou de lona.



Fonte: <https://energiaebiogas.com.br/biodigestor-modelos-e-configuracoes> Acesso em: 22 out. 2023.



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

O biodigestor de modelo Canadense foi desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970 e apresenta uma tecnologia mais moderna, ainda que possua uma construção simples. Esse modelo é baseado e funciona com o método de alimentação contínua. O substrato entra por uma extremidade, passa pelo biodigestor e é descarregado na outra extremidade (Haack, 2009).

É um modelo horizontal e, tem a largura maior que a profundidade. Sua área de exposição ao sol é maior. Com isso, é maior a produção de biogás. Para sua cúpula utiliza-se comumente manta de polietileno de alta densidade (PEAD), com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta ou branca, para que a mesma possa resistir às variações de temperatura e condições climáticas. Considerando que a lona infla como um balão com a produção de gás, outra função dessa lona é conceder pressão ao gás armazenado, onde o próprio peso da lona ajuda a pressurizar o interior do reservatório.

Esse modelo com cobertura em lona de policloreto de vinila (PVC), em substituição às campânulas (metálica ou fibra de vidro), vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A cúpula pode ser retirada, o que ajuda na limpeza.

No revestimento interno pode ser utilizado material sintético flexível, como manta de PVC, com espessuras de 0,8 mm a 1 mm, na cor preta. Pode ser construído enterrado ou não.

Esse modelo tem uma grande área de exposição ao sol o que em locais mais quentes pode ser positivo, pelo fato de aumentar a taxa de proliferação dos microrganismos e, conseqüentemente a velocidade da digestão. Por outro lado, em locais mais frios o efeito é o contrário, retardando, assim, o processo (Cibiogás, 2020).

O fato de o Brasil ser um país com clima tropical torna favorável os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia da matéria orgânica. Tanto a biodiversidade que nutre os detritos continuamente quanto as condições climáticas, com temperaturas médias altas variando entre 25 e 28°C, possibilitam a garantia de ocorrência dos processos biológicos adequados dentro do biodigestor.



A vantagem desse processo está na produção constante de biogás que é relacionado com a carga diária de sólidos voláteis (Haack, 2009). À medida que o biogás é produzido, a cúpula plástica maleável é inflada e o biogás é acumulado, ou pode ser enviado a um gasômetro separado para se obter um maior controle operacional (Junqueira, 2014). O fluxo de dejetos pode ser gerado através de descargas por gravidade ou através de bombas de recalque. A remoção de lodo e a recirculação dos dejetos realizada por bomba hidráulica facilita a agitação do substrato por meio de mistura hidráulica. Conforme o efluente vai sendo produzido, ele é encaminhado a um tanque devidamente impermeabilizado e, posteriormente, é utilizado para aplicação no solo.

A gestão de resíduos traz diversas soluções sustentáveis para geração de energia, sendo uma solução viável para a destinação de qualquer resíduo orgânico, Neste cenário o biogás começou a ser estimulado para a implantação de uma fonte alternativa, para geração não apenas energia elétrica, a partir dos dejetos gerados pela pecuária, como descrito abaixo.

2.4. Geração de energia a partir do biogás

A produção de energia elétrica a partir de biogás, apresenta como vantagens a geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável, que normalmente é descartada como resíduo, possibilitando uma fonte extra de receita, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias (Salomon, Lora, 2005). Soma-se a isso, a Resolução N° 482, aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, que autorizou a geração de energia pelo consumidor a partir de alternativas renováveis, facilitando a viabilização do biogás.

A geração de energia elétrica a partir do biogás é independente de condições climáticas, ao contrário da energia solar ou eólica, e diferentemente de outras fontes renováveis, o biogás pode ser utilizado a qualquer horário do dia devido à sua não intermitência, por se tratar de um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado. Semelhante ao gás natural o biogás pode ser

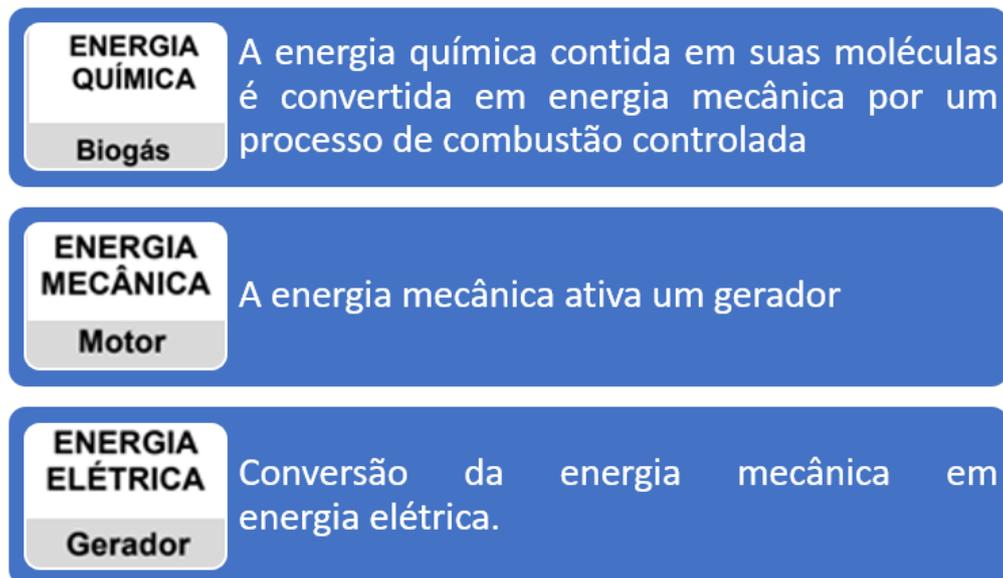


utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural (Martinez, et al., 2013).

Para converter a energia química do biogás em energia elétrica, é necessário que o biogás produzido apresente composição e características adequadas à tecnologia de conversão empregada. O processo de digestão anaeróbica do resíduo animal resulta na produção de biogás, composto basicamente de metano e dióxido de carbono, sendo o metano aproveitado como fonte de energia térmica ou elétrica (Silva, 2013).

A conversão energética do biogás, ou seja, o processo que transforma um tipo de energia em outro, ocorre por meio de um processo de combustão, podendo ser representado em três fases, como mostrado na Figura 03.

Figura 03 – Fases da conversão energética do biogás.



Fonte: Adaptado de CIBiogás (2022).

As tecnologias utilizadas para geração de energia a partir do biogás, bem como suas vantagens e desvantagens, são apresentadas no Quadro 02.



Quadro 02 - Tecnologias utilizadas para geração de energia a partir do biogás.

TECNOLOGIA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	Baixo custo de manutenção.	Limitação de potência.
	Pequeno tamanho de instalação.	
	Rápida instalação.	
	Modularidade do sistema.	
	Diversidade de fornecedores de equipamentos.	
	Eficiência em carga total e parcial.	
TURBINAS A GÁS	Sem formação de condensados.	Investimento inicial elevado.
	Maior confiabilidade mecânica.	Maior sensibilidade a partículas e impurezas.
	Combustão mais completa.	

Fonte: adaptado de MMA (2005).

Para geração de energia a capacidades pequenas e médias, os motores a combustão interna são mais adequados devido ao seu menor custo e maior eficiência nesta faixa. Somente para altas capacidades, as turbinas a gás passam a ter economicidade, melhorada quando utilizada em ciclos combinados (Viana, et al. 2014). Segue abaixo a descrição dos motores de combustão interna.



2.4.1. Motores de combustão interna

Devido a sua simplicidade, robustez, alta relação potência/peso, e capacidade de operar com diferentes tipos de combustíveis, tanto líquidos como gasosos, os motores de combustão interna são muito utilizados na geração de energia elétrica.

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas que fazem a conversão da energia química do combustível em trabalho mecânico, onde o fluido de trabalho consiste dos produtos da combustão da mistura ar-combustível, e a câmara de combustão e o próprio processo de combustão estão integrados ao funcionamento geral de motor (Salomon, 2007). Para a utilização de gases como combustível, o ciclo Otto é o mais recomendável. Nestes casos, o gás é misturado com o ar em determinadas proporções, a pressão e temperatura pré-estabelecidas, transformando a energia térmica de um combustível em energia mecânica através do acionamento de pistões confinados em cilindros. O aproveitamento do calor ocorre com a utilização da energia contida nos gases de exaustão e/ou nos fluidos de refrigeração e lubrificação. A quantidade de calor recuperada depende do tipo e porte do motor e de seu regime operacional.

Os motores de combustão podem ser classificados como motores de combustão externa, e motores de combustão interna.

Nos motores de combustão externa, o fluido de trabalho permanece separado da mistura ar/combustível, e a transferência de calor dos produtos da combustão se dá através das paredes de um reservatório ou caldeira. Já nos de combustão interna o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão da mistura ar/combustível, tendo como vantagem a ausência de trocadores de calor no circuito do fluido de trabalho, tal como a caldeira e o condensador de uma instalação a vapor (Cibiogás, 2022).

O gás produzido na câmara de combustão é expandido na turbina, que é um rotor de pás feito conectando diversas lâminas a um disco redondo para a produção de energia rotacional, que faz com que o compressor funcione na fase anterior, sendo a turbina a gás, descrita a seguir, a mais utilizada.



2.4.2. Turbinas a gás

As turbinas a gás, denominação do seu conjunto completo formado por três componentes principais, o compressor de ar, uma câmara de combustão e a turbina propriamente dita, são turbo máquinas térmicas que atuam como elementos motores, aplicados na geração elétrica e na propulsão aeronáutica, naval e automotiva.

Esses equipamentos têm como característica principal a produção de gases de exaustão em grandes volumes a temperaturas elevadas, e se destacam pela independência de fontes de água, pela baixa razão volume potência e pela inexistência de fluidos de trabalho intermediários, o que os torna muito adequados aos aproveitamentos energéticos complementares de interesse, melhorando-se, desta forma o rendimento térmico do conjunto.

As turbinas podem ser classificadas também quanto ao ciclo, sendo:

- Ciclo simples, cujo objetivo de instalação do equipamento gerador é a recuperação térmica;
- Ciclo combinado, que é a combinação de um sistema com turbinas a gás e um sistema com turbinas a vapor, e tem como vantagens o aumento da eficiência, a flexibilidade da produção de energia elétrica e a redução de custos de funcionamento. Neste modelo de equipamento os gases provenientes da turbina a gás, que advém da queima, podem ser utilizados numa queima suplementar através de uma caldeira de recuperação, pois ainda têm energia.

Quanto à direção do fluxo de gás no rotor, as turbinas a gás podem ser classificadas em:

- Axiais, nas quais o fluxo se processa paralelo ao eixo de rotação do rotor;
- Radiais, nas quais o escoamento acompanha o movimento de rotação do rotor, muito utilizadas em indústrias criogênicas como turbo-expansores.



Comparada às turbinas de fluxo axial, as radiais operam com maior eficiência com baixa vazão mássica. Porém em um contexto geral as turbinas de fluxo axial são mais eficientes (Saravanamuttoo; Rogers; Cohen, 2013)

Os três componentes básicos das turbinas a gás, compressor, câmara de combustão e a turbina funcionam em ciclo aberto, pois o fluido de trabalho, o ar, é recebido à pressão atmosférica e os gases de escape, após passarem pela turbina, são libertados de novo na atmosfera, sem que retornem ao equipamento. Apesar da utilização dos equipamentos adequados à produção de biogás, faz-se necessário uma política pública do biogás e biometano para garantir o ganho de escala deste mercado nos próximos anos, dessa forma destacamos a seguir o papel do estado no processo de geração do biogás.

2.5. O papel do Estado no fomento do desenvolvimento da produção de biocombustíveis

O estímulo às fontes renováveis de energia têm sido fundamentais para a expansão de fontes não convencionais como a biomassa. Nesse sentido, o Brasil tem lançado mão de programas, decretos, portarias e legislações, que juntas, promovem a regulamentação e a expansão do setor energético brasileiro. Dentre esses projetos se destaca o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

Criado pela Lei nº 10.438/2002 o PROINFA tem o intuito de promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais. Além do incentivo à geração de energia elétrica a partir da energia eólica, também buscou incentivar a geração de eletricidade a partir de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e de biomassa, buscando a contratação de 1100 MW de capacidade instalada de cada uma das fontes (Brasil, 2017).

Em 2009, foi aprovada a Resolução Normativa ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 390 de 15/12/2009, que dispõe as normas da chamada pública para compra de energia elétrica produzida pelos biodigestores, sendo



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

um grande incentivo à implantação e utilização dos biodigestores em âmbito nacional.

Em 2012, a ANEEL, por intermédio da Resolução N° 482, autorizou a geração de energia pelo consumidor a partir de alternativas renováveis, facilitando, assim, a viabilização do biogás.

No dia 03 de novembro de 2021, o deputado Arnaldo Jardim, vice-presidente da Frente Parlamentar de Energia Renovável (FER), apresentou o Projeto de Lei (PL) 3.865/2021 com o objetivo de incentivar a produção do biogás por meio da criação do Programa de Incentivo à Produção e ao Aproveitamento de Biogás, de Biometano e de Coprodutos Associados (PIBB). O texto do PL foi elaborado com a contribuição da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás), Associação da Indústria de Cogeração (Cogen) e Unica (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), e apresentado logo após o Brasil aderir ao Compromisso Global do Metano, que prevê uma diminuição de 30% nas emissões até o fim desta década.

No estado do Paraná, o governo tem investido em programas e leis de incentivo à produção de biogás e biometano. No Quadro 03, são apresentadas as legislações que tratam de questões relativas à atividade de geração de biogás no estado do Paraná.

Quadro 03 – Ambiente Institucional para produção de biogás no estado do Paraná.

Lei 17.188 – 13 de junho de 2012	Institui a Política Estadual de Geração Distribuída com Energias Renováveis – GDER no Estado do Paraná. Incentivo às concessionárias de auxílio à GD, citação da necessidade de licenciamento ambiental.
Decreto 11.671 – 16 de julho de 2014	Dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis – Iluminando o Futuro e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável. Determina que o Instituto de Tecnologia do Paraná – Tecpar fica encarregado de coordenar o Programa Paranaense de Energias Renováveis.
Lei Complementar nº 205 de 07 de dezembro de 2017.	Serviços de distribuição de gás canalizado do Paraná (alterada pela Lei Complementar 211/2018).
Convênio ICMS 42/18, de 16 de	Dispõe sobre a adesão do Paraná ao Convênio ICMS 16/15, que autoriza a conceder isenção nas operações internas

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

maio de 2018	relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob a RN nº 482/12, da ANEEL.
Lei Nº 19.500 de 21 de maio de 2018	Política Estadual do Biogás e Biometano - Explicação do aproveitamento energético como destinação adequada de resíduos, necessidade de vistoria pelo Corpo de Bombeiros, percentual mínimo, aquisição de biogás no estado e biometano para carros oficiais, PPPs, linhas de financiamento.
Lei 19.595 – 12 de julho de 2018	Institui benefícios para incentivar o aproveitamento de energia elétrica produzida por micro geradores e minigeradores de energia distribuída e adota outras providências. Isenção de ICMS no balanço positivo de energia entre produtores e distribuidoras nos parâmetros da geração distribuída
Lei Complementar 211/2018	Dispõe sobre os serviços de distribuição de gás canalizado no Estado do Paraná, de que trata o art. 9º da Constituição Estadual.
Decreto 11538 de 05 de novembro de 2018	Trata sobre a criação do Projeto <i>Smart Energy</i> Paraná e revoga o Decreto nº 8842 de 04 de setembro de 2013
Lei 20.435 de 17 de dezembro de 2020	Instituiu o Programa Paraná Energia Rural Renovável - RENOVAR, coordenado pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (Seab) e executado pelo IDR-Paraná, com objetivo geral de ampliar a oferta de energia no meio rural pelo uso de fontes de energia renovável disponíveis, em estímulo à competitividade, sustentabilidade e eficiência dos sistemas produtivos e à geração de novos negócios na agropecuária paranaense,
Resolução SEDEST 08 - 23 de fevereiro de 2021	Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de BIODIGESTORES COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS no âmbito do Estado do Paraná
Decreto 7872 de 09 de junho de 2021	Regulamenta a Lei 20.435, de 18 de dezembro 2020, que institui o Programa Paraná Energia Rural Renovável e limita o desconto especial de que trata a Lei 19.812, de 6 de fevereiro de 2019.

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

PORTARIA N° 118/2021 - 14 de julho de 2021	Dispõe sobre o Regulamento e Normas para operacionalização do Programa Paraná Energia Rural Renovável – RENOVAPR, visando disponibilizar a produtores rurais, a Pessoas Jurídicas e Pessoas Físicas habilitadas e cadastradas para a execução do Programa e aos profissionais dos setores privado e público envolvidos no Programa. Documento oficial contendo as normas para participar do RENOVAPR, utilizando-o como normativo às condições estabelecidas no Edital de Chamada Pública ao Cadastramento à operação no RENOVAPR, adesão e operacionalização do Programa.
Decreto 9.713 - 07 de dezembro de 2021.	Introduz alterações no Decreto nº 6.434, de 16 de março de 2017, que dispõe sobre o Programa Paraná Competitivo. Introduz fomento à diversificação das fontes de geração de energia no território paranaense.
Lei Complementar N° 247 de 30 de maio de 2022	Prevê a abertura de mercado na área, permitindo que mais consumidores possam comprar gás natural diretamente com os agentes supridores.
Decreto N° 4446 de 18 de dezembro de 2023	Altera o RICMS/PR, concedendo isenção do imposto nas operações com os produtos que menciona, quando destinados à geração de energia elétrica a partir do biogás, e benefício de redução da base de cálculo e crédito presumido nas operações com biogás e biometano, conforme especifica.
Decreto 4451/2023	Aponta que investimentos em obras civis, aquisição de materiais e equipamentos e na elaboração de projetos para instalação de biodigestores terão os benefícios oferecidos pelo Estado desde que os projetos estejam limitados a R\$ 500 mil por CPF ou CNPJ para energia solar e em R\$ 2 milhões para biomassa, ou, se coletivo, o teto é de R\$ 20 milhões.
Decreto Estadual 4.445 de 18 de dezembro de 2023	Alterou dispositivos em vigor até 30 de abril de 2024 para tornar mais específica a regra sobre a isenção de ICMS na compra de carros novos por taxistas para veículos movidos a combustíveis de origem renovável – como etanol e biodiesel, híbridos ou elétricos.

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

CONVÊNIO ICMS Nº 158, DE 29 de setembro de 2023	Dispõe sobre a adesão do Estado do Paraná e altera o Convênio ICMS nº 112/13, que autoriza a concessão de redução de base de cálculo do ICMS nas saídas internas de biogás e biometano.
CONVÊNIO ICMS Nº 159, DE 29 de setembro de 2023	Dispõe sobre a adesão do Estado do Paraná e altera o Convênio ICMS nº 63/15, que autoriza os Estados que menciona a conceder crédito presumido na aquisição interna de biogás e biometano.
CONVÊNIO ICMS Nº 160, DE 29 de setembro de 2023	Dispõe sobre a adesão do Estado do Paraná e altera o Convênio ICMS nº 151/21, que autoriza as unidades federadas que menciona a conceder isenção do ICMS nas operações com máquinas, equipamentos, aparelhos e componentes para a geração de energia elétrica a partir do biogás.

Fonte: O autor.

O estado do Paraná tem se destacado no emprego do biogás como fonte renovável de energia, combustível e fertilizante, a partir de novas iniciativas voltadas para a produção de biogás a partir da gestão sustentável dos resíduos orgânicos da agroindústria e de ambientes urbanos, contando com apoio do governo estadual que tem investido em novas medidas para incentivar a geração de energia renovável no âmbito agropecuário do Paraná.

Comparativamente aos demais estados da Região Sul do país, o Governo do estado do Paraná está bem posicionado e tem em seu Marco Legal do Biogás, uma carta branca para regulamentá-lo com outras políticas públicas mais amplas (por exemplo, do Gás) e mais específicas (por exemplo, de geração distribuída). Essa liberdade de atuação do Poder Executivo Paranaense, por exemplo, poderá dedicar políticas públicas ambientais, fitossanitárias, tributárias, sociais, regulatórias e financeiras para também abranger a Política Estadual de Geração Distribuída com Energias Renováveis (GDER), instituída por meio da Lei nº 17.188/2012, a qual incluiu, dentre outras, a biomassa e biomassa residual no rol de energias renováveis.



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Neste sentido destaca-se o lançamento do Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação (NAPI) Energias Renováveis – BIOGÁS, ocorrido no dia 8 de maio de 2020, em cerimônia online. Com o objetivo de efetivar e perenizar a produção do Biogás e as energias originadas das suas aplicações e de seus derivados, por meio da criação de uma Rede Paranaense de Laboratórios de Biogás (Labiogás-PR). Rede que será organizada e articulada conjuntamente pela Superintendência Geral de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (Seti), Fundação Araucária (FA), Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar), Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB) e pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás).

Já no dia 5 de julho de 2021, a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (Sedest) e Instituto Água e Terra (IAT) lançam o projeto Paraná Energia Sustentável, que tem como objetivo agilizar e racionalizar o licenciamento da atividade com foco na redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), atendendo a um dos princípios da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Este projeto tem a intenção de fazer com que a produção de energia limpa no Estado, por meio de empreendimentos de pequeno porte, passe a ter uma nova dinâmica para a emissão de licenciamento ambiental, o que permite reduzir o tempo de espera pela permissão.

Ainda em 2021, o Governo do Estado do Paraná lançou, oficialmente, o Programa Paraná Energia Rural Renovável (RenovaPR) através da Portaria 1.18/2021, publicada no dia 14 de julho. O Programa tem como objetivo apoiar a geração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis, em especial a biomassa e a solar, em unidades produtivas rurais paranaenses. O RenovaPR foi instituído pela Lei 20.435 de 17 de dezembro de 2020, a qual foi regulamentada pelos Decreto 7.872 de 09 de junho de 2021.

Os objetivos gerais do programa são:

- Estimular a produção própria e interna de energia nas unidades produtivas;
- Reduzir o custo de produção e ampliar a competitividade de nossos produtos agrícolas e agroindustriais;



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

- Estimular a expansão das cadeias produtivas já existentes e o surgimento de novas;
- Fomentar as economias locais;
- Gerar trabalho e renda;
- Promover a adequação ambiental das unidades produtivas com tratamento e correta destinação dos dejetos;
- Criar no Paraná uma nova e próspera cadeia produtiva de biogás e biometano que estimule negócios e atraia investimentos.

Já os objetivos específicos demonstram o alinhamento do Governo do Estado com a Agenda 2030 da ONU que estipulou 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis, sendo o nº 7 “Energia Limpa e Sustentável”, o qual assegura o uso de fontes de energias mais sustentáveis como forma de tornar o acesso universal, confiável e a preços acessíveis. São eles:

- Chegar a 100 mil unidades produtivas com adesão ao programa até 2030;
- Para isso, realizar cerca de 10 mil projetos ao ano, sendo 9 mil de energia solar e 1 mil de biogás, podendo-se alcançar um total de R\$ 1 bi em alavancagem anual em investimentos e R\$ 10 bi até 2030.

Dando continuidade aos projetos referente à produção e utilização do biogás, o Governo do Estado lançou em 27 de março de 2022, em Curitiba, o projeto para o desenvolvimento de tecnologias destinadas à produção de combustível renovável de aviação, a partir do biogás e de hidrogênio verde, em escala piloto. A iniciativa conta com o investimento de mais de R\$ 10 milhões do Governo do Estado, por meio da Fundação Araucária, e da Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Agência Técnica de Cooperação Alemã GIZ. O objetivo do empreendimento, é reduzir as emissões de gases do efeito estufa pelo setor aeroportuário.

Atualmente, a Companhia Paranaense de Gás (Compagas), empresa responsável pela distribuição de gás natural no Paraná está envolvida em 10 projetos ligados à geração de biometano: seis localizados em Curitiba e em cidades da Região Metropolitana e quatro no Norte/Noroeste do Paraná, nos



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

municípios de Londrina, Maringá e Arapongas. Os projetos em andamento visam a produção de biometano por meio de resíduos localizados em aterros sanitários, em estações de tratamento de esgoto – em parceria com a Sanepar –, a partir de dejetos gerados na agroindústria, como resíduos da avicultura, da suinocultura e da agricultura, e a partir de resíduos sólidos urbanos. A Compagas é parceira da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) e do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) e já desenvolve trabalhos com as instituições para ampliar a cadeia do biogás e do biometano no Paraná.

Já em 2023, o Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) aprovou a adesão do Paraná a três convênios que possibilitam maiores investimentos para a geração de energia a partir do biogás. Agora, a Secretaria da Fazenda e a Receita Estadual trabalham em uma minuta de um decreto detalhando as novas regras (PARANA, 2023). Ainda nesse ano foram publicados três decretos que têm como objetivo estimular ainda mais a agenda de transição energética no Paraná. Esses decretos alteram regras de aplicação e cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), com foco em taxistas e na indústria de biogás e biometano, estabelecendo com mais clareza o procedimento de estímulo do Banco do Agricultor Paranaense à geração de energia renovável (Paraná, 2023).

Dentro do pacote de incentivos criados pelo Estado, está a redução de seis pontos percentuais na alíquota cobrada – anteriormente o imposto era de 18% – visa estimular novos negócios de energia renovável, sobretudo no meio rural. Soma-se a essa medida os incentivos fiscais que o Governo do Estado já oferecia para o segmento de energias renováveis por meio do Banco do Agricultor Paranaense.

O Banco do Agricultor Paranaense, criado no ano de 2021 é um instrumento que possibilita ao governo do Estado conceder subvenção econômica a produtores rurais, cooperativas e associações de produção, comercialização e reciclagem, e a agroindústrias familiares, além de projetos que utilizem fontes renováveis de geração de energia e programas destinados à irrigação, entre outros. A partir do Banco do Agricultor, o Estado garante 100% da taxa de juro em financiamentos para a implantação de sistemas com geração



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

de energia solar ou biogás para os agricultores familiares com Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) ativa ou inscrição no Cadastro da Agricultura Familiar (CAF). Para os demais agricultores do Estado, o Estado subsidia 5 pontos percentuais de juros ao ano (Paraná, 2023).

Embora o Estado do Paraná, esteja na dianteira com relação à legislação referente à produção de biogás, cabe destacar que o papel do estado vai além da promulgação de leis. É papel do estado investir em treinamento e assessoria técnica, que capacite o pequeno produtor na correta geração do biogás através dos dejetos gerados na pecuária, como destacado por Duarte (2007), que considera a importância de viabilizar o atendimento direto ao cidadão para que ele tenha predisposição para agir em seu próprio interesse, e também, na realização das demandas coletivas nas mais diversas áreas. Neste sentido, é importante destacar a importância no investimento, produção de conhecimento ou avanço na tecnologia de elaboração de bioenergia de acordo com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) instituídos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Os ODS, iniciativa da ONU, são um apelo global à ação para erradicar a pobreza, proteção do meio ambiente e o clima, além de garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade, a fim de atingir a Agenda 2030 no Brasil (ONU, 2021).

De acordo com Lins, et al. (2022), a produção e aplicação do biogás, combustível renovável, provindo da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, pode ser associado no atendimento das metas dos ODS: 6, 7, 11, 12 e 13. Neste sentido, seria importante a mediação do governo estadual para realização de parcerias entre produtores pecuários e as instituições de ensino superior que detêm o selo social certificado pelo compromisso com os ODS, como a Universidade Estadual de Maringá (UEM) conquistou o Selo Social na certificação do ciclo de 2023. Com a apresentação de 17 projetos, a UEM foi certificada pelo compromisso com 13 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável instituídos pela ONU (UEM, 2023).

**2.6. Levantamento de dados referente à produção de biogás no estado do Paraná**

O estado do Paraná é pioneiro no emprego do biogás como fonte renovável de energia, combustível e fertilizantes. Os projetos de produção de biogás em pequenas propriedades rurais da região oeste do Paraná, a partir do aproveitamento dos dejetos da atividade agropecuária no estado tiveram início em 2009, com a Itaipu Binacional, em parceria com o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), com a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel), com a Prefeitura de Marechal Cândido Rondon, com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com o Movimento Nacional dos Pequenos Agricultores (MPA), com o Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI) e com a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI). O projeto resultante dessa parceria foi implantado no Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar Sanga Ajuricaba, em Marechal Cândido Rondon, no Oeste do Paraná, a 180 quilômetros de Foz do Iguaçu. No condomínio, que reúne 33 pequenos produtores rurais, dejetos da produção pecuária (suínos e gado leiteiro) são transferidos para biodigestores, para extração do gás metano. Os biodigestores estão conectados por 22 quilômetros de gasoduto a uma central termelétrica, que abastece com energia as propriedades rurais. O sucesso do projeto fez com que em 2013, esse projeto fosse replicado no Departamento (Estado) de San Jose, próximo a Montevidéu, no Uruguai (Barichelo, 2015).

Já no ano de 2012, foi instalada a Minicentral Termelétrica de Biogás em Entre Rios do Oeste – PR. Concebido pela chamada de P&D estratégico no 014/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com a seguinte temática: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira”.

O projeto apresentou os seguintes resultados até o ano de 2020.

- Tratamento diário de 215 toneladas de resíduos;



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

- Produção de 4.600 m³/dia de biogás;
- Renda ao suinocultor, que varia de acordo com a produção de biogás e porte da propriedade, podendo gerar até R\$ 5.000,00 para os maiores produtores;
- Geração de 3.000 MWh/ano de energia elétrica;
- Consumo da Prefeitura: 158 MWh/mês (médio);
- Solução para o problema ambiental da principal atividade econômica do município;
- Revitalização da área onde foi instalada a Minicentral Termelétrica, com estrutura de rede elétrica e iluminação pública;
- Até setembro de 2020, o município obteve uma economia de R\$ 604.505,26;
- A média de economia mensal no período de setembro de 2019 a setembro de 2020 está em R\$ 46.462,87;
- O mês de setembro apresentou a maior produção desde o início das operações com 113 MWh alcançando 70% de todo consumo de energia dos prédios públicos municipais.

Em 2014, o balanço anual da Copel (Paraná, 2014), destacou que a classe rural correspondia ao quarto mercado da concessionária, respondendo a 9,3% do mercado cativo atrás dos setores residencial, industrial e comercial. Ainda nesse ano, segundo levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2014) dos 371 mil estabelecimentos agrícolas paranaenses, menos de mil obtêm energia elétrica a partir de geração feita no próprio empreendimento, advinda de fonte solar, eólica, hidráulica, biomassa ou outra fonte. A pesquisa destacou como alternativa para suprir o crescimento no consumo, e servir como fonte de geração de potencial energético para as atividades rurais o uso de resíduos gerados nas atividades agropecuárias como fonte para a geração de biogás.

No ano de 2016, o Paraná se destacou como o estado com o maior número de biodigestores instalados e em funcionamento no País. Com um total de 131 biodigestores no Brasil, o estado possuía 49 biodigestores, representando 37% do total do país, além de outros quatro sendo construídos

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

atualmente. Dos 49 Biodigestores, 26 são de pequeno porte, 15 são de médio porte e 8 de grande porte. A produção média diária do estado em 2016 foi de 265.000 m³ de biogás, representando cerca de 378.950 kWh/dia, quando utilizado o fator de conversão de 1,43 kWh por m³ de biogás (Cibiogas, 2016). Essa produção é dividida por substrato, sendo que:

- A indústria de alimentos e bebidas produziu 212.980 m³/dia;
- A suinocultura produziu 36.801 m³/dia;
- Outros substratos produziram 15.704 m³/dia.

Em fevereiro de 2018, a usina responsável pelo processo de biodigestão, operada pela CS Bioenergia, formada pela Sanepar e pelo grupo *Cattalini Bio Energia*, adquiriu a licença para operar. A usina tem capacidade de receber 300 toneladas de resíduos orgânicos por dia. A planta pode gerar até 2,8 MW de energia, quantidade suficiente para abastecer duas mil casas populares. Para essa quantidade de energia, a usina precisa receber um mil m³ de lodo de esgoto diariamente, além de 200 toneladas de resíduos orgânicos. A eletricidade resultante será injetada na rede de distribuição e também aproveitada pela própria Sanepar.

Segundo documento publicado em dezembro de 2019 pelo GEF Biogás Brasil, o Paraná liderou a produção de biogás no Sul do País. O Estado gerou 16,4 milhões de metros cúbicos (Nm³/ano) da energia limpa, superando Santa Catarina (12,8 milhões Nm³/ano) e Rio Grande do Sul (3,3 milhões Nm³/ano).

Em 2020, no dia 29 de outubro foi inaugurada a primeira usina híbrida de biogás e energia fotovoltaica em grande escala do País. Localizada em Ouro Verde do Oeste, no Paraná, o empreendimento da EnerDinBo de um lado garante a destinação correta de dejetos suínos e, de outro, possibilita a distribuição de energia para os suinocultores cooperados à empresa. A unidade de biogás tem capacidade para processar 700 toneladas de dejetos de suínos por dia. O sistema integra 40 suinocultores. A energia gerada será usada para compensar o consumo energético nas granjas das empresas do grupo (Paraná, 2020).



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

O impacto da atuação da usina está além da redução do passivo ambiental, gerando um incremento de 50% na arrecadação de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) do município, e de 70% na suinocultura local. A usina funciona em uma área de 48 mil metros quadrados, com três biodigestores e três lagoas aeróbicas (com a presença de oxigênio), que é onde ocorre a digestão da matéria orgânica antes de entrar no processo de combustão. Depois de degradada ela é transformada em dois produtos: biofertilizantes usados nas pastagens, depois de passar por um novo processo aeróbico, e o biogás propriamente dito, que é transformado em energia elétrica.

A usina coleta os materiais sem custo nas próprias propriedades e faz a separação da fração líquida e da fração sólida. Depois, os resíduos são transferidos para os biodigestores, onde o material passa por quatro fases até chegar ao biogás com 65% a 70% de metano, 25% a 30% de gás carbônico e demais gases como oxigênio e nitrogênio. Para a produção de energia, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica, que ativa um gerador que produz energia elétrica (Paraná, 2020).

Ainda em 2020, foram instaladas duas novas usinas de geração elétrica a biogás, produzido a partir de resíduos agropecuários e alimentares, no Paraná. A planta da Castrolanda entrou em operação no último dia de março de 2020 no município de Piraí do Sul, no Paraná. O biodigestor foi instalado na Unidade de Produção de Leitões (UPL) e usa dejetos suínos como matéria prima, com produção de 100 m³ por hora (2.400 m³/dia). O combustível alimenta uma usina de 230 kW de potência.

No final de abril de 2020, foi inaugurada a usina da *Energik* Geradora de Energia, do grupo Unium, instalada em Castro (PR). O biodigestor abastecido por dejetos suínos de um frigorífico da Alegria e por logística reversa da usina de leite da *Naturalle* – duas das 16 marcas alimentícias que integram a carteira da Castrolanda – além de resíduos das unidades de batatas fritas e da lavagem de batatas da própria cooperativa. São 550 m³/hora (13.200 m³/dia), que abastecem uma geração de 1.200 kW de potência. Foram R\$ 13,8 milhões investidos.

Em 2021, foi inaugurada a primeira Usina Termelétrica a Biogás Municipal do Brasil (UTB), na cidade de Ponta Grossa (Noronha, 2021). Esta é a primeira



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

usina do país que fará o processo termelétrico como parte da gestão de resíduos pela administração municipal. A UTB já está operacional, e em sua capacidade máxima poderá processar 30 toneladas de resíduos orgânicos por dia, o que vai gerar energia suficiente para garantir o próprio funcionamento da usina, além de abastecer a Unidade de Pronto Atendimento (UPA) Sant'Ana, Hospital Municipal Amadeu Puppi, Hospital Universitário Materno Infantil e o prédio da Prefeitura Municipal. Dessa forma, a Prefeitura deve contabilizar uma economia de aproximadamente R\$ 250 mil/mês. A UTB conta com 2 biodigestores, sendo que há espaço reservado para ampliação futura com outros 2 biodigestores, passando a capacidade total de recebimento de 30 t/dia para 60 t/dia, e dobrando a capacidade de produção de energia elétrica.

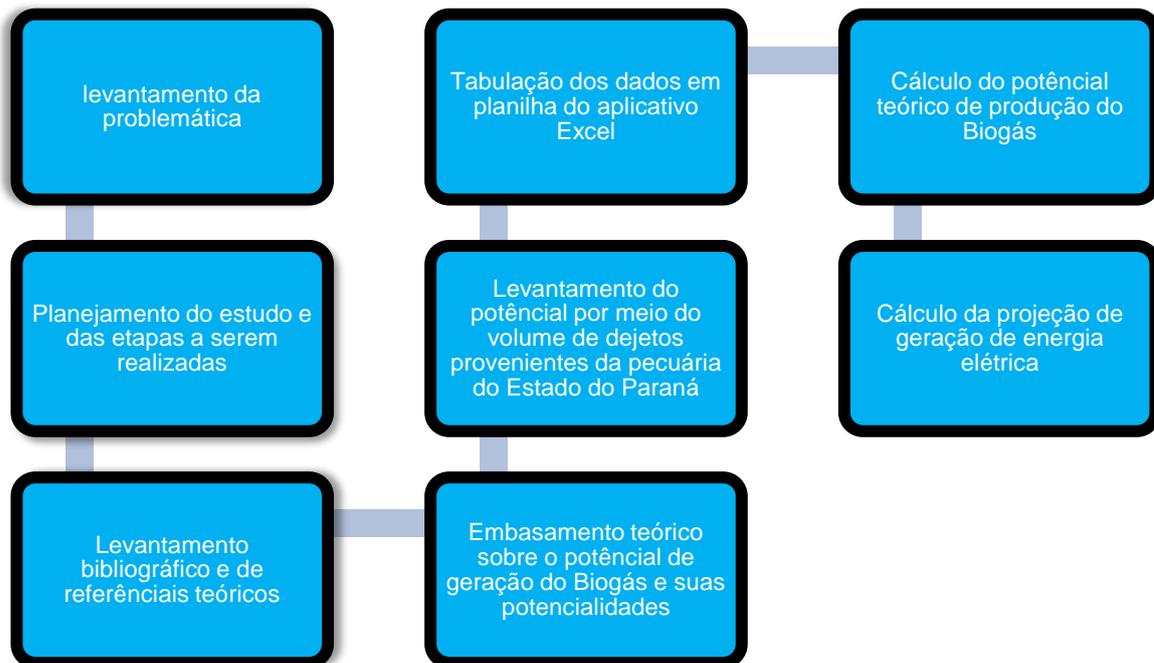
Ainda neste ano, o Paraná foi considerado um dos maiores produtores do combustível. Somente no oeste do Estado, são quatro milhões de suínos, o que significa uma enxurrada de estrume e urina com potencial para virar energia.



3. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho foi adotada a metodologia descrita pelo fluxograma mostrado na Figura 04.

Figura 04 – Fluxograma do projeto



Fonte: O autor.

Utilizou-se a abordagem dedutiva para planejar os objetivos a serem alcançados e as ações necessárias para alcançá-los, partindo de um plano macro para um micro a partir da análise do potencial de geração de biogás no estado do Paraná, fundamentando a pesquisa em publicações e informações relevantes ao tema.

Para o embasamento teórico sobre o levantamento do potencial de geração de biogás e suas potencialidades, empregou-se a abordagem qualitativa. As conclusões são fruto de dados numéricos e análise estatística com propósito de pesquisa bem definido de forma que sua conclusão vá embasar uma futura decisão (Lovato, 2013). A utilização dessa abordagem viabiliza apresentar os dados numéricos nas formas de gráficos, quadros e tabelas, facilitando o entendimento do assunto, justificando assim a importância do desenvolvimento do presente trabalho. Os documentos utilizados

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

na revisão de literatura foram obtidos nas bases de dados, Google acadêmico, *Scientific Electronic Library Online (Scielo)*. Site da Companhia Paranaense de Gás (Compagas), Compilação de documentos técnicos produzidos no contexto do projeto GEF (*Global Environment Facility*) Biogás Brasil. Visando melhorar a qualidade e confiabilidade da base de dados, foi realizado ainda o rastreamento manual de outros artigos que possibilitaram incrementar a pesquisa, baseada em produções já coletadas.

Para levantar o potencial de produção de biogás por meio do volume de dejetos provenientes da pecuária do Estado do Paraná, utilizou-se a pesquisa descritiva, realizando um estudo mais detalhado, com levantamento, análise e interpretação de dados, de forma que as respostas se resumem a dados qualitativos.

Os dados foram coletados através do site oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE). Sites oficiais do Governo do estado do Paraná, bem como o Biogasmap, ferramenta desenvolvida pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogasER), instituição científica que desenvolve e apoia projetos de energias renováveis do Departamento de Economia Rural (DERAL). Cadastro de biodigestores feito pelo CIBiogásER, e no site do PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, 2016), Centro Nacional de Referência da Biomassa (CENBIO).

Após a tabulação dos dados em planilha do aplicativo Excel, referente aos plantéis, foi calculado o potencial teórico de produção de biogás realizado a partir da metodologia da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006) adaptada pelo Centro Nacional de Referência da Biomassa (CENBIO, 2008), sendo adotados os valores médios diários da produção de dejetos, que foram pesquisados na literatura, tanto para o cálculo do volume de biogás corrigido em função do processo quanto o cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos gerados pela agropecuária do estado do Paraná.

**3.1. Panorama do biogás no estado do Paraná em 2019**

Segundo dados divulgados em 2020, pela Agência de notícias do Paraná (ANP, 2020), o estado é pioneiro no emprego do biogás como fonte renovável de energia, combustível e fertilizante, havendo expectativa de que haja, até 2030, de oito a dez mil propriedades geradoras de biogás no estado que também é líder na geração de biogás no sul do Brasil, sendo este um mercado promissor e com elevado potencial de crescimento.

Segundo levantamento disponível no site Biogasmap (2022), elaborado pelo Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás) e parceiros, em 2019, os estados sul brasileiros concentraram 166 plantas de biogás em operação utilizando substratos a partir da agropecuária e agroindústria. O estado do Paraná destaca-se, com 105 plantas em operação, seguido de Santa Catarina com 36 e Rio Grande do Sul com 25 plantas em operação. Todas essas unidades acumulam uma produção de biogás anual de 150,8 milhões de Nm³.

Entre os estados sul brasileiros o Paraná concentra o maior potencial de produção de biogás e o maior índice de aproveitamento gerando cerca de 122,2 milhões Nm³/ano, seguido por Santa Catarina com cerca de 17,6 milhões de Nm³/ano produzidos e Rio Grande do Sul com aproximadamente 11,1 milhões de Nm³/ano produzidos (Brasil, 2020).

O potencial de produção de biogás para o Sul do Brasil tem se mostrado extremamente promissor, especialmente para a pecuária e para a agroindústria. Diversas instituições vêm se empenhando nos últimos anos para o levantamento deste potencial. Porém, a falta de padronização de dados para conversão do potencial de biogás tem gerado divergências de informações que levam a imprecisão de resultados.

Em 2019, o Paraná possuía um rebanho com 5.388.380 cabeças de suínos, concentrando 70% na região oeste do estado (3,6 milhões de cabeças). Este plantel gera 6,8 milhões (m³/ano) de efluentes, capazes de produzir 255 milhões de Nm³/ano de biogás (Figura 05). O biogás produzido é o equivalente para abastecer 200.736 residências (com quatro moradores e consumo mensal de 220 kWh) com energia elétrica. Só a região oeste tem potencial para gerar

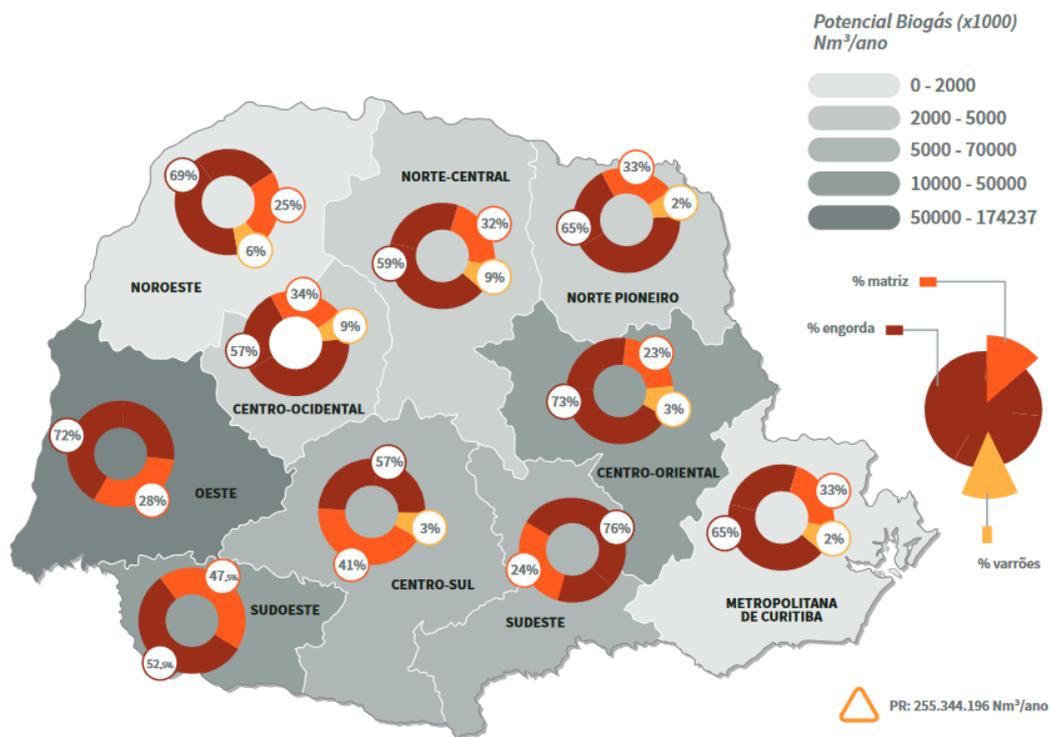


Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

174 milhões de Nm^3/ano de biogás por ano e seria capaz de suprir 1,2% da energia elétrica consumida no Paraná. A região centro oriental concentra 14% da suinocultura do estado (769 mil cabeças de suínos) e tem capacidade para gerar 34,8 milhões de Nm^3/ano de biogás. O sudoeste e o Sudeste do Paraná representam 10% do volume estimado para o Estado (27 milhões de Nm^3/ano) (Freddo; Martinez; Bastos, 2019).

Figura 05 – Potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná em Suinocultura.

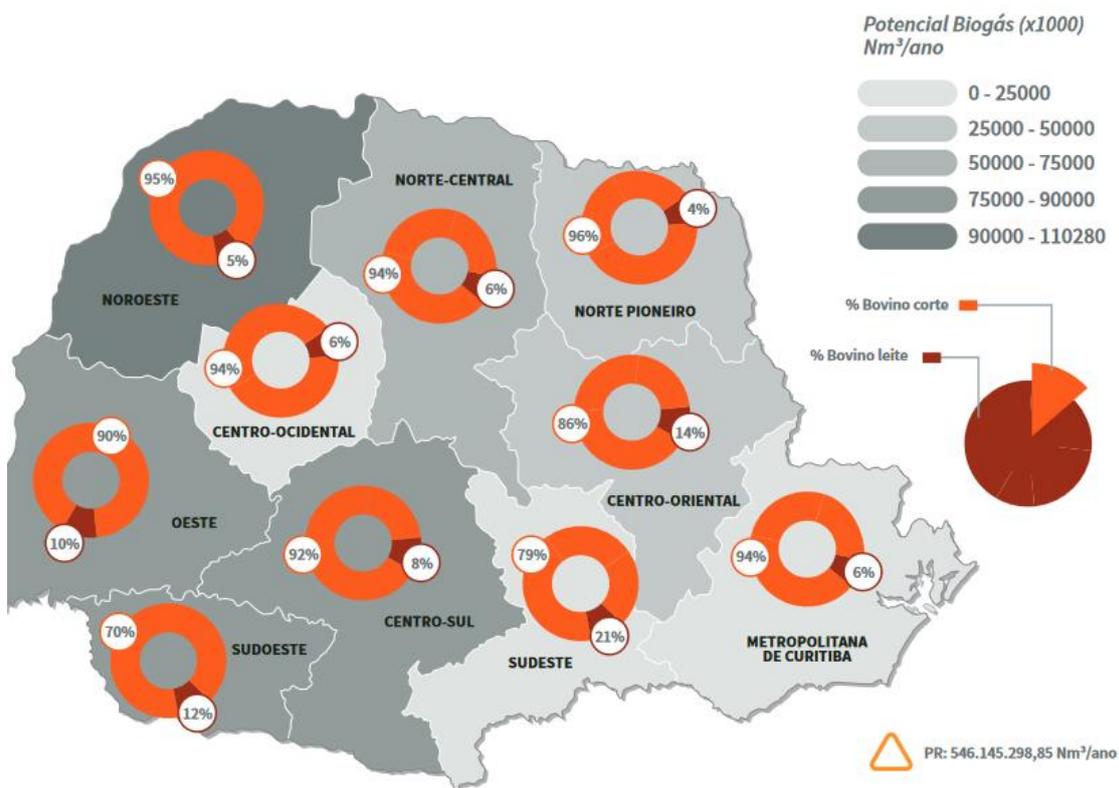


Fonte: Freddo; Martinez; Bastos (2019).

Ainda segundo os autores, com base no potencial de produção de biogás da suinocultura de engorda, estima-se que o plantel formado por 4,9 milhões de cabeças tem capacidade para gerar 177 milhões de Nm^3/ano . Esse volume poderia suprir a demanda de energia elétrica de 557.417 habitantes (76 GWh/ano), o equivalente ao consumo residencial da cidade de Maringá na região norte central do Paraná.

Segundo levantamento realizado em 2019 por Freddo, Martinez e Bastos (2019), o rebanho total de bovinos do estado do Paraná era de aproximadamente 4,1 milhões de cabeças, com destaque para as regiões sudoeste e noroeste que detêm 34,5% do rebanho do estado. Estima-se que o plantel de bovinos paranaense tenha potencial para gerar anualmente 8,2 bilhões de m³/ano de efluentes. Apenas na região sudoeste do estado, são aproximadamente 1,4 bilhões de m³/ano de efluentes. Considerando que esses substratos fossem utilizados em sistema de biodigestão, seria possível produzir 546 milhões de Nm³/ano de biogás (Figura 06).

Figura 06 – Potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná em Bovinocultura.



Fonte: Freddo; Martinez; Bastos (2019).

Dos dados referentes ao ano de 2019, a região noroeste paranaense lidera o potencial de produção de biogás a partir dos efluentes da bovinocultura, com estimativa de 110 milhões de Nm³/ano, que equiparado ao diesel, representa 76 milhões de litros por ano. Já a região centro-sul encontra-se na

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

segunda colocação representando 15% do potencial total do estado, com 83 milhões de Nm³/ano, enquanto que as regiões sudoeste, oeste e norte central possuem em conjunto um potencial de 216 milhões de Nm³/ano de biogás que correspondem a 40% do potencial estadual.

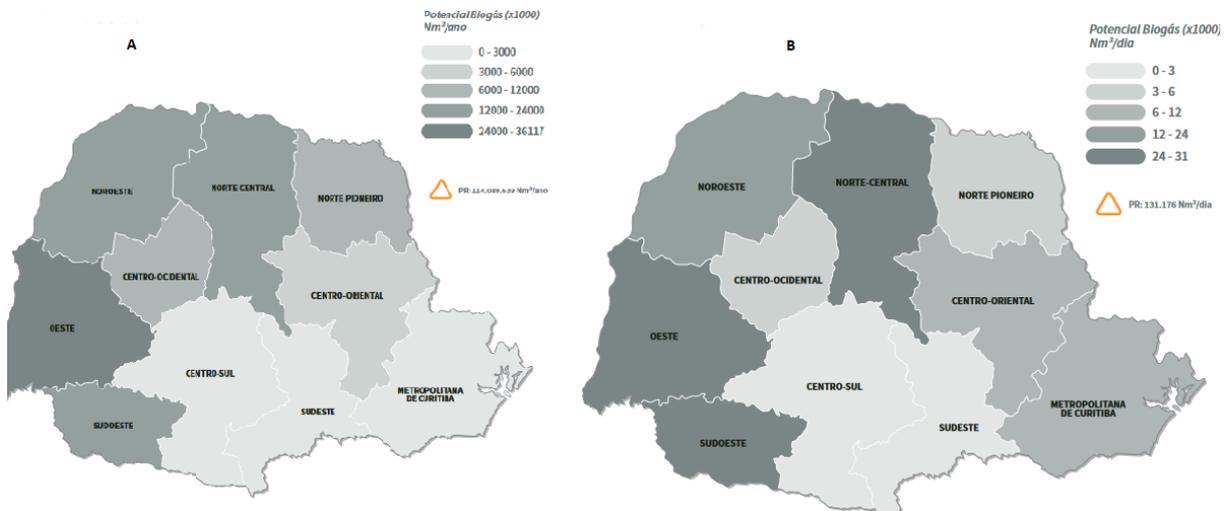
O volume de biogás gerado por ano, a partir dos dados de 2019, poderia produzir energia suficiente para suprir a demanda residencial de uma população equivalente à cidade de Londrina, na Região Norte do Estado do Paraná, com aproximadamente 679 mil habitantes. Considerando que o biogás pode ser aplicado em diversas finalidades energéticas, a bovinocultura do estado do Paraná tem capacidade para gerar cerca de 1.171,19 GWh/ano de energia elétrica, capaz de abastecer 443.632 residências. Ainda, se todo o biogás fosse empregado na produção de biometano e, por conseguinte, utilizado como combustível veicular, seria possível percorrer uma distância de cerca de 4 bilhões de quilômetros, equivalente a aproximadamente 104 mil voltas na Terra (Freddo; Martinez; Bastos, 2019).

No ano de 2019, a avicultura paranaense representava 24% do total nacional, ocupando a primeira posição do ranking de aves do sul do Brasil, com 347 milhões de aves segmentadas em avicultura de corte (95%) e de postura (5%), que geravam cerca de 657 mil toneladas (dejetos somados a cama de frango) e 683 mil m³ de resíduos por ano respectivamente, das quais, havia o potencial de produção de 161 milhões de Nm³/ano de biogás.

As Regiões Oeste e Sudoeste concentram o maior número de aves do estado, totalizando juntos 57 milhões de Nm³/ano de biogás a partir dos resíduos da avicultura, que, se empregadas na produção de energia elétrica poderiam produzir 118 GWh/ano (Freddo, Martinez, Bastos, 2019). O potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná referente a avicultura é apresentado na Figura 07.



Figura 07 – Potencial de produção de biogás por mesorregiões do Paraná em Avicultura de corte (A) e de postura (B).



Fonte: Freddo; Martinez; Bastos (2019).

A partir dos dados levantados no decorrer da pesquisa, pode-se destacar a quantificação dos sistemas de produção de biogás, apresentado abaixo.

3.2. Quantificação dos sistemas de produção de biogás no estado do Paraná

De acordo com o site BiogásMap (Cibiogás, 2022), no Paraná, em 2021, existiam, ao todo, 171 plantas de biogás, sendo 159 em operação, nove em implantação e três em reforma, com uma produção total de 270,06 milhões de Nm³/ano. Dessas, 109 plantas eram exclusivas para produção de biogás a partir de resíduos agropecuários, com uma produção total de 44,04 milhões de Nm³/ano. A produção de biogás é destinada para produção de energia elétrica, térmica, mecânica e biometano.

Já no ano de 2022, o estado do Paraná possuía 212 plantas, com uma produção total de 305,38 milhões de Nm³/ano (Cibiogás, 2022).

Os principais substratos utilizados na produção de biogás são advindos da Indústria, agropecuária e Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ou Esgoto.

De acordo com site BiogásMap existem atualmente no Paraná, 157 plantas de geração de biogás a partir dos dejetos da indústria com capacidade

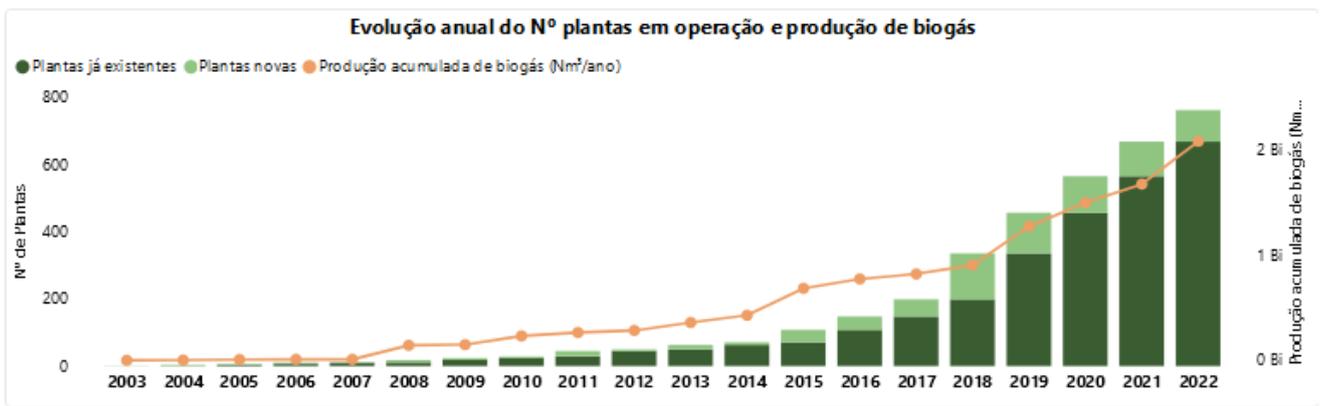


Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

para gerar 176,14 milhões de Nm^3/ano , sendo três plantas em implantação, 51 em operação e três em reforma.

A Figura 08 representa a evolução das plantas utilizadas na geração de energia elétrica, sendo de 13 plantas para este propósito, com capacidade de geração de 22,47 milhões de Nm^3/ano .

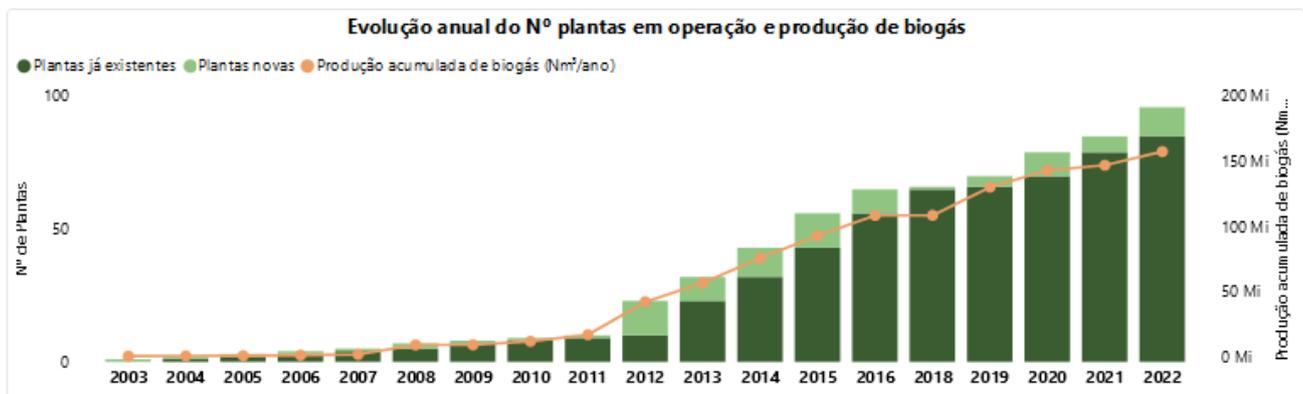
Figura 08 – Fonte do Substrato – Indústria. Principal uso – energia elétrica



Fonte: CIBiogás (2022).

Das 157 plantas de geração de biogás a partir dos dejetos da indústria, 43 são usadas para geração de energia térmica, com capacidade de gerar 99,50 milhões de Nm^3/ano , como apresentado na Figura 09.

Figura 09 – Fonte do Substrato – Indústria. Principal uso – energia térmica



Fonte: CIBiogás (2022).

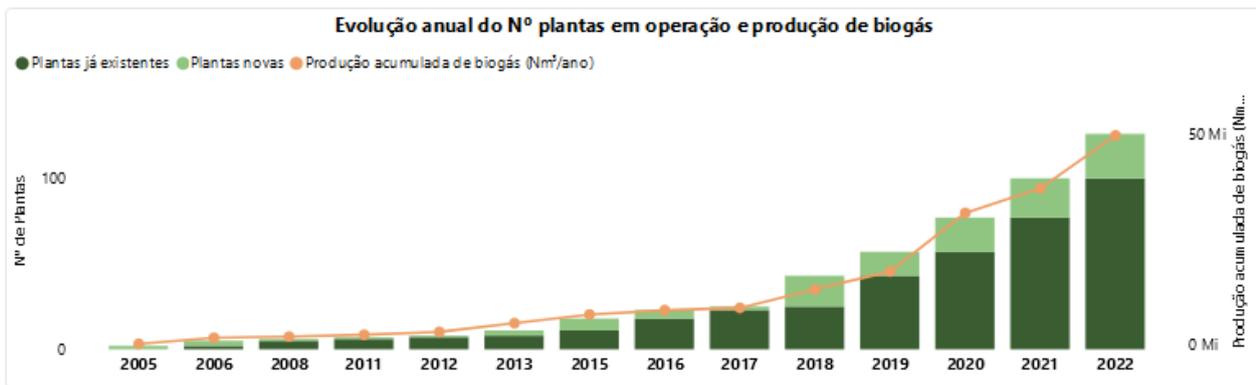


Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

A evolução anual do número de plantas em operação e a produção de biogás a partir dos substratos gerados na agropecuária são apresentadas nas Figuras 10 a 12.

O estado do Paraná possui 144 plantas com capacidade de gerar 69,89 milhões de Nm^3/ano . Dessas plantas, sete estão em implantação, 136 em operação e uma em reforma. A Figura 09, apresenta a evolução do número de plantas utilizadas na geração de energia elétrica, sendo 134 plantas com capacidade de geração de 684,42 milhões de Nm^3/ano .

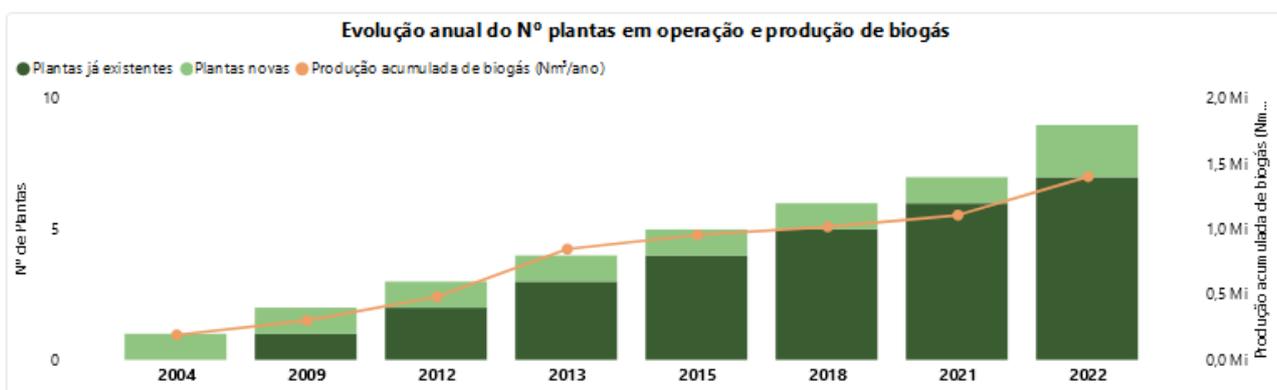
Figura 10 – Fonte do Substrato – Agropecuária. Principal uso – energia elétrica



Fonte: CIBiogás (2022).

Já a quantidade de plantas usada na geração de energia térmica é de nove plantas com capacidade de gerar 1,40 milhões de Nm^3/ano , apresentada na Figura 11.

Figura 11 – Fonte do Substrato – Agropecuária. Principal uso – energia térmica



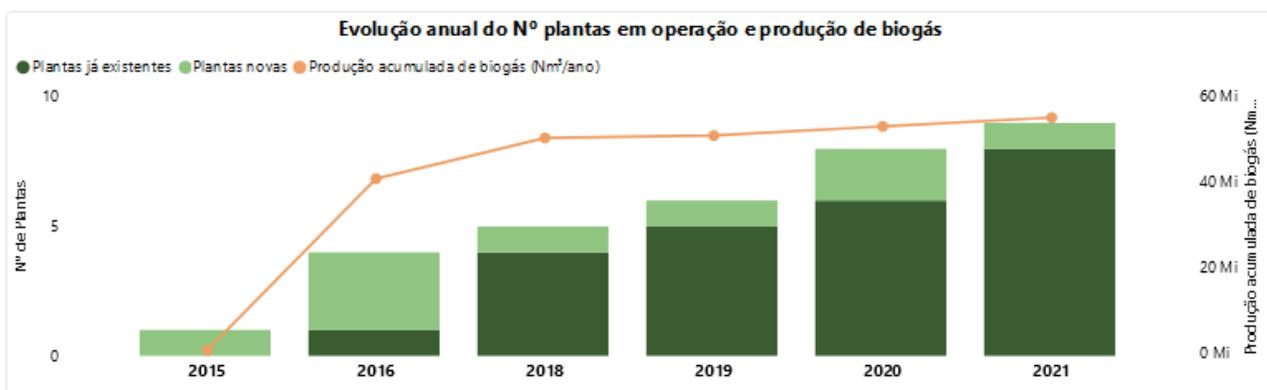
Fonte: CIBiogás (2022).



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Na Figura 12 destacamos a evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás a partir dos substratos gerados por resíduos sólidos urbanos (RSU) ou esgoto. O Estado possui 11 plantas, todas em operação com capacidade de gerar 59,35 milhões de Nm³/ano, sendo nove delas utilizadas na geração de energia elétrica com capacidade de gerar 55,18 milhões de Nm³/ano.

Figura 12 – Fonte do Substrato – RSU ou Esgoto. Principal uso – energia elétrica



Fonte: CIBiogás (2022).

3.3. Coleta de dados

Para o cálculo das estimativas, foi necessário realizar a aquisição de dados referente aos Plantéis de bovinos, suínos e de aves no estado do Paraná. No presente estudo, foram utilizados os dados obtidos no site do IBGE-SIDRA-Censo Agropecuário-2017, da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) de 2020 e 2021, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Departamento de Economia Rural 2022 e do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IparDES).

De acordo com a pesquisa da pecuária municipal (PPM), divulgada pelo IBGE, em 2020 (IBGE, 2021), o rebanho bovino nacional cresceu 1,5%, chegando a 218,2 milhões de cabeças, maior efetivo desde 2016. Desse total, 8.584.939 milhões de cabeças pertencem ao estado do Paraná, total que coloca o estado em 11^o posição no ranking nacional (DERAL, 2022).

Em 2021, o rebanho bovino brasileiro cresceu pelo terceiro ano consecutivo e alcançou o número recorde da série histórica. O crescimento de



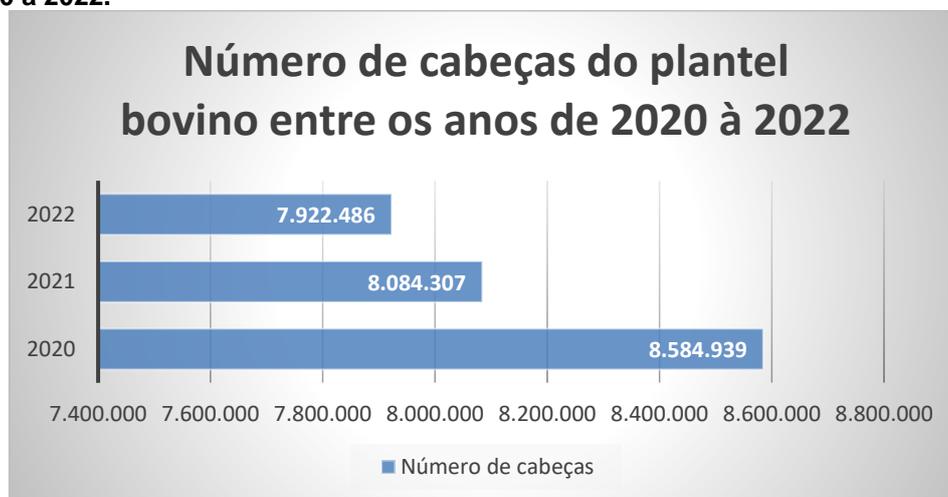
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

3,1% na comparação com 2020 fez o número de cabeças chegar a 224,6 milhões, ultrapassando o recorde anterior, que era de 218,2 milhões. Apesar do aumento nacional do rebanho bovino, o número de cabeças do estado do Paraná teve uma leve diminuição, aparecendo na pesquisa com um rebanho de 8.084.307 milhões de cabeças (IBGE, 2021).

Em 2022, o rebanho bovino brasileiro cresceu pelo terceiro ano consecutivo, atingindo a marca de 234,3 milhões de cabeças (IBGE, 2022) das quais 7.922.486 milhões pertencem ao plantel do estado do Paraná.

A redução no número de cabeças do rebanho bovino, segundo o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2023) é resultado da estiagem dos anos 2021/2022, que afetou o setor agropecuário do Estado. O Gráfico 01 representa os números do plantel bovino do Estado do Paraná.

Gráfico 01 – Número de cabeças do plantel de bovinos do estado do Paraná, entre os anos de 2020 à 2022.



Fonte: O autor

Segundo dados do Departamento de Economia Rural (DERAL, 2022), em 2020 o Brasil possuía o quarto maior efetivo de suínos, sendo o quarto maior produtor mundial de carne suína e o quarto maior exportador. O país tinha 41,1 milhões de suínos, com alta de 1,4% ante 2019. Santa Catarina manteve a liderança entre os estados, com 7,8 milhões de cabeças e alta de 2,8% no ano. O Paraná ficou em segundo lugar com um plantel de 6,9 milhões de cabeças,



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

com destaque para a cidade de Toledo (PR), que foi o maior produtor, com 1,2 milhão de suínos, ou 2,9% do total nacional (Paraná, 2021).

O rebanho de suínos teve um crescimento de 3,2% em 2021, chegando a 42,5 milhões de animais, o maior efetivo nacional de suínos da série histórica da pesquisa, sendo que metade desse rebanho, 21,4 milhões de animais, está na Região Sul, no qual o estado do Paraná aparece em segundo lugar com 6,6 milhões de cabeças, e a cidade de Toledo se destaca como o município com o maior rebanho, com 869,2 mil de cabeças (IBGE, 2021).

De acordo com os dados da PPM (IBGE, 2022), em 2022, o rebanho de suínos cresceu 4,3% no País, chegando ao recorde de 44,4 milhões de animais. Mais da metade desse plantel fica na região Sul, sendo que o Paraná, que é o segundo maior produtor nacional, tinha um total de sete milhões de cabeças. Com um rebanho de 909,8 mil porcos, a cidade de Toledo, na região Oeste, liderou pelo terceiro ano consecutivo a produção suína brasileira. O Gráfico 02 representa os números do plantel suíno do Estado do Paraná.

Gráfico 02 – Número de cabeças em milhões do plantel de suínos do estado do Paraná, entre os anos de 2020 à 2022.



Fonte: O autor

De acordo com os dados divulgados pelo IBGE, em 2020, o efetivo de galináceos – galos, galinhas, frangos, frangas, pintos e pintainhas – somou 1,5 bilhão de cabeças, 1,5% maior que no ano anterior, com acréscimo de 21,7



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

milhões de animais. O Paraná lidera o ranking desde 2005, com 26,7% do total nacional, um efetivo de 395 milhões de cabeças (IBGE, 2021).

Já em 2021, o total de galináceos, aumentou 3,5% (52,2 milhões de animais) entre 2020 e 2021, chegando a 1,5 bilhão de cabeças. Desse total, 428.483.550 cabeças pertencem ao plantel do estado do Paraná, que corresponde a 34% da produção nacional, com destaque para o município de Cascavel, que lidera o *ranking* municipal dentre os 5.486 municípios que registraram presença de galináceos. O município de Cascavel teve aumento de 17,8% em seu efetivo em 2021, enquanto o antigo líder da lista, Santa Maria de Jetibá (ES), caiu para a 2ª posição. Itaberaí (GO) e Cianorte (PR) ultrapassaram Bastos (SP), completando o TOP5 (IBGE, 2021).

Em 2022, o efetivo de galináceos subiu 3,8%, atingindo o recorde de 1,6 bilhão de animais, com destaque novamente para o estado do Paraná, com 470 milhões, o equivalente a 29,7% do plantel nacional. A cidade de Cascavel, no Paraná, ficou novamente em primeiro lugar na criação de galináceos, somando mais de 21 milhões de animais. Cianorte, no Noroeste, foi o quarto maior produtor nacional, com 13,8 milhões de unidades (Paraná, 2023). O Gráfico 03 representa os números do plantel de galináceos do Estado do Paraná.

Gráfico 03 – Número de cabeças em milhões do plantel de galináceos do Estado do Paraná entre os anos de 2020 à 2022.



Fonte: O autor

A partir dos dados levantados da pecuária paranaense, apresentamos abaixo os resultados e discussão.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Estimativa do potencial teórico de produção de biogás

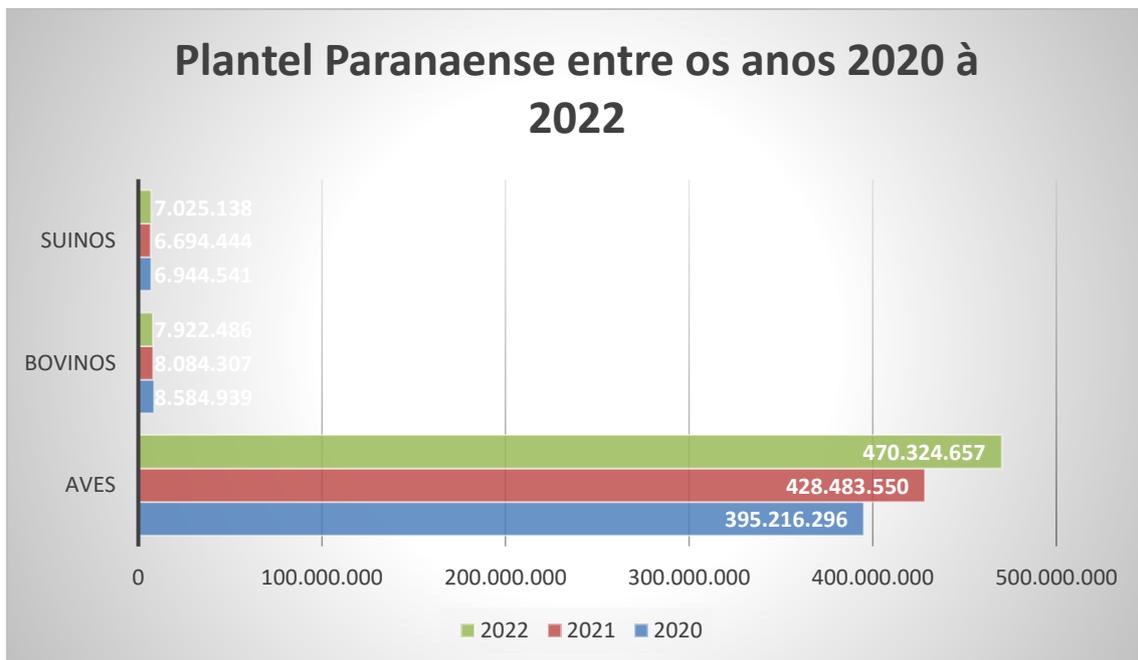
Os dados referentes aos plantéis do estado do Paraná são apresentados no Quadro 04 e no Gráfico 04.

Quadro 04 – Plantel Paranaense entre os anos de 2020 à 2022

Fonte de Substrato	Número de cabeças		
	2020	2021	2022
Aves	395.216.296	428.483.550	470.324.657
Bovinos	8.584.939	8.084.307	7.922.486
Suínos	6.944.541	6.694.444	7.025.138

Fonte: Adaptado de DERAL (2022), IBGE (2021 e 2022); PARANÁ (2021 e 2023).

Gráfico 04 – Plantel Paranaense entre os anos de 2020 à 2022



Fonte: Adaptado de DERAL (2022), IBGE (2021 e 2022); PARANÁ (2021 e 2023).

Considerando que os dados apresentados no Quadro 04 referem-se ao número de cabeças, ou seja, uma representação do quantitativo total do efetivo de rebanhos e que a geração de metano (em m³) corresponde à quantidade de



metano contida no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras (CETESB, 2006), a equação utilizada para o cálculo da estimativa do potencial teórico de produção de biogás, foi desenvolvida a partir da metodologia da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006), adaptada pelo Centro Nacional de Referência da Biomassa (CENBIO, 2008), sendo adotados os valores médios diários da produção de dejetos, que foram pesquisados na literatura e apresentados no Quadro 05.

Quadro 05 - Valores médios diários da produção de dejetos

Fonte de Substrato	Kg de dejetos/dia	m ³ de biogás/dejeto	Concentração de Metano
Aves	0,18	0,055	60%
Bovinos	10	0,040	60%
Suínos	2,25	0,064	66%

Fonte: Adaptado de CENBIO (2012); Farret (2014).

A produção de metano, quantidade produzida em m³ por ano (365 dias), é dada pela Equação (1), a partir dos valores dos parâmetros mostrados no Quadro 05.

$$CH_4 = \frac{T \times N^{\circ} \text{decabeças} \times E \times P \times \text{Conc.} CH_4}{0,670} \quad (1)$$

Sendo:

CH_4 - Volume de metano (m³/ano).

E - Esterco total [kg_{esterco} / (dia_{unidade geradora})].

P - Produção de biogás [kg_{biogás}/kg_{esterco}].

$\text{Conc. } CH_4$ - Concentração de metano no biogás [%].

T - Tempo em dias.

Tem-se:



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Potencial teórico de produção de biogás a partir de dejetos gerados pela avicultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2021:

Ano de 2020:

$$CH_4 = \frac{365 \times 395.216.296 \times 0,18 \times 0,055 \times 0,60}{0,670}$$

$$CH_4 = 1.278.908.136,35 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 1,28 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2021:

$$CH_4 = \frac{365 \times 428.483.550 \times 0,18 \times 0,055 \times 0,60}{0,670}$$

$$CH_4 = 1.386.559.977,25 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 1,39 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2022:

$$CH_4 = \frac{365 \times 470.324.657 \times 0,18 \times 0,055 \times 0,60}{0,670}$$

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

$$CH_4 = 1.521.956.550,51 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 1,52 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Potencial teórico de produção de biogás a partir de dejetos gerados pela suinocultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022:

Ano de 2020:

$$CH_4 = \frac{365 \times 6.944.541 \times 2,25 \times 0,064 \times 0,66}{0,670}$$

$$CH_4 = 359.557.238,02 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 3,6 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2021:

$$CH_4 = \frac{365 \times 6.694.444 \times 2,25 \times 0,064 \times 0,66}{0,670}$$

$$CH_4 = 346.608.335,2 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 3,47 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2022:



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

$$CH_4 = \frac{365 \times 7.025.138 \times 2,25 \times 0,064 \times 0,66}{0,670}$$

$$CH_4 = 363.730.189,80 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 3,64 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Potencial teórico de produção de biogás a partir de dejetos gerados pela bovinocultura no estado do Paraná referentes aos anos de 2020 a 2022:

Ano de 2020:

$$CH_4 = \frac{365 \times 8.584.939 \times 10 \times 0,04 \times 0,60}{0,670}$$

$$CH_4 = 1.122.448.740,90 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 1,12 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2021:

$$CH_4 = \frac{365 \times 8.084.307 \times 10 \times 0,04 \times 0,60}{0,670}$$



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

$$CH_4 = 1.056.992.975,93 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 1,06 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2022:

$$CH_4 = \frac{365 \times 7.922.486 \times 10 \times 0,04 \times 0,60}{0,670}$$

$$CH_4 = 1.035.835.482,99 \frac{m^3}{ano}$$

$$CH_4 = 1,04 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

No Quadro 06 são apresentados os valores obtidos do potencial teórico de produção de biogás para o período que compreende os anos de 2020 a 2022.

Quadro 06 - Valores da quantidade de CH₄ gerados a partir de dejetos.

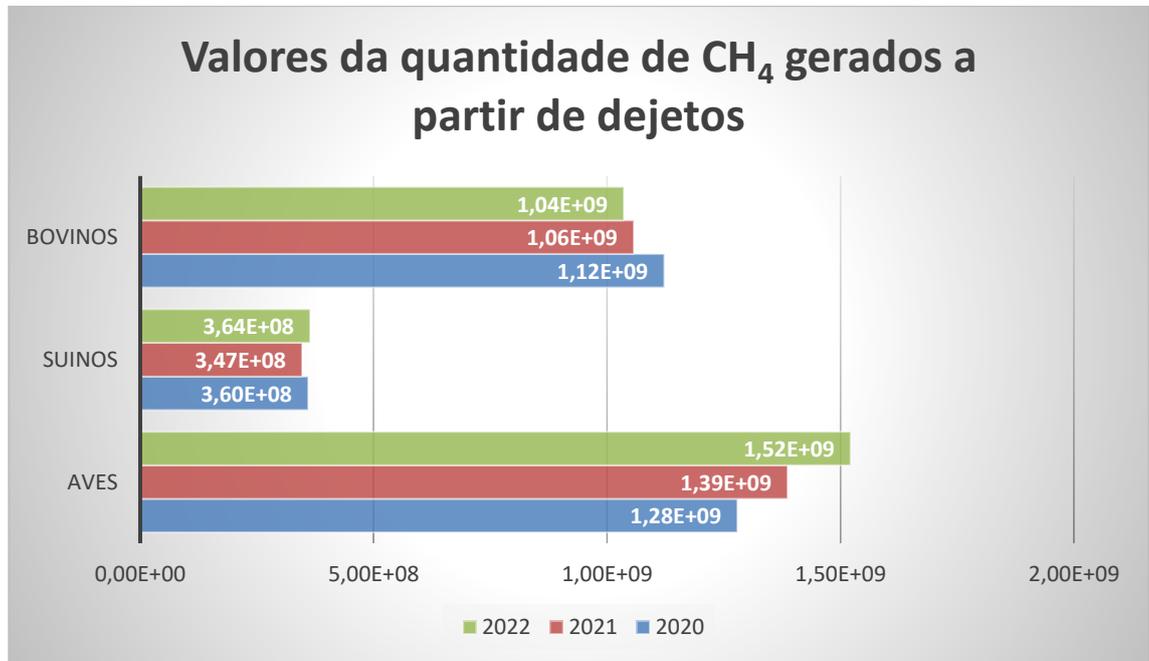
Fonte de Substrato	CH ₄ [$\frac{m^3}{ano}$]		
	2020	2021	2022
Aves	1,28 x 10 ⁹	1,39 x 10 ⁹	1,52 x 10 ⁹
Suínos	3,6 x 10 ⁸	3,47 x 10 ⁸	3,64 x 10 ⁸
Bovinos	1,12 x 10 ⁹	1,06 x 10 ⁹	1,04 x 10 ⁹

Fonte: O autor.



Para uma melhor visualização dos valores descritos no Quadro 06, os dados são apresentados em formato de gráfico (Gráfico 05).

Gráfico 05 - Valores da quantidade de CH₄ gerados a partir de dejetos.



Fonte: O autor.

A partir dos dados obtidos e apresentados no Quadro 06 e Gráfico 05, foi possível calcular o volume do biogás corrigido em função do processo.

Cálculo do volume do biogás corrigido em função do processo

A produção de metano determinada por meio da estequiometria da digestão anaeróbica apresenta valores maiores que os apresentados na produção efetiva (Milanez; Maia; Guimarães, 2021), devido às perdas de metano que podem ocorrer quanto à dissolução deste gás no efluente do reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) ou à transferência deste gás da superfície da água no reator para a atmosfera (Veronez, 2001).

A perda de metano no efluente líquido, corresponde a 44,8% da produção total de gás gerado (dissolvido + biogás), valor significativo que reduz o potencial energético do biogás previsto no cálculo de estimativa (Souza, et al. 2009, apud



Miki, 2010). Dessa forma, para se calcular com maior precisão o potencial energético e obter um resultado coerente sobre o verdadeiro potencial energético do biogás, é fundamental ter uma boa estimativa das perdas de metano associadas ao processo produtivo (Milanez; Maia; Guimarães, 2021).

A partir dos percentuais de metano típicos obtidos na digestão anaeróbia de cada tipo de dejetos animal (Quadro 06), a quantificação do volume de biogás real foi feita de acordo com as Equações (2) e (3), e com os valores de CH_4 (Quadro 06) considerando um fator de correção de 0,5 (50%) da produção de biogás em função do processo (Batista, et al. 2021):

$$V_{biogás} = \frac{CH_4}{Metano(\%)} \quad (2)$$

Sendo:

$V_{biogás}$ - Volume do biogás dado em $\left[\frac{m^3}{ano}\right]$.

CH_4 - Volume de metano $\left[\frac{m^3}{ano}\right]$.

$$V_{biogásreal} = V_{biogás} \times f_c \quad (3)$$

Sendo:

$V_{biogásreal}$ - Volume do biogás corrigido em função do processo $\left[\frac{m^3}{ano}\right]$.

$V_{biogás}$ - Volume do biogás $\left[\frac{m^3}{ano}\right]$.

f_c - Fator de correção referente a eficiência média dos processos de biodigestão mais usuais na produção de biogás para resíduos animais e perdas na produção (0,5, ou seja 50%) (Batista, et al. 2021).

O volume do biogás corrigido em função do processo para a avicultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022 é dado por:

Ano de 2020:



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

$$V_{biogás} = \frac{1,28 \times 10^9}{0,60}$$

$$V_{biogás} = 2.13 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (2.13 \times 10^9) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 1.06 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2021:

$$V_{biogás} = \frac{1,39 \times 10^9}{0,60}$$

$$V_{biogás} = 2.31 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (2.31 \times 10^9) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 1.16 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2022:

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

$$V_{biogás} = \frac{1,52 \times 10^9}{0,60}$$

$$V_{biogás} = 2,53 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (2,53 \times 10^9) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 1,26 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

O volume do biogás corrigido em função do processo para a suinocultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022 é dado por:

Ano de 2020:

$$V_{biogás} = \frac{3,6 \times 10^8}{0,66}$$

$$V_{biogás} = 5,45 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (5,45 \times 10^8) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 2,72 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2021:



$$V_{biogás} = \frac{3,47 \times 10^8}{0,66}$$

$$V_{biogás} = 5,25 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (5,25 \times 10^8) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 2,63 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2022:

$$V_{biogás} = \frac{3,64 \times 10^8}{0,66}$$

$$V_{biogás} = 5,51 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (5,51 \times 10^8) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 2,75 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

O volume do biogás corrigido em função do processo para a bovinocultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022 é dado por:

Ano de 2020:

$$V_{biogás} = \frac{1,12 \times 10^9}{0,60}$$

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

$$V_{biogás} = 1,86 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (1,86 \times 10^9) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 9,3 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2021:

$$V_{biogás} = \frac{1,06 \times 10^9}{0,60}$$

$$V_{biogás} = 1,76 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (1,76 \times 10^9) \times 0,5$$

$$V_{biogásreal} = 8,8 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

Ano de 2022:

$$V_{biogás} = \frac{1,04 \times 10^9}{0,60}$$

$$V_{biogás} = 1,73 \times 10^9 \frac{m^3}{ano}$$

$$V_{biogásreal} = (1,73 \times 10^9) \times 0,5$$



$$V_{biogásreal} = 8,65 \times 10^8 \frac{m^3}{ano}$$

No Quadro 07 são apresentados os valores do volume do biogás corrigido em função do processo para os anos de 2020 a 2022:

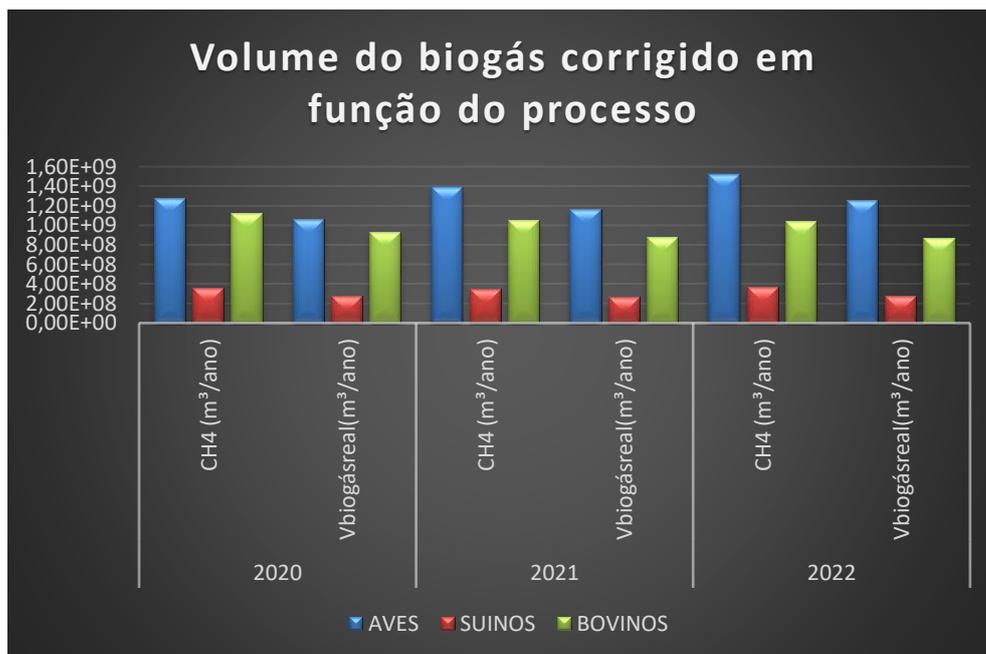
Quadro 07 - Volume do biogás corrigido em função do processo

Fonte de Substrato	2020		2021		2022	
	CH ₄ [$\frac{m^3}{ano}$]	$V_{biogásreal}$ [$\frac{m^3}{ano}$]	CH ₄ [$\frac{m^3}{ano}$]	$V_{biogásreal}$ [$\frac{m^3}{ano}$]	CH ₄ [$\frac{m^3}{ano}$]	$V_{biogásreal}$ [$\frac{m^3}{ano}$]
Aves	1,28 x 10 ⁹	1,06 x 10 ⁹	1,39 x 10 ⁹	1,16 x 10 ⁹	1,52 x 10 ⁹	1,26 x 10 ⁹
Suínos	3,6 x 10 ⁸	2,72 x 10 ⁸	3,47 x 10 ⁸	2,63 x 10 ⁸	3,64 x 10 ⁸	2,75 x 10 ⁸
Bovinos	1,12 x 10 ⁹	9,3 x 10 ⁸	1,06 x 10 ⁹	8,8 x 10 ⁸	1,04 x 10 ⁹	8,65 x 10 ⁸

Fonte: O autor.

Para uma melhor visualização e comparação dos valores, os dados do Quadro 07 estão representados no Gráfico 06.

Gráfico 06 - Valores da quantidade de CH₄ e do volume do biogás corrigido em função do processo.



Fonte: O autor



A partir dos dados obtidos para o volume de biogás corrigido em função do processo e apresentados no Quadro 07 e no Gráfico 06, foi possível realizar o cálculo do potencial de geração de energia elétrica para os anos de 2020 a 2022.

Cálculo do potencial de geração de energia elétrica

A utilização do biogás como recurso energético se deve principalmente ao metano (CH_4). Considerando o biogás com um teor de metano entre 50 e 80%, para a estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir dos dados levantados no presente estudo, utilizou-se a conversão de energia elétrica a partir do metano em função do seu poder calorífico inferior (PCI) na faixa de 50 a 70%, de acordo com o Quadro 08, proposto por *La Farge* (1995).

Quadro 08 - Poder calorífico do biogás a partir da concentração de metano.

CH ₄ [%]	PCI [kWhm ³]
50	4,3
60	5,1
70	6,0
80	6,9
90	7,8
100	8,6

Fonte: *La Farge* (1995).

Devido ao baixo rendimento da transformação energética de biogás em energia elétrica com um conjunto de moto geradores de eletricidade (Batista, et al. 2021), no cálculo da determinação teórica do potencial de transformação de energia elétrica a partir do Biogás, foi utilizado o fator de correção de 0,25 (25%), de acordo com a metodologia adotada por Kunz e Oliveira (2006). Desse modo, utilizando a Equação (4) foi possível determinar o valor do potencial médio de conversão de biogás em energia elétrica corrigido.

**Universidade Estadual de Maringá****Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

$$PotmédioCH_4 = \left[\frac{PCI50\% + PCI70\%}{2} \right] \times 0,25 \quad (4)$$

Sendo:

PCI50% - Poder calorífico inferior do biogás com volume de metano a 50% [kWh].

PCI70% - Poder calorífico inferior do biogás com volume de metano a 70% [kWh].

$$PotmédioCH_4 = \left[\frac{4,3 + 6,0}{2} \right] \times 0,25$$

$$PotmédioCH_4 = 1,290 kWh \cdot m^3_{biogás}$$

O valor obtido a partir da Equação (4) se aproxima dos valores teóricos pesquisados na literatura, como destacado no Quadro 09.

Quadro 09 - Valor teórico do potencial médio de conversão de biogás em energia elétrica.

Potencial médio [$kWh \cdot m^3_{biogás}$]	Autores
1,43	MARTINS (2015)
1,47	Malaggi, de Souza (2014)
1,3	Dos Santos, Nardi Junior (2013)
1,428	Kunz et. al. (2014).
1,3	Colatto e Langer (2011).
1,428	Gaspar (2003).

Fonte: o autor.

A partir do valor calculado para o potencial médio de conversão de biogás em energia elétrica, a partir da Equação (3), foi possível determinar o cálculo do montante de energia elétrica em kWh, utilizando a Equação (5).

$$Energia(kWh) = V_{biogásreal} \cdot PotmédioCH_4 \quad (5)$$



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

O montante de energia elétrica produzida a partir do volume de biogás gerado pela avicultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022 é dado por:

Ano de 2020:

$$Energia = (1,06 \times 10^9) \times 1,290$$

$$Energia = 1,37 \times 10^9 \frac{kWh}{ano}$$

Ano de 2021:

$$Energia = (1,16 \times 10^9) \times 1,290$$

$$Energia = 1,49 \times 10^9 \frac{kWh}{ano}$$

Ano de 2022:

$$Energia = (1,26 \times 10^9) \times 1,290$$

$$Energia = 1,63 \times 10^9 \frac{kWh}{ano}$$

O montante de energia elétrica produzida a partir do volume de biogás gerado pela suinocultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022 é dado por:

Ano de 2020:

$$Energia = (2,72 \times 10^8) \times 1,290$$



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

$$Energia = 3,54 \times 10^8 \frac{kWh}{ano}$$

Ano de 2021:

$$Energia = (2,63 \times 10^8) \times 1,290$$

$$Energia = 3,39 \times 10^8 \frac{kWh}{ano}$$

Ano de 2022:

$$Energia = (2,75 \times 10^8) \times 1,290$$

$$Energia = 3,55 \times 10^8 \frac{kWh}{ano}$$

O montante de energia elétrica gerada a partir do volume de biogás proveniente da bovinocultura no estado do Paraná referente aos anos de 2020 a 2022 é dado por:

Ano de 2020:

$$Energia = (9,3 \times 10^8) \times 1,290$$

$$Energia = 1,20 \times 10^9 \frac{kWh}{ano}$$

Ano de 2021:

$$Energia = (8,81 \times 10^8) \times 1,290$$



Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

$$Energia = 1,14 \times 10^9 \frac{kWh}{ano}$$

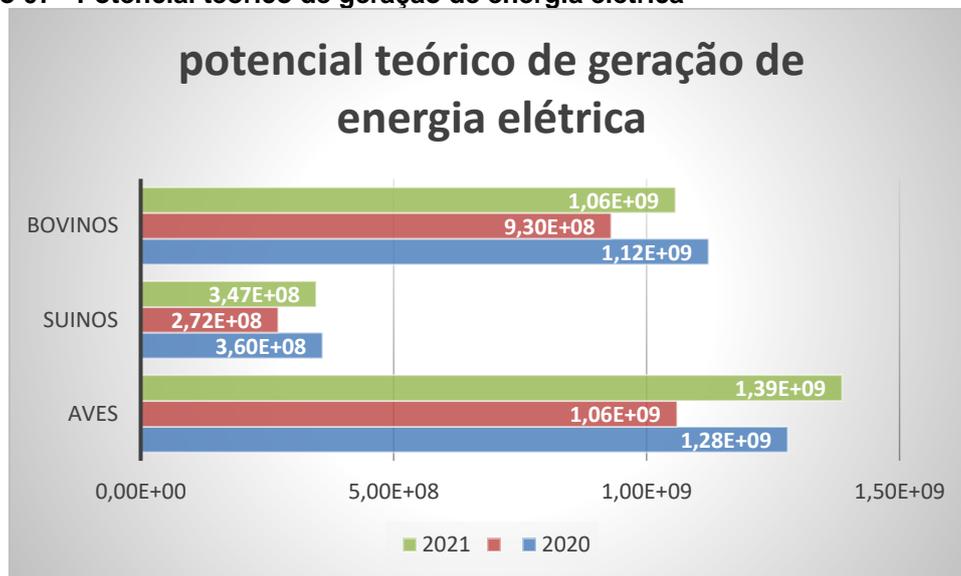
Ano de 2022:

$$Energia = (8,65 \times 10^8) \times 1,290$$

$$Energia = 1,12 \times 10^9 \frac{kWh}{ano}$$

O montante de energia elétrica gerada a partir do volume de biogás proveniente dos dejetos da pecuária paranaense são apresentados no Gráfico 07.

Gráfico 07 - Potencial teórico de geração de energia elétrica



Fonte: O autor

Na Tabela 01 são apresentados os dados, sínteses anuais dos volumes de metano e biogás corrigidos, e o potencial teórico de geração de energia elétrica referente ao período que compreende os anos de 2020 a 2022.



Tabela 01 - Volumes de metano e biogás corrigidos e potencial teórico de geração de energia elétrica

	2020			2021			2022		
	AVES	SUÍNOS	BOVINOS	AVES	SUÍNOS	BOVINOS	AVES	SUÍNOS	BOVINOS
$\text{CH}_4 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right]$	$1,28 \times 10^9$	$3,6 \times 10^8$	$1,12 \times 10^9$	$1,39 \times 10^9$	$3,47 \times 10^8$	$1,06 \times 10^9$	$1,52 \times 10^9$	$3,64 \times 10^8$	$1,04 \times 10^9$
$V_{\text{BIOGÁS}} \left[\frac{\text{M}^3}{\text{ano}} \right]$	$2,13 \times 10^9$	$5,45 \times 10^8$	$1,86 \times 10^9$	$2,31 \times 10^9$	$5,25 \times 10^8$	$1,76 \times 10^9$	$2,53 \times 10^9$	$5,51 \times 10^8$	$1,73 \times 10^9$
$V_{\text{biogás real}} \left[\frac{\text{M}^3}{\text{ano}} \right]$	$1,06 \times 10^9$	$2,72 \times 10^8$	$9,3 \times 10^8$	$1,16 \times 10^9$	$2,63 \times 10^8$	$8,8 \times 10^8$	$1,26 \times 10^9$	$2,75 \times 10^8$	$8,65 \times 10^8$
Equivalente em energia elétrica $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right]$	$1,37 \times 10^9$	$3,54 \times 10^8$	$1,20 \times 10^9$	$1,49 \times 10^9$	$3,39 \times 10^8$	$1,14 \times 10^9$	$1,63 \times 10^9$	$3,55 \times 10^8$	$1,12 \times 10^9$
Total $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right]$	$2,92 \times 10^9$			$2,97 \times 10^9$			$3,11 \times 10^9$		

Fonte: O autor

Observou-se a partir do cálculo da energia elétrica potencial teórica total que seria possível gerar unicamente dos resíduos da pecuária em 2022 cerca de $2,92 \times 10^9$ kWh/ano, em 2021 cerca de $2,97 \times 10^9$ kWh/ano e em 2022 cerca de $3,11 \times 10^9$ kWh/ano.

Se considerarmos os dados de 2022, onde o consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 509 TWh, cerca de 2,4% maior do que no ano anterior, sendo a região Sul a líder em consumo per capita de energia elétrica no Brasil com 3.084 kWh por habitantes (EPE, 2023), podemos determinar a quantidade de pessoas que poderiam ser atendidas pela energia elétrica gerada a partir dos dejetos oriundos da pecuária do estado do Paraná, dados apresentados na Tabela 02.



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Tabela 02 - Quantidade de habitantes atendidos pela energia elétrica gerada a partir dos dejetos da pecuária Paranaense.

Fonte de Substrato	2020		2021		2022	
	ENERGIA ELÉTRICA (kWh/ano)	QUANTIDADE DE HABITANTES ATENDIDOS	ENERGIA ELÉTRICA (kWh/ano)	QUANTIDADE DE HABITANTES ATENDIDOS	ENERGIA ELÉTRICA (kWh/ano)	QUANTIDADE DE HABITANTES ATENDIDOS
AVES	1,37 x 10 ⁹	444.228,27	1,49 x 10 ⁹	483.138,78	1,63 x 10 ⁹	528.534,37
SUÍNOS	3,54 x 10 ⁸	114.785,99	3,39 x 10 ⁸	109.922,18	3,55 x 10 ⁸	115.110,25
BOVINOS	1,20 x 10 ⁹	389.105,06	1,14 x 10 ⁹	369.649,81	1,12 x 10 ⁹	363.164,72
TOTAL	2,92 x 10 ⁹	948.119,32	2,97 x 10 ⁹	962.710,77	2,92 x 10 ⁹	1.006.809,34

Fonte: O autor

Para análise do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás, utilizaremos o número de habitantes por mesorregiões geográficas do estado do Paraná, apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Número de habitantes por mesorregião geográfica.

Mesorregiões geográficas	Nº de habitantes
MESO-01 (4104) - NORTE PIONEIRO PARANAENSE	553.837
MESO-02 (4103) - NORTE CENTRAL PARANAENSE	2.301.830
MESO-03 (4101) - NOROESTE PARANAENSE	731.285
MESO-04 (4105) - CENTRO ORIENTAL PARANAENSE	773.897
MESO-05 (4102) - CENTRO OCIDENTAL PARANAENSE	326.363
MESO-06 (4106) - OESTE PARANAENSE	1.330.154
MESO-07 (4108) - CENTRO-SUL PARANAENSE	467.336
MESO-08 (4107) - SUDOESTE PARANAENSE	630.873
MESO-09 (4109) - SUDESTE PARANAENSE	442.697
MESO-10 (4110) - METROPOLITANA DE CURITIBA	4.039.212
TOTAL	11.597.484

Fonte: Adaptado de IBGE (2022), IPAERDES (2022).



A partir do número de habitantes, podemos observar que o valor total de produção de energia elétrica a partir dos dejetos da pecuária entre os anos de 2020 a 2022 seriam suficientes para atender a demanda de aproximadamente 8% da população paranaense durante o período de um ano (8,17 % em 2020, 8,30% em 2021 e 8,7% em 2022), ou seja, a quantidade total de energia elétrica gerada é capaz de suprir a demanda independente das Regiões Centro Sul Paranaense e Sudoeste Paranaense.

Do total geral de energia elétrica gerado, a avicultura, corresponde à 47% no ano de 2020 com potencial de geração de $1,37 \times 10^9$ kWh/ano é, capaz de atender a demanda anual de uma população de 444.228,27 habitantes, aproximadamente a população da Região Sudoeste Paranaense. Já em 2021 a avicultura corresponde a 50% do total de energia elétrica gerada, sendo capaz de atender a demanda anual de uma população de 483.138,78 habitantes. Em 2022, a energia elétrica gerada a partir dos dejetos da avicultura, correspondeu a 55% do total de energia elétrica gerada, sendo capaz de atender a demanda anual de uma população de 528.534,37 habitantes. Tanto em 2021 quanto em 2022, a quantidade de energia gerada é suficiente para atender aproximadamente a demanda da população da Região Centro-Sul Paranaense.

A suinocultura, no ano de 2020 correspondeu a 12%, da energia elétrica gerada, com potencial de geração de $3,54 \times 10^8$ kWh/ano, capaz de atender a demanda anual de uma população de 114.785,99 habitantes, aproximadamente a população da cidade de Sarandi-PR que possui 118.445 habitantes (IBGE, 2022). Já em 2021 a suinocultura corresponde a 11,4% do total de energia elétrica gerada, sendo capaz de atender a demanda anual de uma população de 109.922,18 habitantes, aproximadamente a população da cidade de Cambé-PR, com 107.208 habitantes (IBGE, 2022). Em 2022, a energia elétrica gerada a partir dos dejetos da suinocultura, correspondeu a 12,2% do total de energia elétrica gerada, sendo capaz de atender a demanda anual de uma população de 115.110,25 habitantes, aproximadamente a população da cidade de Piraquara-PR, com 118.730 habitantes (IBGE, 2022).

Já a bovinocultura, no ano de 2020 correspondeu a 41%, com potencial de geração de $1,20 \times 10^9$ kWh/ano, capaz de atender a demanda anual de uma



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

população de 389.105,06 habitantes. Em 2021 a bovinocultura correspondeu a 38,4% do total de energia elétrica gerada, sendo capaz de atender a demanda anual de uma população de 369.649,81 habitantes, e em 2022, a energia elétrica gerada a partir dos dejetos da bovinocultura, correspondeu a 38% do total de energia elétrica gerada, sendo capaz de atender a demanda anual de uma população de 363.164,72 habitantes. A quantidade de energia gerada pela bovinocultura nos anos de 2020, 2021 e 2022 seria suficiente para suprir a demanda anual da população da Região Centro Ocidental Paranaense.

Na Tabela 03, é apresentado um comparativo do aumento do número de cabeças, bem como da quantidade de energia elétrica gerada a partir dos resíduos da pecuária Paranaense, para os anos de 2019 a 2022.

Tabela 03 - Comparativo do aumento de número de cabeças e geração de energia elétrica entre 2019 e 2022.

Fonte de Substrato	Número de cabeças em milhões				Equivalente em energia elétrica $\left[\frac{kWh}{ano}\right]$			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Aves	347	395	428	470	$1,18 \times 10^5$	$1,37 \times 10^9$	$1,49 \times 10^9$	$1,63 \times 10^9$
Suínos	5,3	6,9	6,6	7,02	$4,42 \times 10^7$	$3,54 \times 10^8$	$3,39 \times 10^8$	$3,55 \times 10^8$
Bovinos	4,1	8,5	8,08	7,9	$1,71 \times 10^6$	$1,20 \times 10^9$	$1,14 \times 10^9$	$1,12 \times 10^9$

Fonte: O autor.

Através dos dados levantados, pode-se observar que o estado do Paraná, mantém a liderança na produção animal, sendo a redução no rebanho bovino um resultado da estiagem dos anos 2021/2022 (IPARDES, 2023). Mesmo com essa redução, o Estado apresenta grande potencial de geração de energia elétrica a partir dos dejetos gerados pela pecuária paranaense.



Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

O aumento da quantidade de energia elétrica gerada a partir dos resíduos da pecuária paranaense se deve à política de incentivo à produção de energia a partir de fontes renováveis, que ocasionou o aumento do número de plantas em operação no Estado, bem como do aumento da pecuária ocorrido entre os anos de 2019 a 2022.

**5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O presente trabalho apresentou como objetivo principal avaliar o potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa resultante de dejetos gerados na pecuária do estado do Paraná. Para alcançar este objetivo, foi necessário responder aos objetivos específicos apresentados na introdução deste trabalho. Foi utilizada abordagem dedutiva para planejar os objetivos a serem alcançados e as ações necessárias para alcançá-los, partindo de um plano macro para um plano micro a partir da análise do potencial de geração de biogás no estado, adotando a técnica de revisões sistemáticas de literatura, para assegurar que estudos recentes e relevantes sobre o tema da pesquisa fossem capturados.

Após a realização da pesquisa para avaliar o potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa resultante de dejetos gerados na pecuária do estado do Paraná foi possível realizar o levantamento de metodologias utilizadas para a estimativa da produção de biogás, além de quantificar os sistemas produtivos da agropecuária no estado. Este objetivo foi singular para os objetivos seguintes visto que elucidou os fatores do processo que influenciam a quantidade de biogás a ser produzida.

A pesquisa possibilitou mapear e estimar a potencialidade de geração do biogás em m³/dia e a conversão em energia elétrica em kW. Segundo a metodologia utilizada, foi possível determinar a contribuição para a produção de energia elétrica através da biodigestão anaeróbia de rejeitos dos principais rebanhos da pecuária do Paraná entre aos anos de 2020 a 2022, tomando como base o ano de 2019.

Observou-se que o potencial de produção de energia elétrica a partir dos dejetos nos anos de 2020 a 2022 equivale em média a $3,07 \times 10^9$ kWh/ano. Do total geral de energia elétrica que pode ser gerada, 50% corresponde à avicultura, que tem potencial de geração em média de $1,50 \times 10^9$ kWh/ano. A suinicultura, contribui com um valor de 11,6%, com potencial de geração média de $3,50 \times 10^8$ kWh/ano e a bovinocultura contribui com um valor de 38,4% do valor total, com potencial de geração média de $1,15 \times 10^9$ kWh/ano.

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

A partir do número de habitantes, podemos observar que o valor total de produção de energia elétrica a partir dos dejetos da pecuária é suficiente para atender a demanda de 8% da população paranaense durante o período de um ano (8,17 % em 2020, 8,30% em 2021 e 8,7% em 2022), ou seja, a quantidade total de energia elétrica gerada é capaz de suprir a demanda das Regiões Centro Sul Paranaense e Sudoeste Paranaense, considerando o aumento expressivo no consumo de energia no estado do Paraná (PARANA, 2024).

De acordo com a análise realizada pode-se concluir que o estado do Paraná possui uma enorme capacidade de expansão no que tange o aproveitamento energético através dos dejetos oriundos da pecuária do Estado, concentrando o maior potencial de produção de biogás e o maior índice de aproveitamento entre os estados sul brasileiros. O Estado se destaca também com o maior número de plantas em operação, ficando à frente de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo o segundo estado com mais usinas de produção de biogás no país (CIBIOGÁS, 2022). Com um plantel pecuário que corresponde a 34% da produção nacional, aliado às políticas públicas no setor do biogás, o Estado tem se destacado nesse ramo. O governo do estado tem investido nesse setor, por meio do Sistema Estadual de Agricultura (Seagri), que trabalha na elaboração de uma política pública de aproveitamento de forma intensiva de dejetos agropecuários com vistas à produção de biogás, e com a criação de um grupo de trabalho para dar continuidade nas ações de apoio e incentivo aos produtores rurais, dentro do escopo do Programa Paraná de Energia Rural Renovável (RenovaPR). Essa nova política estimula o biogás e o biometano e pretende ampliar os benefícios e estímulos tanto pela tributação incentivada como pela subvenção às taxas de juros dos financiamentos rurais, possibilitando aos produtores, agroindústrias e cooperativas agropecuárias obter maiores atrativos para instalar biodigestores em suas respectivas propriedades.

Cabe destacar, que o incentivo à produção de energia elétrica a partir do biogás gerado pelos dejetos da pecuária paranaense vai além de promulgação de leis. Faz-se necessário um investimento em políticas públicas que possibilitem o treinamento dos produtores, e o suporte através de assessoria técnica que possibilite o correto manuseio dos dejetos, e do biogás gerado

**Programa de Pós-Graduação em Bioenergia**

através dos geradores implantados nas propriedades rurais, pois apesar de todo incentivo à produção de biogás no Estado, no decorrer do desenvolvimento deste estudo foi identificada uma lacuna de trabalhos acadêmicos referentes a produção de biogás no Estado a partir de dejetos da pecuária. Foram identificadas também algumas oportunidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados ao tema deste trabalho. São elas:

- Levantamento das preocupações significativas sobre a sustentabilidade e riscos de caráter sanitários durante o processo de digestão anaeróbia dos dejetos da pecuária;
- Estudo técnico da ampliação da rede de distribuição de gás natural;
- Estudo aprofundado sobre a viabilidade de utilização de todos resíduos gerados pela pecuária, pois os estudos atuais levam em conta apenas resíduos e efluentes que não apresentam obstáculos ao acesso imediato dentro das cadeias da pecuária;
- Avaliação do custo de retirada dos resíduos agrícolas do campo para a produção de biogás;
- Avaliação do ciclo de vida da produção de biogás através da codigestão dos dejetos gerados pela pecuária do estado do Paraná;
- Estudo de alternativas para consumo de biogás por sistemas residenciais e/ou agropecuários a fim de aumentar o valor agregado de sua produção.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS (ABIOGÁS). **Proposta de Programa Nacional de Biogás e Biometano**. 2019. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/e3a792_993f6eb7580b4628ae5eb65520984fca.pdf . Acesso em: 18 jun. 2022.

ABREU, F. V. et al. Avaliação técnica e econômica da geração de energia do biogás nos aterros de Gramacho e Seropédica. **AS&T Acta Scientiae & Technicae**. Volume 2, Number 1, Jun. 2014

ALMEIDA, C. et al. Analysis of the socio-economic feasibility of the implementation of an agro-energy condominium in western Paraná – Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 75, 2017, Pages 601-608, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.029>

ALVES, E. E. N; INOUE, K. R. A; BORGES. Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. *In*: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL. 2010. Minas Gerais. **Anais** Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/MG.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) 2020b. **Geração Distribuída**. Disponível em http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=2 Acesso em: 15 de jun. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> Acesso em 10 de nov. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS (ABIOGÁS). **Proposta de Programa Nacional de Biogás e Biometano**. 2019. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/e3a792_993f6eb7580b4628ae5eb65520984fca.pdf . Acesso em: 18 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS (ABIOGÁS). Disponível em: <https://abiogas.org.br/en/> . Acesso em: 09 jun. 2020.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (ANP). **Paraná é líder na produção de biogás no Sul do Brasil**. Publicação 29/01/2020. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=105484> . Acesso em: 14 jun. 2022.

BARICHELLO, R. **CONCEPÇÃO DE CONDOMÍNIOS DE AGROENERGIA: ANÁLISE E PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO EM ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO DA SUINOCULTURA**. 2015. 231F. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina.



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

BATISTA, F. F. et al. Estimativa da produção de biogás para geração de energia elétrica através de dejetos de animais da pecuária no Brasil. **SOCIEDADE 5.0: EDUCAÇÃO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMOR**. RECIFE. V COINTER PDVAgro 2020. Disponível em: <https://ciagro.institutoidv.org/ciagro2021/uploads/692.pdf> Acesso em: 12 de nov. de 2022.

BELL, D.; JOS, F.; SCHENATTO, A. **Biorreatores anaeróbios: uma abordagem técnico-operacional**. v. 15, 2019.

BIOGÁS RENEWABLE ENERGY (2022). **Biogas composition**. Disponível em: http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html. Acesso em: 19 jul. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 04 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Publicada no DOU - Seção 1 - 08/01/2007 e retificado em 11/1/2007, Página 1.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Avaliação do Marco Legal do Biogás do Paraná (Lei Estadual 19.500/2018) e Proposta de Regulamentação.MCTI**. Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Entidades da indústria do Paraná lançam parcerias no setor de biogás. 2021**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/05/entidades-da-industria-do-parana-lancam-parcerias-no-setor-de-biogas> Acesso em: 12 jun. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME), 2020. **Recursos energéticos distribuídos: potencial técnico do metano da pecuária bovina**. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-543/EPE-DEA-NT-013-2020%20-%20RED%20Potencial%20Pecu%C3%A1ria%20Bovina.pdf> Acesso em: 12 nov. 2022

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022 (ano base 2021)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202022.pdf> Acesso em: 21 nov. 2022

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME), 2020. **Resenha Mensal do**



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Mercado de Energia Elétrica. Empresa de pesquisa energética. Ano XIII, Número 148, Janeiro de 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf Acesso em: 20 nov. 2022

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME), 2023. **Anuário Estatístico de energia elétrica 2023, ano base 2022.** Empresa de pesquisa energética. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/> Acesso em: 11 fev. 2024.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME). **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.** Brasília, fevereiro / 2022.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 04 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Publicada no DOU - Seção 1 - 08/01/2007 e retificado em 11/1/2007, Página 1.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Avaliação do Marco Legal do Biogás do Paraná (Lei Estadual 19.500/2018) e Proposta de Regulamentação.MCTI.** Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Entidades da indústria do Paraná lançam parcerias no setor de biogás. 2021.** Disponível em: [Entidades da indústria do Paraná lançam parcerias no setor de biogás — Português \(Brasil\) \(www.gov.br\)](#) Acesso em: 12 jun. 2022.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME). **O Proinfa.** Brasília: MME, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/> Acesso em: 06 de jun. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME), 2020. **Recursos energéticos distribuídos: potencial técnico do metano da pecuária bovina.** Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-543/EPE-DEA-NT-013-2020%20-%20RED%20Potencial%20Pecu%C3%A1ria%20Bovina.pdf> Acesso em: 12 nov. 2022

BUDZIANOWSKI, W. M. et al. (2017) Power Requirements of biogas upgrading by water scrubbing and biomethane compression: Comparative analysis of various plant configurations. **Energy Conversion and Management**, Volume 141, June 2017, Pages 2-19.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). **Atlas de**



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Bioenergia no Brasil. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/metodologiabiomassa.pdf> Acesso em: 24 out. 2022.

CENBIO [Centro Nacional de Referência em Biomassa]. **Atlas de Bioenergia no Brasil.** Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/metodologiabiomassa.pdf> Acesso em: 24 nov. de 2022

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (CIBIOGÁS). **Manual de equações e metodologias do simulador:** plataforma de informações para energias renováveis. Foz do Iguaçu, 2009.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (CIBIOGÁS). **Nota Técnica: N° 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020.** Foz do Iguaçu, março de 2021

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (CIBIOGÁS). **Nota técnica: n° 001/2018 - Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no oeste do Paraná.** Foz do Iguaçu, 2018.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (CIBIOGÁS). **Nota Técnica: N° 03/2019 – Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e corte.** Foz do Iguaçu, 2019.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (CIBIOGÁS). **BiogásMap, painel dinâmico de plantas e biometano brasileiras (2022).** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODc2NTlhOGltOTc2Ny00ZDc1LWl5MTMtYjYwZTRlYjFiOWwQ3liwidCI6ImMzOTg3Zml3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGViNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d> Acesso em: 18 de jun. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Manual do usuário do programa de computador Biogás:** geração e uso energético - efluentes e resíduo rural - versão 1.0. Secretaria do Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia, CETESB (São Paulo), p. 1–61, 2006CIBiogás (2022).

CONSELHO NACIONAL DE POLITICA FAZENDÁRIA (CONFAZ). **CONVÊNIO ICMS N° 159, DE 29 DE SETEMBRO DE 2023.** Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2023/CV159_23 Acesso em: 15 jan. 2024.

COIMBRA-ARAUJO, C. H et al. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** Volume 40, December 2014, Pages 826-839.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (DERAL). **Números da pecuária**



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

Paranaense. - **Ano** **2020.** Disponível em:
https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-09/N%C3%BAmeros%20da%20Pecuaria_13_setembro_2022.pdf.
Acesso em: 19 fev. 2024.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (DERAL). **Números da pecuária Paranaense.** - **Ano** **2021.** Disponível em:
https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-02/nppr_jan2021.pdf Acesso em: 02 dez. 2022.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (DERAL). **Números da pecuária Paranaense.** - **Ano** **2022.** Disponível em:
https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-01/numeros_da_pecuaria_23_janeiro_2023-3.pdf Acesso em: 18 fev. 2024

DUARTE, J. **Instrumentos de Comunicação pública In Comunicação Pública:** Estado, Mercado, Sociedade e Interesse Público. São Paulo, Editora Atlas, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (2022). **Anuário estatístico de energia elétrica 2022 (ano base 2021).** Disponível em:
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%20Estat%20de%20Energia%20EI%20-%209trica%202022.pdf> Acesso em: 05 dez. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (2022). **Anuário estatístico de energia elétrica 2023 (ano base 2022).** Disponível em:
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf> Acesso em: 25 jan. 2024.

FARRET, M.A., **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica:** pequenas centrais a biogás. 3ª ed. Santa Maria: editora UFSM, 2014. 306p.

FERREIRA JUNIOR, J. C. G., RODRIGUES, M. G. Um estudo sobre a energia eólica no Brasil. **Ciência Atual**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 02-13, 2015.

FREDDO, A.; MARTINEZ, D. G.; BASTOS, J. A. **Relatório sobre as recomendações e orientações existentes sobre as partes interessadas no biogás e biometano no Sul do Brasil.** MCTI. Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil). 2019.

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.



HAACK, S. C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano**. 215p. Dissertação de Mestrado em Economia. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal 2020**; Rio de Janeiro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/18/16551> Acesso em: 15 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa - Bovinos (Bois e Vacas) - Tamanho do rebanho (Cabeças) 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/pr> Acesso em: 15 Dez. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa - Galináceos - Tamanho do rebanho (Cabeças) 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/galinaceos/pr> Acesso em: 15 dez. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa - Suínos (Porcos) - Tamanho do rebanho (Cabeças) 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/suinos/pr> Acesso em: 15 dez. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal. 2019**. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?edicao=29151&t=destaques> Acesso em: 15 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal. 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal-html?edicao=17941&t=series-historicas> Acesso em: 15 dez. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PNAD. Pesquisa nacional por amostra de domicílios. 2019**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707_informativo.pdf Acesso em: 10 dez. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2021. **PPM 2020: rebanho bovino cresce 1,5% e chega a 218,2 milhões de cabeças**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31722-ppm-2020-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-chega-a-218-2-milhoes-de-cabecas> Acesso em 19 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2022. **PPM. Pesquisa Pecuária Municipal, 2022**. Disponível em:



<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html> Acesso em: 10 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Paraná – Cidades e Estado. 2022.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr.html> Acesso em: 26 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agropecuária 2022.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pr> Acesso em 15 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas), 2022.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br> Acesso em: 05 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População, Sarandi – Pr. 2022.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/sarandi/panorama> Acesso em: 05 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População, Cambé – Pr. 2022.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cambe/panorama> Acesso em: 05 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População, Piraraquara – Pr. 2022.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/piraquara/panorama> Acesso em: 05 jan. 2024.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-PARANÁ). 2023. **RenovaPR contribui para tornar o Paraná referência em produção de Biogás.** Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/RenovaPR-contribui-para-tornar-o-Parana-referencia-em-producao-de-Biogas> Acesso em: 26 jan. 2024.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Perfil das Regiões.** Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Perfil-das-Regioes> Acesso em: 27 dez. 2022.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras Regionais. Mesorregião Geográfica Centro-Oriental Paranaense.** Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/leituras_reg_meso_centro_sul.pdf Acesso em 22 jan. 2024.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras Regionais. Mesorregião Geográfica Norte Central**



Paranaense. Disponível em:
http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/leituras_reg_meso_norte_central.pdf
Acesso em 22 jan. 2024.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras Regionais. Mesorregião Geográfica Oeste Paranaense.** Disponível em:
http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/leituras_reg_meso_oeste.pdf Acesso em 22 jan. 2024.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Paraná tem nove cidades na liderança da produção agropecuária nacional.** Disponível em:
<https://www.ipardes.pr.gov.br/Noticia/Parana-tem-nove-cidades-na-lideranca-da-producao-agropecuaria-nacional> Acesso em: 10 fev. 2024.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado.** 2014. 55 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. Aproveitamento de Dejetos de Animais para geração de Biogás. **Revista de Política Agrícola**, ano XV, n. 3. Brasília, jul./ago./set. 2006.

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique.** Paris: Masson, 1995.

LIMA, H. Q. **Biodigestor - Modelos e configurações.** 2020. Disponível em:
<https://energiaebiogas.com.br/biodigestor-modelos-e-configuracoes> Acesso em 20 jan. 2023.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso de biogás como fonte de energia elétrica.** 2008.105p. Trabalho de Conclusão se Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LOSEKANN, L. TAVARES, A. **Transição energética e potencial de cooperação nos Brics em energias renováveis e gás natural.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2020, 1ª edição.

LOVATO, A. **Metodologia da pesquisa.** Três de Maio: SETREM, 2013.

MANCINI, F. N. et al. "Energy Potential of Animal Waste in the State of Parana (Brazil)," **Brazilian Archives of Biology and Technology**, vol. 62, 2019, Art. no. E19190009.



Programa de Pós-Graduação em Bioenergia

MARTINEZ, ET AL. Geração de energia elétrica a partir do biogás. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 7 (1), 45-54, 2013. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/133/129> Acesso em: 10 set. 2022.

MATHIAS, J. F. C. M.; SILVA, S. S. **Oportunidades e desafios para o desenvolvimento do biogás na agricultura familiar do Brasil**. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1865> Acesso em: 25 abr. 2024.

MIKI, M. K. Dilemas do UASB. **Revista DAE** [on line]. 2010, n. 183, p. 25-37. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_183_n_1504.pdf Acesso em: 25 nov. 2022.

MILANEZ, A. Y. MAIA, G. B. S. GUIMARÃES, D. D. **Fronteira de energia renovável para o Brasil**. BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, mar. 2021.

MMA. 2008, **PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA - PNMC**. Versão para Consulta Pública. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/169/arquivos/169_29092008073244.pdf Acesso em jun. de 2022.

NORONHA, M. G. **Ponta Grossa inaugura primeira usina termelétrica pública do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.pontagrossa.pr.gov.br/node/47870> Acesso em: 16 abr. 2024.

PARANÁ. **PPM 2020: rebanho bovino cresce 1,5% e chega a 218,2 milhões de cabeças**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31722-ppm-2020-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-chega-a-218-2-milhoes-de-cabecas> Acesso em: 06 fev. 2024.

PARANÁ. **Paraná tem nove cidades na liderança da produção agropecuária nacional**. 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Parana-tem-nove-cidades-na-lideranca-da-producao-agropecuaria-nacional> Acesso em: 15 fev. 2024.

PARANÁ. **Consumo de energia cresceu 10% no quarto trimestre de 2023 no Paraná**. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Consumo-de-energia-cresceu-10-no-quarto-trimestre-de-2023-no-Parana> Acesso em: 10 fev. 2024.

PARANÁ. **Confaz aprova adesão do Paraná a convênios que fortalecem energia renovável de biogás**. Disponível em: <https://www.fazenda.pr.gov.br/Noticia/Confaz-aprova-adesao-do-Parana-convenios-que-fortalecem-energia-renovavel-de-biogas> Acesso em: 16 fev. 2024.



PARANÁ. **Histórico de 2011 à 2018.** Disponível em: <https://arquivo2011.aen.pr.gov.br/Noticia/Copel-fez-investimento-recorde-em-2014-mostra-balanco> Acesso em: 16 abr. 2024.

PARANÁ. **Paraná tem primeira geradora que une biogás e sistema fotovoltaico. 2022.** Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Parana-tem-primeira-geradora-que-une-biogas-e-sistema-fotovoltaico> Acesso em: 16 abr. 2024.

PEREIRA, G. **Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais.** 2009. Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul – Unijuí.

PIGOSSO, A. et al. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

PLUGGE, C. M. Biogas. **Microbial Biotechnology**, v. 10, n. 5, p. 1128–1130, 1 set. 2017.

PROJETO BRASIL-ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL (PROBIOGÁS). **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: Substratos, digestores e uso de biogás.** 1 ed. Ministério das Cidades. 2015. 83 p.

REIS, L. **Produção de Biogás: o que são biodigestores e como produzir biogás.** 2020. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog-post/producao-de-biogas-o-que-sao-biodigestores-e-como-gerar-biogas/> Acesso em: 25 abr. 2023

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-Econômica e Ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da Vinhaça em tecnologias para geração de energia.** 2007. 219 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2007.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de Geração de Energia Elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. 2005. **Biomassa & Energia**, 2005, v.2, n.1.

SALVADOR, et al. Life Cycle Assessment of Electricity from Biogas: A Systematic Literature Review. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. Vol.38, No.4, 2018. DOI 10.1002/ep.13133.

SANDIM, A. A. et al., (2019). Biogas and Biomass Implementation in Rural Areas. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Vol.62, 2019, ISSN 1678-4324, <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2019190001>.

SARAVANAMUTTOO, H. I.; ROGERS, G.; COHEN, H. **Gás Turbine Handbook: Gas turbine theory.** 5. ed. India: PEARSON, 2013.



SEABRA JÚNIOR, E.; COLMENERO, J. C.; BRAGHINI JÚNIOR, A. Biomass selection method to produce biogas with a multicriteria approach. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 6, p. 3169-3177, 2021.

SILVA, H. W. A tecnologia da biodigestão anaeróbica na produção de biogás gerado por dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, n.1, p.56-60, julho, 2013.

SOUZA, C.L.; et al. Determinação de metano dissolvido em efluentes de reatores UASB: identificação da perda potencial energético e das emissões de gás de efeito estufa. **Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, Recife, 2009.

STEINMETZ, A.; AMARAL, A. C. do.; KUNZ, A. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. **Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves**, 2019. p. 43-43. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>. Acesso em: 06 nov. 2022.

STÜRMER, B., SCHMID, E., EDER, M. W., **Impacts of biogas plant performance factors on total substrate costs**. 2011. 1553 f. Science Direct.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ. 2023. **Universidade conquista certificação do Selo Social ODS de 2023**. Disponível em: https://noticias.uem.br/index.php?option=com_content&view=article&id=28508:universidade-conquista-certificacao-do-selo-social-ods-de-2023&catid=986&Itemid=211 Acesso em: 22 abr. 2024

VERONEZ, F. A. **Desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo dedescarte de biofiltros aerados submersos**. 2001.151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

VIANA, F. A. et al. Avaliação técnica e econômica da geração de energia do biogás nos aterros de Gramacho e Seropédica. **AS&T Acta scientiae & technicae** Volume 2, Number 1, Jun. 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION [WHO]. **Who water, sanitation and hygiene: strategy 2018-2025**. Geneva: WHO, 2018. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/274273/WHO-CED-PHE-WSH-18.03-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 22 abr. 2024