

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA DANTAS

**PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DA
BIOMASSA DA CAMA DE FRANGO: UM ESTUDO DE CASO DE UM
PROJETO PARA UM AVIÁRIO**

Rio Largo – Alagoas
Outubro de 2023

JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA DANTAS

**PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DA
BIOMASSA DA CAMA DE FRANGO: UM ESTUDO DE CASO DE UM
PROJETO PARA UM AVIÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Centro de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Inácio
Holanda Tavares Neto

Rio Largo – Alagoas
Outubro de 2023

**Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

D192p Dantas, José Carlos de Oliveira.

Produção de energia elétrica a partir do biogás da biomassa da cama de frango: um estudo de caso de um projeto para um aviário. / José Carlos de Oliveira Dantas. – 2023.

50f.. il.

Orientador(a): Júlio Inácio Holanda Tavares Neto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Graduação em Engenharia de Energia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. Biodigestor. 2. Biometano. 3. Aviário Ceca. I. Título.

CDU: 66.0:636.5

Folha de Aprovação

JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA DANTAS

PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DA BIOMASSA DA CAMA DE FRANGO: UM ESTUDO DE CASO DE UM PROJETO PARA UM AVÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido como requisito parcial para
a obtenção do título de Engenheiro de
Energia pela Universidade Federal de
Alagoas e aprovado em 20 de
Outubro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 JULIO INACIO HOLANDA TAVARES NETO
Data: 26/10/2023 14:52:50-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Júlio Inácio Holanda Tavares Neto, UFAL - CECA

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 AMANDA SANTANA PEITER
Data: 26/10/2023 11:31:58-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dra. Amanda Santana Peiter, UFAL - CECA

Documento assinado digitalmente
 RICARDO ARAUJO FERREIRA JUNIOR
Data: 26/10/2023 16:46:44-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Júnior, UFAL - CECA

Dedico este trabalho ao meu pai, Sebastião Dantas (*in memoriam*), que foi meu maior exemplo de homem e caráter e, a minha mãe, Luíza de Oliveira Dantas, por toda a sua dedicação e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me dar força e coragem para superar todas as dificuldades dessa longa e difícil jornada.

Aos meus pais, Sebastião Dantas (in Memoriam) e Luíza de Oliveira Dantas, por todo amor, dedicação e apoio para que eu pudesse conquistar meus objetivos.

Ao meu orientador Dr. Júlio Inácio Holanda Tavares Neto, que me guiou nessa reta final do curso e sempre se mostrou solícito e disposto a disponibilizar seu tempo para me ajudar.

A professora e coordenadora Dra. Amanda Santana Peiter, por todo o suporte, paciência e colaboração na minha vida acadêmica.

A todos os docentes do curso pela dedicação para passar todo os seus ensinamentos. Em especial aos membros da banca examinadora, por terem aceitado o convite de participar da avaliação deste trabalho de conclusão de curso.

A todos os meus colegas pela colaboração e ajuda nos trabalhos, seminários e provas durante todos esses anos de graduação.

As minhas amigas Janaína Lima e Jaynne Ruth pelo apoio, incentivo e ombro amigo, que foi um suporte fundamental nessa trajetória.

“Uma mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

RESUMO

A diversificação da matriz energética de um país é de extrema importância, pois impede que ele se torne dependente de poucas opções para abastecer sua população. Isso possibilita que, caso aconteça algum problema, o país não fique incapaz de suprir a sua demanda necessária. O Brasil, por possuir uma localização geográfica, território e clima privilegiados, dispõe de diversas formas de geração de energia, principalmente geração de energias renováveis e limpas, o que é um fator de extrema importância também em termos ambiental. Uma dessas formas é o aproveitamento do biogás, uma tecnologia crucial para a produção de energia renovável, devido às suas inúmeras vantagens e às várias opções de matéria-prima disponíveis. Uma valiosa matéria-prima na produção de energia é a cama de frango, que consiste nos dejetos retirados do solo das granjas, que é composta principalmente por uma mistura de excrementos, penas, restos de ração e material utilizado para forrar o chão das granjas (como palha de arroz e/ou serragem). Para exemplificar o potencial dessa ferramenta (biogás) e dessa biomassa (cama de frango), foi criado um projeto de aviário, denominado aviário CECA. Em sua capacidade máxima, o aviário é capaz gerar durante o ano, 432.000 m³ de biogás, o que é suficiente para gerar 432.000 kWh, e suficiente parar abastecer 292 famílias alagoanas durante o ano inteiro. Já em números gerais, o Brasil produziu ano passado 6,11 Bilhões de frango de corte, número suficiente para gerar 61.100.00 kWh, o suficiente para abastecer uma cidade de até 60 mil habitantes. Os resultados encontrados permite demonstrar o quanto a utilização do biogás com cama de frango como matéria-prima pode ser valiosa na geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Biodigestor; Biometano; Aviário CECA.

ABSTRACT

The diversification of a country's energy matrix is, extremely important, as it prevents it from becoming dependent on few options to supply its population. This means that, if a problem occurs, the country will not be unable to meet its necessary demand. Brazil, due to its privileged geographic location, territory and climate, has several forms of energy generation, mainly renewable and clean energy generation, which is an extremely important factor in environmental terms. One of these ways is the use of biogas, a crucial technology for the production of renewable energy, due to its numerous advantages and the various raw material options available. A valuable raw material in energy production is chicken litter, which consists of waste removed from the floor of farms, which is mainly composed of a mixture of excrement, feathers, feed remains and material used to cover the floor of farms (such as rice straw and/or sawdust). To exemplify the potential of this tool (biogas) and this biomass (chicken litter), a fictitious aviary was created, called CECA aviary. At its maximum capacity, the poultry farm is capable of generating 432,000 m³ of biogas throughout the year, which is enough to generate 432,000 kWh, enough to supply 292 families in Alagoas throughout the year. In general numbers, Brazil produced 6.11 billion broiler chickens last year, enough to generate 61,100,00 kWh, enough to supply a city of up to 60 thousand inhabitants. The results found allow us to demonstrate how valuable the use of biogas and chicken litter as raw material can be in generating electrical energy.

Keywords: Biodigester; Biomethane; CECA Aviary

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Do lixo a geração de energia	14
Figura 2: Matriz Elétrica Mundial em 2020	17
Figura 3: Geração de energia baseada em fontes renováveis.....	18
Figura 4: Matriz elétrica brasileira em 2022.....	18
Figura 5: Exemplos de biodigestores caseiro.....	20
Figura 6: Biodigestor Lagoa Coberta (BLC).	21
Figura 7: Esquema representativo da visão interna do reator modelo lagoa coberta.	
.....	21
Figura 8: Biodigestor CSTR	22
Figura 9: Biodigestor em fase sólida	23
Figura 10: Processo de um biodigestor em operação batelada	24
Figura 11: Esquema de biodigestor batelada.....	25
Figura 12: Biodigestores do tipo: Indiano, Chinês e Canadense.....	26
Figura 13: Cadeia do Biometano	27
Figura 14: Biometano uma importante opção para a produção de eletricidade	27
Figura 15: Fluxograma dos processos para a geração de energia a partir da cama de frango.....	29
Figura 16: Cama de frango.....	30
Figura 17: Processo para gerar eletricidade.....	31
Figura 18: Gerador GENEF 160B movido a biometano	32
Figura 19: Aviário CECA, localizado no Campus de Engenharia e Ciências Agrárias.	
.....	38
Figura 20: Esquema das granjas e produção de biogás, biometano e geração de energia elétrica	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ranking dos países com maior geração elétrica por biogás.....	19
Tabela 2: Dados de frango de corte	32
Tabela 3: Potencial de produção no ano de 2022.....	33
Tabela 4: Consumo de energia elétrica dos municípios alagoanos no ano de 2021 em kWh.....	33
Tabela 5: Consumo de 28 municípios alagoanos.	36
Tabela 6: Dados do aviário CECA.	38
Tabela 7: Total de dejetos, biogás e energia produzida em um ciclo por frango	41
Tabela 8: Total de dejetos, biogás e energia produzida por granja em um dia.....	41
Tabela 9: Total de dejetos, biogás e energia produzida pelo aviário por dia.....	42
Tabela 10: Total de dejetos, biogás e energia do aviário por ciclo.....	42
Tabela 11: Total de dejetos, biogás e energia por ano.....	42
Tabela 12: Consumo anual e médio por família em alagoas em 2021	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

CO₂ – Dióxido de Carbono

MW – Megawatt

BLC - Biogestor Lagoa Coberta

PVC – Policloreto de vinil

PEAD – Polietileno de alta densidade

REIDI – Regime especial de incentivos para o desenvolvimento da infraestrutura

H₂S – Sulfeto de Hidrogênio

NH₃ - Amônia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Matriz Elétrica Brasileira.....	18
3.2 Biogás	20
3.3 Biodigestor	21
3.4 Biometano.....	27
3.4.1 Produção de biometano	29
3.5 Cama de Frango	30
3.6 Gerador de energia elétrica a partir do biometano.....	31
3.6.1 Potencial de produção de energia elétrica	33
4 METODOLOGIA	38
4.1 Localização do Aviário CECA	38
4.2 Dados	39
4.3 Biodigestor escolhido.....	39
4.4 Fórmula	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1 Produção.....	42
5.1.1 Total de dejetos, biogás e energia gerado	42
5.1.2 Total de dejetos, biogás e energia gerada em um ano.....	43
5.1.3 Potencial de energia gerada pelo aviário CECA.....	44
6 CONCLUSÃO	46
7 BIBLIOGRAFIA	47

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fontes alternativas para se obter energia elétrica passou a ter uma importância considerável e crescente, em todo o mundo. Os principais fatores que contribuíram para isso foram: econômicos, diversificação da matriz energética, fatores sociais e ambientais.

Na dimensão ambiental, a produção de energia pode causar impactos em maior ou menor grau, a depender da fonte energética utilizada.

Segundo Guaresmin (2021), os principais impactos ambientais que o sistema elétrico pode gerar são:

- Emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes do ar;
- Descargas de poluição em águas, o que inclui a poluição térmica(mais quente que a temperatura original);
- Geração de resíduos sólidos, que podem incluir resíduos perigosos;
- Efeitos sobre plantas, animais e ecossistemas que resultam do ar,água, resíduos e impactos da terra acima.

Outro aspecto importante que merece destaque, em relação aos problemas ambientais, é a contaminação ambiental por resíduos da produção animal.

A criação de animais para consumo humano, como: gado, suínos e frangos podem causar grande impacto ao meio ambiente, caso os dejetos não tenham o manejo e descarte adequados.

Temos o exemplo da cama de frango, que gera uma grande quantidade de resíduos, compostos de penas, sobras de alimentos, secreções, excretas das aves e outros. Juntos, esses compostos representam um enorme problema ambiental.

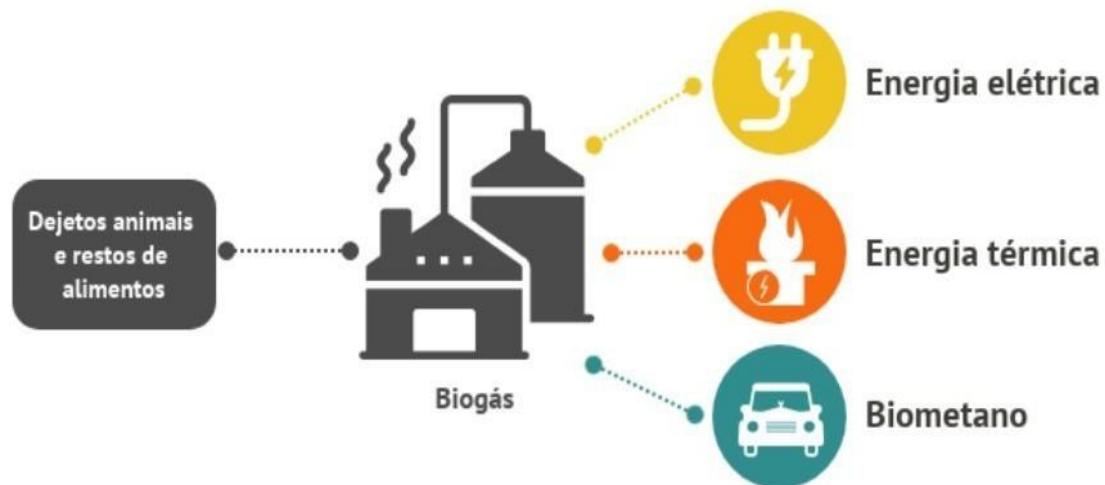
Para minimizar em parte, ou até por completo esse problema, existe uma tecnologia disponível que possibilita a produção de energia a partir desse resíduo sólido.

Para entender o que é biogás, antes é necessário entender o que é a biomassa. A biomassa basicamente pode ser definida como uma fonte de energia limpa e renovável que tem como matéria-prima, elementos orgânicos como restos de animais, plantas e lixo.

Já o biogás, é um combustível gasoso, gerado a partir da decomposição anaeróbica (sem oxigênio) de matéria orgânica, que pode ser de origem vegetal ou animal.

A principal vantagem de se utilizar o biogás é a possibilidade de utilizar como matéria-prima, material de origem orgânica, que normalmente possui pouca serventia e portanto, pode ter um descarte impróprio, podendo assim, poluir o meio ambiente. E assim, transforma um passivo (lixo) em um ativo como por exemplo, energia elétrica, térmica e biometano. (figura 1).

Figura 1: Do lixo a geração de energia.



Fonte: FRIGHETO (2021).

Por utilizar esse tipo de matéria-prima, o biogás é uma fonte de energia limpa e sustentável, pois utiliza material que iria para descarte e que se produz diariamente. Além de ser ideal para o Brasil, pois nosso país tem uma enorme gama de produção (animais e agricultura) que pode ter seus dejetos utilizados para a produção de biogás.

De acordo com Origo (2022), as principais vantagens de se utilizar o biogás são:

- Utilizar uma fonte alternativa de energia, que é renovável e reduz os impactos ambientais;
- Reaproveitamento do material orgânico que comumente teria seu descarte na natureza;

- Baixa emissão de gases poluentes sem a geração e o acúmulo de resíduos;
- Reduzir o volume de metano liberado na atmosfera – gás que auxilia o efeito estufa;
- Promover a economia circular;
- Ajuda a gerar energia elétrica em propriedades rurais;
- Promove a criação de produtos como fertilizantes;
- Alternativa ao GLP e ao gás de cozinha, pois não deixa resíduos, como fuligem nas panelas.

Já em relação às desvantagens, podemos citar:

- Sistema de armazenamento complexo e de valor elevado;
- Sistema de produção de alto custo no Brasil;
- Emissão de Dióxido de Carbono (CO₂).

O aproveitamento de dejetos de animais apresenta pontos extremamente benéficos, além do fator ambiental, também existe a possibilidade de gerar a sua própria energia de forma economicamente viável e até vender o excedente, tendo assim um ganho financeiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar e demonstrar a importância de se utilizar o biogás no sistema de geração de energia elétrica em uma granja de corte de frango projetada, com o foco na utilização da cama de frango como matéria prima.

2.2 Objetivos Específicos

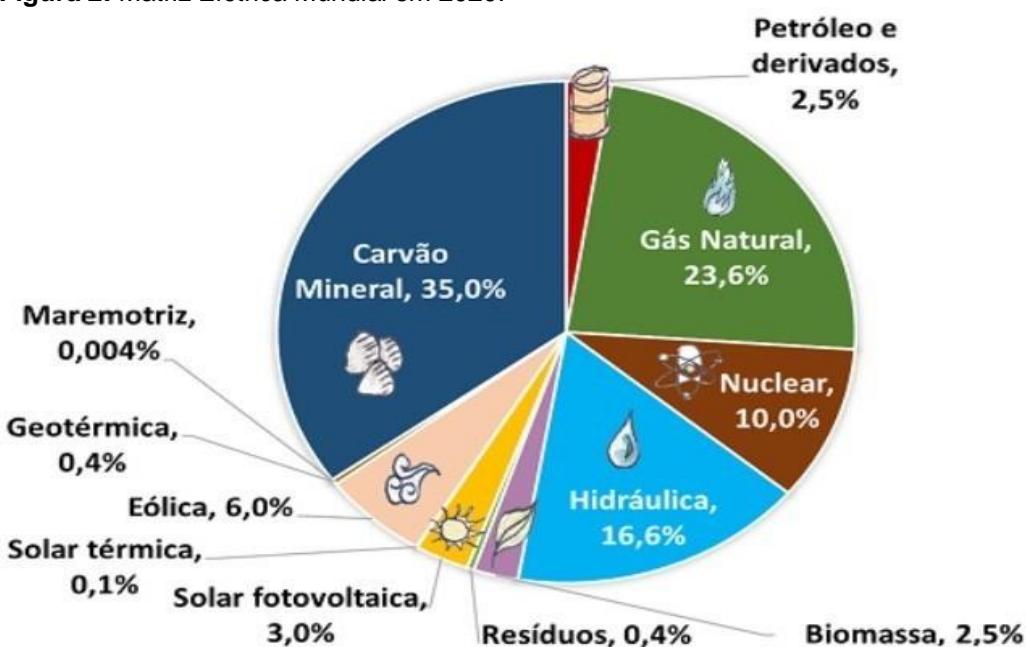
- Diversificação da matriz energética do país;
- Biogás e suas vantagens;
- Demonstrar o potencial da biomassa da cama de frango;
- Demonstrar o potencial do aviário CECA;
- Utilizar fontes limpas e renováveis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Matriz Elétrica Brasileira

Como podemos observar na figura 2, a matriz elétrica mundial tem sua base de geração a partir de fontes não renováveis, como por exemplo: carvão mineral, gás natural, petróleo e seus derivados.

Figura 2: Matriz Elétrica Mundial em 2020.



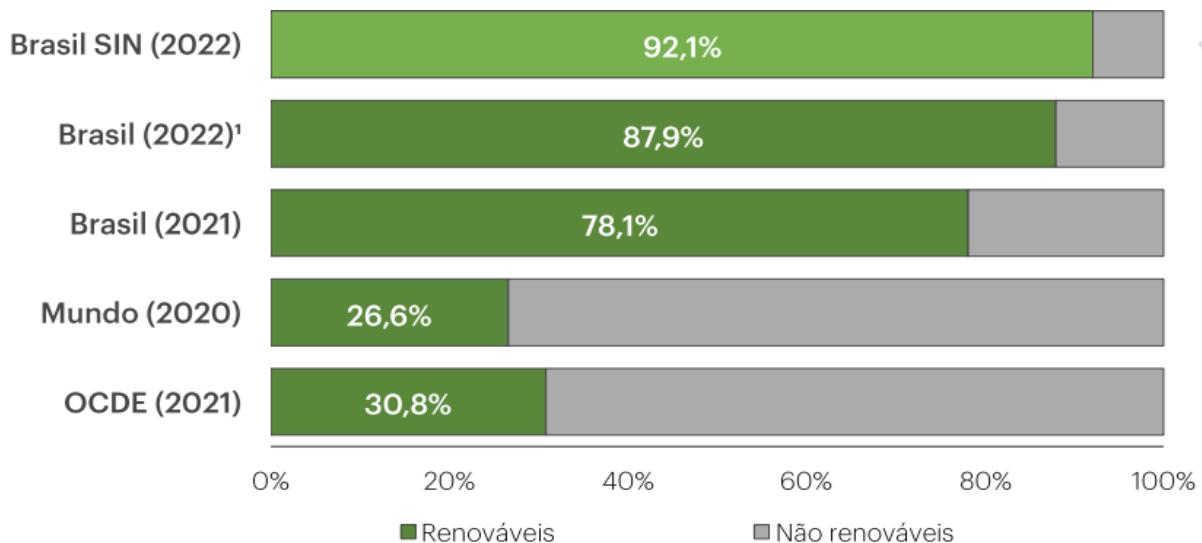
Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2022).

Os energéticos de origem fóssil como petróleo, carvão e gás natural, atualmente predominam na matriz energética global e são grandes emissores de GEE. Portanto, a transição energética mundial urge pelo aumento da participação das renováveis, redução do uso do carvão e utilização do gás natural como combustível de transição por se tratar de um combustível fóssil menos poluente e importante para a segurança energética. O carvão ainda tem uma participação expressiva para um momento de transição como o atual. (FGV, 2020).

Já o Brasil é um país que possui privilégios, pois detém grande potencial para produzir energia de fontes renováveis, esse potencial se deve pela sua localização geográfica, bacias hidrográficas, força dos ventos, irradiação solar e por ser um país tradicionalmente produtor de alimentos, cana-de-açúcar e criação de animais, o que gera uma gama enorme de matéria-prima para a produção de energia limpa. Esses fatores colocaram o Brasil como um dos

líderes no quesito geração de energia a partir de fontes renováveis, como é possível observar na figura 3.

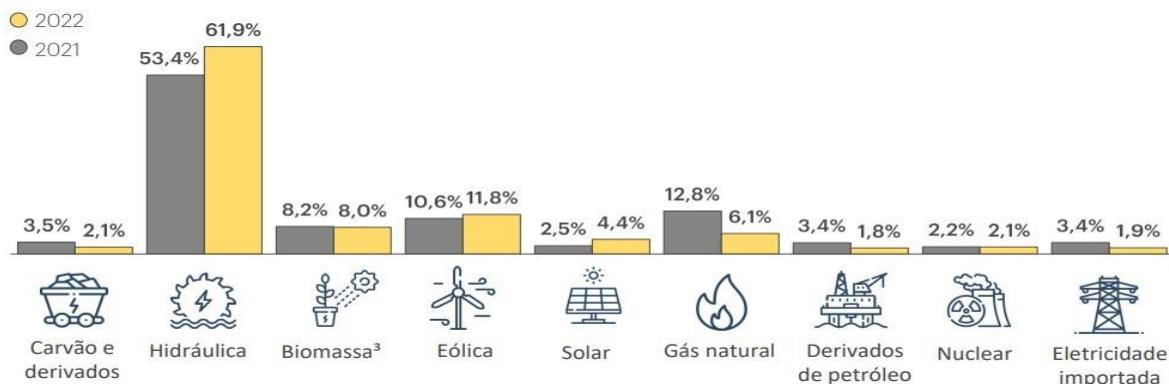
Figura 3: Geração de energia baseada em fontes renováveis.



Fonte: BEN – Balanço Energético Nacional (2023).

Esse fato se dá principalmente pelas hidrelétricas que durante décadas foram o foco principal de investimento para a produção de energia elétrica. Porém, como podemos observar na figura 4, outras fontes têm ganho cada vez mais espaço, como a eólica, solar e biomassa (onde está inserido o biogás).

Figura 4: Matriz elétrica brasileira em 2022.



Fonte: BEN – Balanço Energético Nacional (2023).

3.2 Biogás

O biogás têm ganho destaque nos últimos anos no mundo e já se observa no Brasil algumas iniciativas voltadas para a produção desse biocombustível. Claramente isto se explica pela tendência de utilização de energia renovável e nesse caso o biogás apresenta como principal vantagem a possibilidade de ser produzido a partir de matéria-prima renovável que atualmente, no Brasil, é resíduo sólido da agricultura e pecuária, além de diversas outras fontes disponíveis, tais como lixo urbano, esgoto sanitário, entre outras.

Segundo IRENA (2021), durante os últimos anos aconteceu uma expressiva expansão do número de plantas de biogás para geração elétrica, em 2020 a capacidade instalada chegou ao patamar de 20.150 MW. Como é possível observar na tabela 1, os países que mais se destaca na utilização do biogás são Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido.

Tabela 1: Ranking dos países com maior geração elétrica por biogás.

País	Capacidade (MW)
Alemanha	7.459,00
EUA	2.291,00
Reino Unido	1.858,00
Itália	1.432,00
China	903,30
Turquia	748,00
Tailândia	554,30
França	511,00
Brasil	417,20
República Checa	368,00

Fonte: IRENA (2021).

Esses números tendem a crescer consideravelmente em todo o mundo nos próximos anos. E no Brasil não é diferente, há um avanço considerável na produção de energia através do biogás.

Só em 2021, 2,35 bilhões de Nm³ de biogás foram produzidos por 755 plantas em operação, gerando um aumento de 10% de produção em relação ao ano de 2020 (2,14 bi Nm³/ano), ou seja: um aumento da descarbonização do ecossistema sustentável brasileiro a partir da gestão de resíduos. (ENERGIAEBIOGAS, 2022).

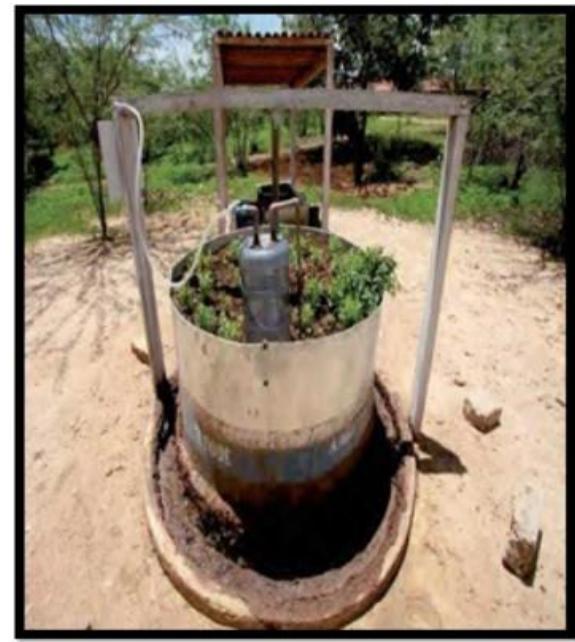
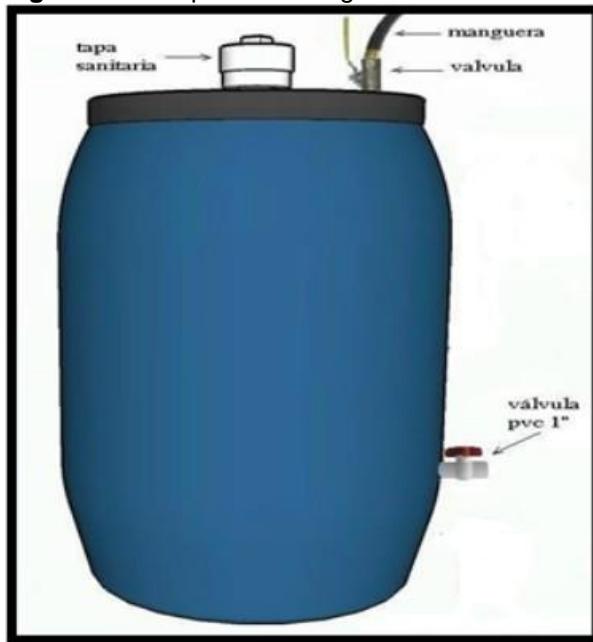
A energia elétrica é a principal aplicação energética das plantas de biogás criadas no Brasil. Estima-se que 71% das plantas em operação foram destinadas para geração de energia elétrica no país.

3.3 Biodigestor

O biodigestor é o principal equipamento na geração de biogás. Pode ser definido como um biorreator que opera mediante a um processo fermentativo anaeróbio que transforma a matéria orgânica em biogás, através da decomposição anaeróbia, ou seja, na ausência de oxigênio.

De acordo com Calleve (2021), os biodigestores utilizam resíduos orgânicos que podem ser de diferentes tipos, como vegetal (palhas e folhas), produção animal (cama de frango), fezes e / ou urinas humanas e resíduos industriais, entre outros. Na figura 5 temos exemplos de biodigestores caseiros.

Figura 5: Exemplos de biodigestores caseiro.



Fonte: FUNVERDE (2020).

3.3.1 Tipos de biodigestores

Existem alguns modelos de biodigestores, mas os três mais utilizados atualmente são:

a) Biodigestor Lagoa Coberta (BLC)

Esse tipo de biodigestor (figura 6) é mais indicado para propriedades rurais por conta da produção de animais.

Figura 6: Biodigestor Lagoa Coberta (BLC).



Fonte: CIBIOGÁS (2019).

Normalmente instalado por meio de um tanque escavado no solo, é impermeabilizado e coberto com um material geossintético (produto feito com polímero sintético ou natural, em forma de manta ou tira) como o PVC (policloreto de vinil), PEAD (Polietileno de Alta Densidade) entre outros. (CIBIOGAS, 2019).

Figura 7: Esquema representativo da visão interna do reator modelo lagoa coberta.



Fonte: KUNZ (2019).

De acordo com Kunz et al. (2019), esse tipo de biodigestor, que também é conhecido como modelo canadense ou biodigestor de lona, se caracteriza por ser de baixo nível tecnológico, facilidade de construção e operação. Normalmente é operado com a finalidade de realizar tratamento de efluentes que possui uma

baixa concentração de sólidos e baixa carga volumétrica.

b) Biodigestor CSTR (Tanque de agitação contínua)

O biodigestor CSTR (figura 8) é um modelo mais complexo, pois possui tecnologia que requer uma maior elaboração que o anterior, isso porque foi feito para suportar grandes cargas volumétricas.

Figura 8: Biodigestor CSTR.



Fonte: CIBIOGÁS (2019).

Segundo Cibiogas (2019), o tipo CSTR é o mais comum na Europa, com pouco mais de 90% de aderência. Esse modelo é mais adequado para efluentes com altas concentrações de sólidos.

Por conta da tecnologia empregada nesse modelo, o seu custo de implementação e manutenção é superior ao modelo anterior. Porém, traz consigo vantagens como por exemplo, garante uma maior capacidade de produção de biogás, já que colabora com a estabilização do reator e manutenção da população de microrganismos.

c) Biodigestor em fase sólida

Já o modelo fase sólida (figura 9), é mais comum com operação contínua, ou seja, processo recarregável e os resíduos utilizados por esse biodigestor contém na faixa de 20% a 40% de sólidos.

Figura 9: Biodigestor em fase sólida.



Fonte: CIBIOGÁS (2019).

De acordo com a quantidade de sólidos no biodigestor, o volume e o processo de tratamento serão afetados. Devido à baixa concentração nesse tipo de sistema a digestão em fase sólida pode durar entre 2 a 4 semanas, de acordo com o tipo de substrato. (CIBIOGÁS, 2019).

De acordo com Kunz et al. (2019), a concentração de metano no biogás é relativamente alta, chegando ao patamar de 80%. As principais características apresentadas na digestão em fase sólida são:

- a) Menor volume do biodigestor;
- b) Suporta substratos com maior concentração de sólidos, além de maior tamanho de partícula;
- c) Não são necessárias grandes diluições aos substratos;
- d) O biorreator precisa ser aberto para ser preenchido e / ou esvaziado;
- e) A alimentação do biorreator é descontínua;
- f) A produtividade de biogás é de 15% a 40% menor, quando comparada com a via úmida.

3.3.2 Formas de Operação dos biodigestores

Os biodigestores, podem ser produzidos em alvenaria, concreto ou outros materiais. O seu formato é em forma de uma câmara fechada, que tem como principal função não permitir a entrada de ar, por isso o processo é anaeróbico.

A digestão anaeróbia permite o aproveitamento dos dejetos animais para a produção do biogás e do biofertilizante, principais produtos no processo, com benefícios no aumento da produtividade e preservação do meio ambiente. (ALVES ET AL).

Segundo Alves et al. (2010), outra importante vantagem do processo de digestão anaeróbia é a melhoria das condições de higiene para os animais e tratadores, pois são realizadas limpezas do ambiente de forma mais frequente.

Os biodigestores podem ser classificados conforme o seu tipo de operação. A seguir serão apresentados os 3 tipos.

- Operação Batelada

Os biodigestores batelada, também conhecido como descontinua, tem como característica realizar a alimentação de uma única vez e descarregado após a completa reação.

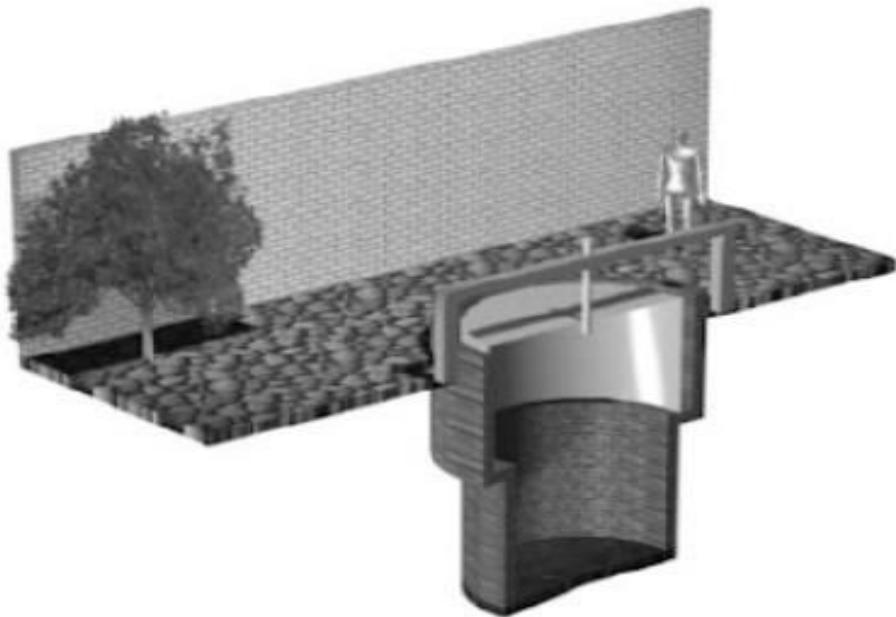
Figura 10: Processo de um biodigestor em operação batelada.



Fonte: Autor próprio (2023).

De acordo com Coelho (2012), esse tipo de biodigestor é alimentado uma única vez com abundância de matéria orgânica e logo depois fechados hermeticamente por um certo período, que pode variar de 40 até 60 dias.

Figura 11: Esquema de biodigestor batelada.



Fonte: COELHO (2012).

Após 40 a 60 dias é recomendado a retirada de parte do material, pois a produção de biogás começa a cair, ou seja, a matéria orgânica já foi decomposta.

Com isso, podendo já se fazer a retirada de 80% da matéria restante (biofertilizante), mantendo se 20% da matéria orgânica para fornecer as bactérias necessárias para a decomposição da matéria orgânica, que vai ser colocada na próxima batelada. (COELHO, 2012).

- Operação Continua

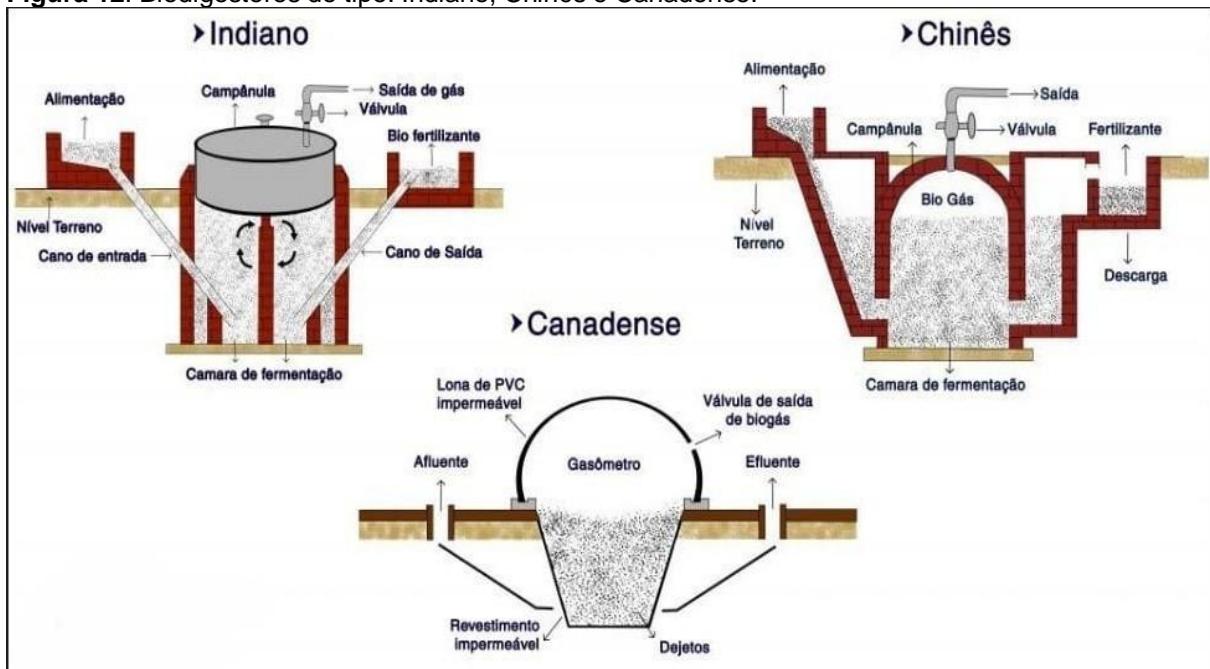
Diferentemente da operação batelada, a operação contínua se caracteriza por ter seu funcionamento com cargas diárias de matéria orgânica que se movimenta por meio de uma carga hidráulica dentro do biodigestor.

“A matéria orgânica deve ser diluída antes de ser colocada no biodigestor e, se possível, até mesmo triturada, pois isso evita entupimentos e formação de crostas no interior do biodigestor”. (COELHO, 2012).

Como exemplo de biodigestores contínuo, temos o indiano, chinês, canadenses, filipino e paquistanês.

Segundo Coelho (2012), no Brasil os mais utilizados são os biodigestores indiano, chinês e canadense (figura 12), devido sua eficiência, ao baixo custo e fácil manuseio.

Figura 12: Biodigestores do tipo: Indiano, Chinês e Canadense.



Fonte: RODRIGUES (2019).

- Operação semicontínua

O biodigestor semicontínua é basicamente um biodigestor batelada, porém com opção de reposição de carga ao longo do processo, por isso o nome de semicontínua. Essa característica facilita ajustes necessários da concentração do biocatalisador e da própria reação.

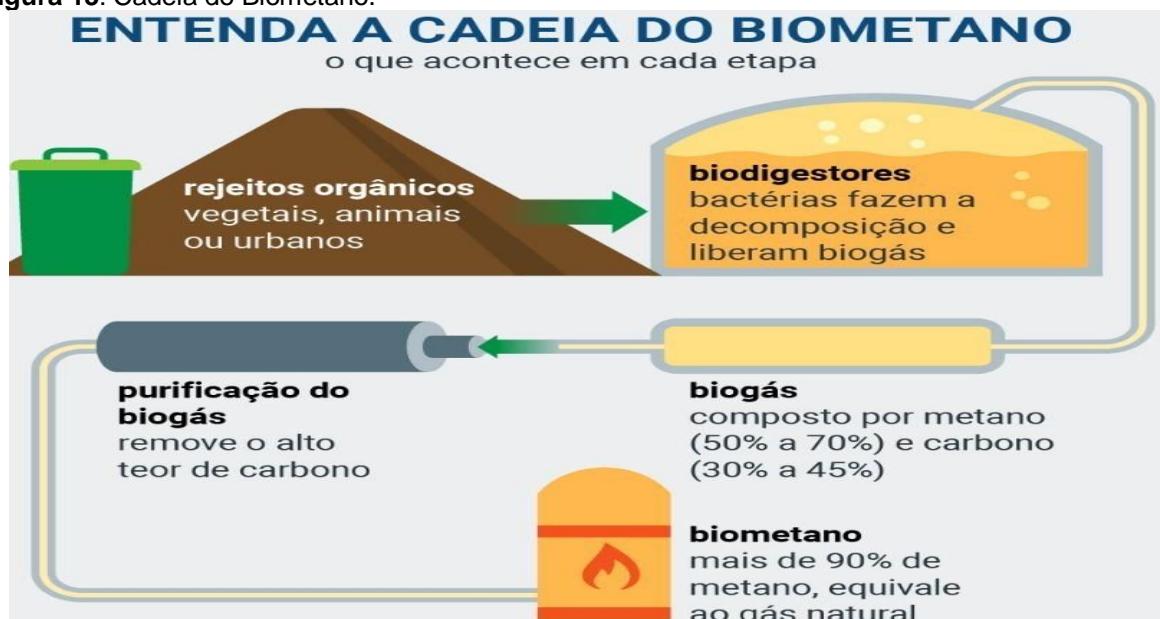
3.4 Biometano

O biometano é um biocombustível em estado gasoso obtido a partir do processamento do biogás.

O biometano é um combustível derivado do biogás, extraído a partir de um processo de purificação, com redução do teor de gás carbônico, além de remoção de gás sulfídrico e teor de água. O resultado é um gás com mais de 90% de metano em sua composição, se assemelhando ao gás natural (GNPW, 2022).

Como é possível observar na figura 13, a cadeia do biometano se inicia com a colocação de algum tipo de rejeito orgânico em um biodigestor, após isso, as bactérias fazem a decomposição e libera o biogás bruto, que passa por purificação com o objetivo de remover o alto teor de carbono e assim produzir o biometano.

Figura 13: Cadeia do Biometano.



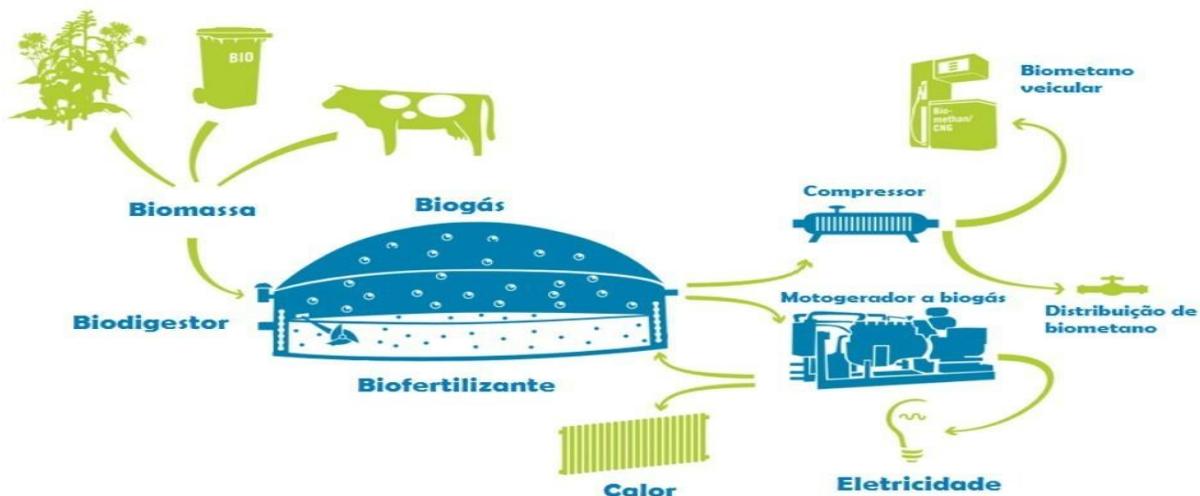
Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2022).

De acordo com Carregosa (2022), o número de usinas de biometano cresceu no Brasil. Até 2021 existiam 10 usinas em funcionamento. Porém, com perspectivas de, pelo menos, mais 25 unidades para os próximos anos.

Nas usinas ocorre um processo de purificação, visando reduzir o teor de gás carbônico e remover o gás sulfídrico.

Segundo Redação 360 (2023), todas as aplicações do insumo fóssil podem ser substituídas por biometano. Além de ser fonte para a geração de energia elétrica (figura 14).

Figura 14: Biometano uma importante opção para a produção de eletricidade.



Fonte: REDAÇÃO 360 (2023).

De acordo com Redação 360 (2023), as principais vantagens de se utilizar o biometano são:

- Oferecer melhor destino para resíduos orgânicos;
- Fomentar uma economia mais sustentável;
- Ter custo justo para o consumo da energia;
- Reducir o lançamento de metano na atmosfera, amenizando os impactos no avanço do aquecimento global.

Por conta dessas vantagens, o governo criou políticas públicas para incentivar a produção e uso sustentável do biometano. Uma dessas medidas foi criada ano passado, com a elaboração da estratégia federal de incentivo ao uso sustentável de biogás e biometano.

Uma das medidas assinadas inclui os investimentos em biometano no regime especial de incentivos para o desenvolvimento da infraestrutura (REIDI). Os projetos inseridos nesse regime têm suspensa a cobrança de PIS e COFINS para aquisição de máquinas, materiais de construção, equipamento, dentro outros componentes. (GOV, 2022).

Esses incentivos são importantes para o país continuar com uma crescente na produção de energia mediante a ferramenta do biogás. E assim contribuir para a preservação da natureza e diversificar sua matriz energética.

3.4.1 Produção de biometano

A purificação do biogás é fundamental para a produção do biometano. O sulfeto de hidrogênio (H_2S), o dióxido de carbono (CO_2) e amônia (NH_3) são os principais contaminantes que afetam o potencial energético do biogás.

Dependendo da composição do substrato utilizado na biodigestão anaeróbia, o biogás bruto produzido poderá apresentar concentrações de H_2S que variam entre 100 ppm e 10.000 ppm ($mg.m^{-3}$) e, em casos extremos, até 30.000 ppm. (KENZ, 2022).

Segundo Kenz (2022), o biogás além dos gases também apresenta água (umidade) em sua composição, em concentrações médias por volta de 6% quando está a 40°C.

Essa umidade pode ser um problema caso não seja removida do biogás, pós a água pode acumular nos dutos e causar problemas de corrosão e / ou entupimento em caso de congelamento.

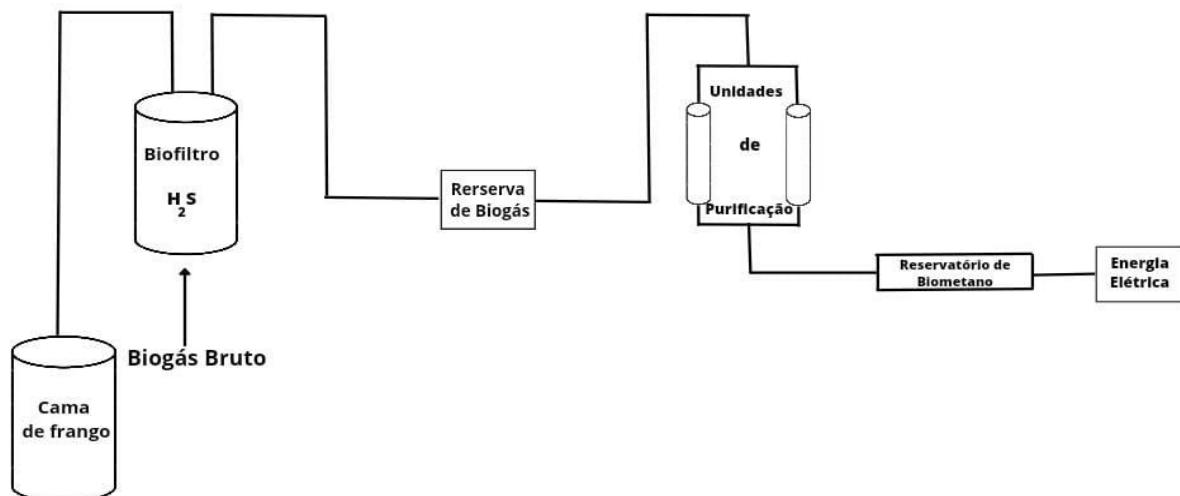
De acordo com Kenz (2022), atualmente, os processos de tratamento e purificação do biogás tem as seguintes premissas:

- I. Ajuste do valor calorífico;
- II. Remoção de contaminantes que afetam a qualidade do biogás;
- III. Purificação do biogás;
- IV. Concentração do biometano para sua inserção em linhas distribuição e transporte de biogás.

No fluxograma da figura 15, é possível ver o processo de produção do biometano. Um filtro remove biologicamente o gás sulfídrico do biogás bruto, fruto da cama de frango. Após esse processo, o biogás dessulfurizado é armazenado e por fim, passa por unidades de purificação. E assim, é produzido o biometano (>90% de CH_4) por resfriamento e PS4 (Pressure swing adsorption).

Nos reservatórios, o biometano já pronto para ser utilizado para gerar energia elétrica.

Figura 15: Fluxograma dos processos para a geração de energia a partir da cama de frango.



Fonte: Adaptado EMBRAPA (2023).

3.5 Cama de Frango

A cama de frango (figura 16), é todo o material usualmente posto no piso das granjas com o objetivo de servir como leito das aves. Esse material é geralmente composto por palha de arroz e serragem. Porém, com o passar dos dias acrescentam-se as fezes, urinas, restos de ração e penas das aves, formam assim uma biomassa que se transforma em matéria prima para o biogás.

Segundo o Departamento de agricultura (2023), o Brasil deve produzir 14,8 milhões de toneladas de carne de frango em 2023. Superando a produção do ano passado que foi de 14,4 milhões.

Esses números mostram o enorme potencial que o Brasil tem em relação à matéria-prima da cama de frango para a produção de energia elétrica.

Figura 16: Cama de frango



Fonte: BACKES (2017).

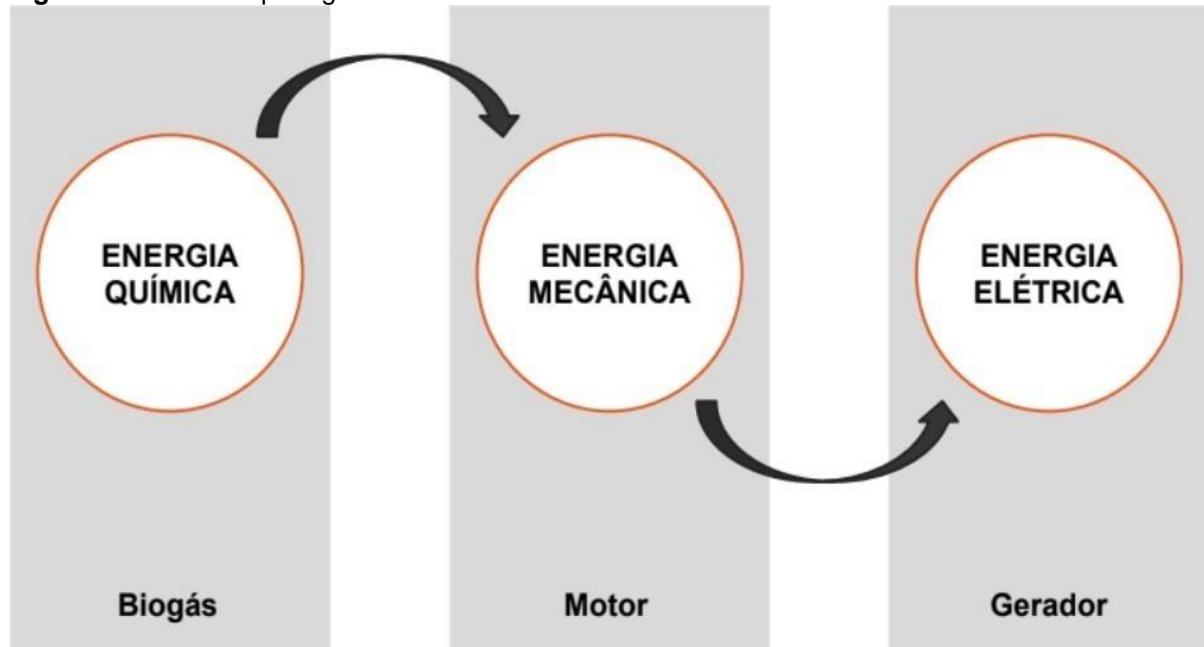
3.6 Gerador de energia elétrica a partir do biometano

De acordo com Cibiogas (2020), a energia renovável teve um aumento expressivo no meio rural, muito pela necessidade de modernização da produção agrícola. Porém, ainda se mostra insuficiente no quesito eletricidade.

Com a alta produção de biomassa, o biogás acaba sendo uma oportunidade de conversão de resíduos em energia elétrica de modo crescente. Os projetos foram se desenvolvendo e os produtores cada vez mais interessados na geração de energia em suas fazendas. (CIBIOGAS, 2020).

Segundo Energypedia (2019) como é possível observar na figura 17, o biogás (energia química) é usado como combustível para motores de combustão, que o convertem em energia mecânica, alimentando um gerador elétrico para produzir eletricidade.

Figura 17: Processo para gerar eletricidade.



Fonte: CIBIOGAS (2020).

“Geradores elétricos apropriados estão disponíveis em praticamente todos os países e em todos os tamanhos. A tecnologia é bem conhecida e a manutenção é simples”. (ENERGYPEDIA, 2019).

Um exemplo de gerador elétrico a partir de biometano é o gerador

GENEF160B BIO (figura 18), fabricado pela FPT Industrial.

Segundo a REVIS (2020), esse gerador possui 140kVA de potência, motor N45 disponível para geradores (G-Drive) e funciona em sistemas de baixa e alta pressão.

“A tecnologia simboliza a transformação energética em operações como fazendas e aterros sanitários, possibilitando independência não só na geração de energia, como também na geração de combustível renovável”. (REVIS, 2020).

Figura 18: Gerador GENEF 160B movido a biometano.



Fonte: REVISTA M&T (2020).

Segundo Revista M&T (2020), as principais vantagens em se utilizar esse gerador são:

- I. Menor custo de operação por ter matéria-prima renovável;
- II. Equipamento silencioso;
- III. Menor emissão de CO₂ e poluentes (comparados aos geradores tradicionais movidos a diesel).

3.6.1 Potencial de produção de energia elétrica

Segundo dados disponibilizados pela BGS (2018), o frango gera por dia 0,09 kg por dia de esterco (Tabela 2). O que é suficiente para gerar as seguintes quantidades de biogás e energia por dia:

Tabela 2: Dados de frango de corte.

Espécie	Dejetos (kg / dia / animal)	Biogás (m³ / dia / animal)	Energia (kWh / dia / animal)
Frango	0,09	0,01	0,01

Fonte: BGS (2018).

Segundo IBGE (2023), em 2022 foram abatidos 6,11 bilhões de cabeça de frango. Com esses números, o Brasil teria um enorme potencial para produção de energia como é possível observar na tabela 3.

Tabela 3: Potencial de produção no ano de 2022.

Número de frango	Dejetos (kg / ano / animal)	Biogás (m³ / ano / animal)	Energia (kWh / ano)
6,11 Bilhões	549.900.000	61.100.000	61.100.000

Fonte: Autor próprio (2023).

O Brasil teria potencial de produzir 549.900.000 kg de dejetos e 61.100.000 m³ de biogás ao ano, o que é suficiente para gerar 61.100.000 kWh de energia ao ano.

Tomando como base o consumo de energia elétrica dos municípios alagoanos no ano de 2021 (Tabela 4), será possível exemplificar o tamanho do potencial de geração de energia elétrica, que pode ser gerado pelo biogás utilizando apenas a cama de frango como matéria-prima.

Tabela 4: Consumo de energia elétrica dos municípios alagoanos no ano de 2021 em kWh.

Município	Consumidores	Consumo de		Consumidores	Consumo de
	de energia	energia elétrica		de energia	energia elétrica
	elétrica –	em kWh –		elétrica –	em kWh –
	Residencial	Residencial		Residencial	Residencial
	2021	2021		2021	2021
Água Branca	5.666	5.120.053	Marechal Deodoro	24.489	44.548.234
Anadia	5.468	5.794.781	Maribondo	4.436	5.039.929
Arapiraca	83.994	126.981.012	Mata Grande	6.130	4.989.967
Atalaia	11.395	12.671.952	Matriz de Camaragibe	7.559	9.023.248
Barra de Santo	5.978	7.816.924	Messias	4.896	5.588.376

Antônio					
Barra de São Miguel	5.678	13.395.927	Minador do Negrão	1.592	1.738.225
Batalha	4.927	5.896.223	Monteirópolis	2.372	2.262.130
Belém	1.823	1.694.066	Murici	8.084	10.053.060
Belo Monte	1.739	1.644.711	Novo Lino	3.126	2.998.149
Boca da Mata	7.855	8.893.280	Olho d'Água das Flores	7.014	7.875.802
Branquinha	2.850	2.608.070	Olho d'Água do Casado	2.404	2.435.028
Cacimbinhas	3.331	3.361.646	Olho d'Água Grande	1.559	1.442.523
Cajueiro	5.319	6.149.508	Olivença	3.554	3.264.662
Campestre	2.241	2.128.426	Ouro Branco	4.030	3.802.772
Campo Alegre	11.093	12.526.113	Palestina	1.489	1.590.381
Campo Grande	3.018	2.992.283	Palmeira dos Índios	24.456	32.255.140
Canapi	4.714	4.208.593	Pão de Açúcar	7.124	8.418.244
Capela	4.387	5.292.044	Pariconha	3.181	2.865.420
Carneiros	2.668	2.319.313	Paripueira	5.996	10.174.157
Chã Preta	2.178	1.848.153	Passo de Camaragibe	4.972	6.335.205
Coité do Nóia	3.649	3.791.491	Paulo Jacinto	2.405	2.326.136
Colônia	5.490	5.642.332	Penedo	21.408	27.994.872
Leopoldina					
Coqueiro Seco	1.954	2.597.372	Piaçabuçu	6.727	8.140.899
Coruripe	18.381	23.969.545	Pilar	12.287	16.244.748
Craíbas	7.289	7.472.101	Pindoba	731	621.809
Delmiro Gouveia	17.325	22.103.628	Piranhas	7.365	8.358.491
Dois Riachos	3.343	3.291.675	Poço das Trincheiras	3.747	3.338.372
Estrela de Alagoas	5.687	5.053.812	Porto Calvo	8.252	10.233.801
Feira Grande	6.614	6.756.992	Porto de Pedras	3.387	5.246.351
Feliz Deserto	1.519	1.610.007	Porto Real do Colégio	6.550	7.010.373
Flexeiras	2.981	3.048.146	Quebrangulo	3.707	3.673.977
Girau do Ponciano	9.555	9.537.164	Rio Largo	32.019	42.217.248
Ibateguara	5.157	4.504.978	Roteiro	2.069	2.653.351
Igaci	8.682	8.575.491	Santa Luzia do	2.268	3.128.864

			Norte		
Igreja Nova	7.002	7.471.126	Santana do Ipanema	15.454	18.447.567
Inhapi	4.765	4.261.202	Santana do Mundaú	4.039	3.329.004
Jacaré dos Homens	1.716	1.774.872	São Brás	2.566	2.603.253
Jacuípe	1.778	1.799.943	São José da Laje	7.304	7.499.385
Japaratinga	3.606	4.870.105	São José da Tapera	9.339	9.148.494
Jaramataia	1.661	1.531.066	São Luís do Quitunde	9.030	11.042.738
Jequiá da Praia	2.878	3.241.711	São Miguel dos Campos	18.206	24.639.834
Joaquim Gomes	4.872	4.933.792	São Miguel dos Milagres	4.039	7.048.095
Jundiá	1.439	1.350.326	São Sebastião	10.315	11.325.520
Junqueiro	8.310	9.049.528	Satuba	9.773	15.485.304
Lagoa da Canoa	5.666	6.209.182	Senador Rui Palmeira	3.505	3.168.619
Limoeiro de Anadia	7.474	7.884.235	Tanque d'Arca	2.145	1.904.868
Maceió	343.442	690.733.349	Taquarana	6.808	7.140.386
Major Isidoro	5.667	6.475.385	Teotônio Vilela	12.684	14.836.226
Mar Vermelho	1.153	1.105.617	Traipu	6.583	5.500.014
Maragogi	14.585	24.118.772	União dos Palmares	20.892	23.521.014
Maravilha	3.411	3.101.824	Viçosa	7.947	8.798.002

Fonte: Adaptado de GOV.AL (2023).

Os 61.100.000 kWh que a quantidade de cabeça de frango do ano 2022 poderia gerar, seria suficiente para abastecer totalmente o consumo anual de 100 dos 102 municípios alagoanos, apenas Maceió e Arapiraca que são respectivamente as cidades mais populosas de alagoas não seriam abastecido em sua totalidade durante um ano.

Considerando em ordem crescente de consumo de energia elétrica, a geração estimada de 61.100.000 kWh seria suficiente para abastecer com sobras, os 28 municípios alagoanos somados, com menor consumo de energia no ano,

como podemos observar na Tabela 5.

Tabela 5: Consumo de 28 municípios alagoanos.

Município	Consumidores	Consumo de	Município	Consumidores	Consumo de
	de energia	energia elétrica		de energia	energia elétrica
	elétrica –	em kWh –		elétrica –	em kWh –
	Residencial	Residencial		Residencial	Residencial
	2021	2021		2021	2021
Pindoba	731	621.809	Campestre	2.241	2.128.426
Mar Vermelho	1.153	1.105.617	Monteirópolis	2.372	2.262.130
Jundiá	1.439	1.350.326	Carneiros	2.668	2.319.313
Olho d'Ágrua Grande	1.559	1.442.523	Paulo Jacinto	2.405	2.326.136
Jaramataia	1.661	1.531.066	Olho d'Água do Casado	2.404	2.435.028
Palestina	1.489	1.590.381	Coqueiro Seco	1.954	2.597.372
Feliz Deserto	1.519	1.610.007	São Brás	2.566	2.603.253
Belo Monte	1.739	1.644.711	Branquinha	2.850	2.608.070
Belém	1.823.	1.694.066	Roteiro	2.069	2.653.351
Minador do Negrão	1.592.	1.738.225	Pariconha	3.181	2.865.420
Jacaré dos Homens	1.716	1.774.872	Campo Grande	3.018	2.992.283
Jaciúpe	1.778	1.799.943	Novo Lino	3.126	2.998.149
Chã Preta	2.178	1.848.153	Flexeiras	2.981	3.048.146
Tanque d'Arca	2.145	1.904.868	Maravilha	3.411	3.101.824
TOTAL	59.768	58.595.468			

Fonte: Autor próprio (2023).

4 METODOLOGIA

Para ilustrar os objetivo proposto pelo presente trabalho, foi utilizado o propósito de pesquisa exploratória.

“A pesquisa exploratória, portanto, serve para ampliar seu conhecimento sobre determinado assunto ou situação. Assim, como os dados levantados, será possível elaborar melhores planos e tomar decisões mais inteligentes”. (D’ANGELO, 2022).

De acordo com D’angelo (2022), o processo de pesquisa exploratória varia de acordo com cada descoberta de novos dados ou percepções. O que torna fundamental para o desenvolvimento do trabalho, pois com o decorrer das pesquisas e filtração dos dados e informações encontradas, é possível realizar os cálculos de forma mais precisa e assim chegar as conclusões necessárias.

Já a abordagem foi baseada em pesquisas e análise de dados qualitativos. E assim, com esses dados realizar cálculos com o foco em demonstrar o quanto o biogás é uma tecnologia eficaz e importante.

“Um dado qualitativo é aquele que se refere à qualificação ou a qualidade de determinada coisa ou situação. Seu objetivo é obter um entendimento mais profundo sobre um determinado assunto avaliado”. (CALADO, 2021).

Com esse método de dados, foi possível desenvolver o trabalho da melhor forma, pois com o método qualitativa, permite analisar os dados a respeito do tema e assim guiar a pesquisa visando considerar enfoques diferenciados.

E o procedimento utilizado para realizar o presente trabalho foi revisão bibliográfica. Foi utilizado sites especializados, livros específicos, revistas e artigos científicos e trabalho de conclusão de curso com temas relacionados.

Para melhor ilustrar a pesquisa do presente trabalho foi considerado um projeto de granja que será denominada “Aviário CECA”. Para efeitos de cálculo, condições de operação e definição de tempo, serão considerados dados estimados de granjas reais com o mesmo porte de produção.

4.1 Localização do Aviário CECA

O Aviário CECA (figura 19) está localizado no Campus de Engenharia e

Ciências Agrárias na cidade de Rio Largo, em Alagoas, BR-104, km 85.

Figura 19: Aviário CECA, localizado no Campus de Engenharia e Ciências Agrárias.



Fonte: UFAL (2021).

4.2 Dados

O aviário CECA tem um espaço com pouco mais de 9 mil m² quadrados de terreno. A seguir na Tabela 6, os dados gerais e de produção de aves:

Tabela 6: Dados do aviário CECA.

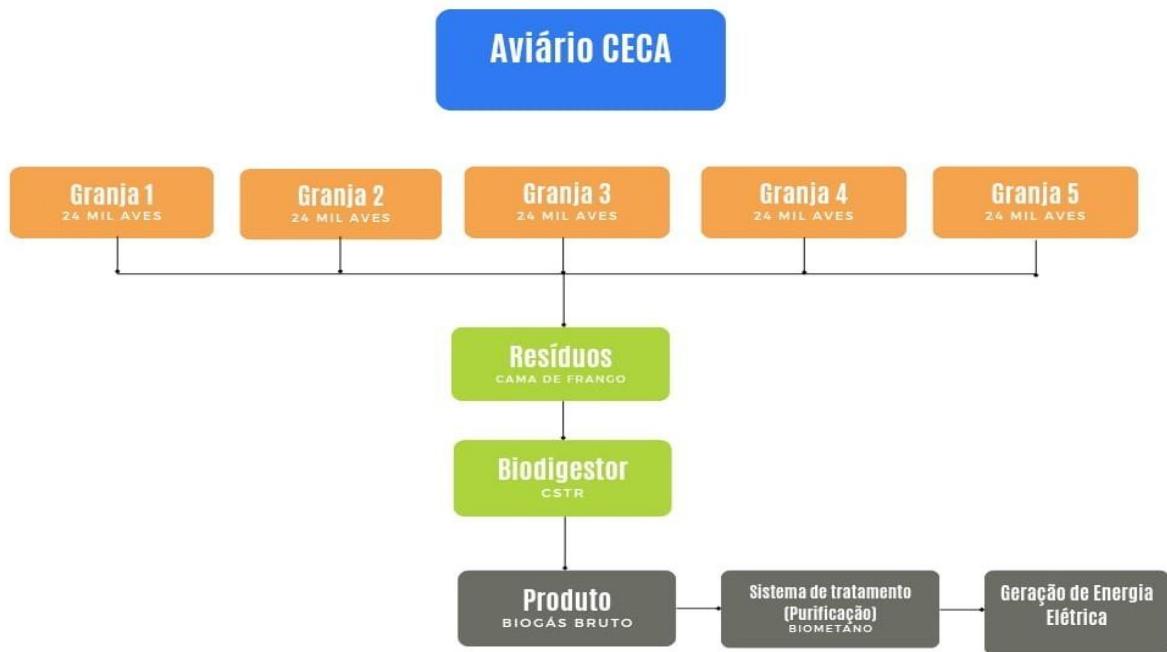
Número de Galpões (Granjas)	5
Número de aves por galpão (Granja)	24 mil frangos
Total de aves no aviário por ciclo	120 mil frangos
Frequência de retirada dos resíduos	3 vezes por semana (2°, 4° e 6° feira)

Fonte: Autor próprio (2023).

O Aviário possui 5 granjas com capacidade de criação de 24 mil aves por granja, totalizando 120 mil aves por ciclo. A frequência de retirada dos resíduos só da 3 vezes por semana, todas as terças, quartas e sextas-feiras.

A seguir (figura 20), veremos o esquema das 5 granjas do aviário CECA e o esquema de produção de biogás, biometano e geração de energia elétrica.

Figura 20: Esquema das granjas e produção de biogás, biometano e geração de energia elétrica.



Fonte: Autor próprio (2023).

4.3 Biodigestor escolhido

Após análise do tipo de aviário, o biodigestor mais indicado é o CSTR (ver figura 9). Esse biodigestor se destaca por sua modernidade, o que possibilita uma maior capacidade de produção de biogás. Além de possuir uma maior estabilidade operacional, mantendo assim, uma produção estável de biogás ao longo do processo.

Outro ponto a favor do biodigestor CSTR é sua fácil manutenção e operação. Pois ele possui em sua estrutura poucos componentes móveis, logo não requer um alto grau de conhecimento técnico para a sua manutenção e operação.

4.4 Fórmula

Por fim, para efeito de cálculos, com o objetivo de encontrar quantas famílias alagoanas podem ser abastecidas utilizando a energia gerada pelo aviário CECA, foi criado a seguinte fórmula:

$$Tfa = \frac{Tg}{Ma}$$

Onde:

Tfa = Total de Famílias;

Tg = Total Gerado (kWh);

Ma = Média anual (kWh).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Produção

Considerando que um frango tem seu ciclo de vida de 45 dias e que um ano possui 365 dias, teremos um total de 8 ciclos de 120 mil aves no aviário, logo:

$$120 \text{ mil frangos} \times 8 \text{ ciclos}$$

Total: **960 mil frango de corte por ano.**

Portanto, o aviário CECA tem capacidade de produção de 960 mil frangos de corte por ano.

5.1.1 Total de dejetos, biogás e energia gerado

Como foi demonstrado na Tabela 2, um frango de corte produz em média 0,09 kg de dejetos, 0,01 m³ de biogás e 0,01 kWh por dia.

Como pode ser observado na Tabela 7, um frango de corte é capaz de produzir em um ciclo de 45 dias um total de 4,05 kg de dejetos, 0,45 de m³ de biogás, o que é suficiente para gerar 0,45 kWh de energia.

Tabela 7: Total de dejetos, biogás e energia produzida em um ciclo por frango.

Dias	Dejetos (kg / animal)	Biogás (m ³ / animal)	Energia (kWh)
1	0,09	0,01	0,01
1 Ciclo (45 dias)	4,05	0,45	0,45

Fonte: Autor próprio (2023).

Considerando o total de frango por granja, chegaremos aos seguintes números mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Total de dejetos, biogás e energia produzida por granja em um dia.

Número de frangos	Dejetos (kg / dia / animal)	Biogás (m ³ / dia / animal)	Energia (kWh / dia)
1	0,09	0,01	0,01
24 Mil Aves	2.160	240	240

Fonte: Autor próprio (2023).

Existem 5 granjas no aviário, logo teremos um total de 120 mil frangos e chegaremos aos seguintes números de produção por dia (Tabela 9):

Tabela 9: Total de dejetos, biogás e energia produzida pelo aviário por dia.

Número de frangos	Dejetos (kg / dia / animal)	Biogás (m³ / dia / animal)	Energia (kWh / dia)
1	0,09	0,01	0,01
24 Mil aves (granja)	2.160	240	240
120 Mil aves (Aviário)	10.800	1.200	1.200

Fonte: Autor próprio (2023).

Considerando o total de frango por ciclo, o aviário tem capacidade de gerar 10.800 kg de desejos, 1.200 m³ de biogás, o que é suficiente para gerar 1.200 kWh por dia.

Após 45 dias, com sua capacidade máxima de 24 mil frangos por granja (total de 5 granjas), o aviário CECA terá capacidade de produzir 486.000 mil kg de dejetos, 54.000 m³ de biogás e 54.000 kWh por ciclo (Tabela 10).

Tabela 10: Total de dejetos, biogás e energia do aviário por ciclo.

Dias	Dejetos (kg / animal)	Biogás (m³ / animal)	Energia (kWh)
1	0,09	0,01	0,01
1 Ciclo (45 dias)	486.000	54.000	54.000

Fonte: Autor próprio (2023).

5.1.2 Total de dejetos, biogás e energia gerada em um ano

Considerando um ano de 365 dias e o total de produção de frango na sua totalidade máxima (mostrado anteriormente no tópico 5.1). O aviário terá capacidade de produzir os seguintes números (Tabela 11):

Tabela 11: Total de dejetos, biogás e energia por ano.

Dias	Dejetos (kg / animal)	Biogás (m³ / animal)	Energia (kWh)
1	0,09	0,01	0,01
8 Ciclos (um ano)	3.888.000	432.000	432.000

Fonte: Autor próprio (2023).

O total de energia gerada em um ano pelo aviário na sua capacidade máxima de produção será de 432.000 m³ de biogás, o que é suficiente para gerar 432.000 kWh ao ano, ou seja, em média 36 mil kWh mensal.

5.1.3 Potencial de energia gerada pelo aviário CECA

Para calcular o potencial de energia gerado pelo aviário, serão utilizados os dados referentes as quantidades de consumidores de energia elétrica residencial e consumo de energia elétrica (kWh) de alagoas em 2021 da Tabela 4.

Tabela 12: Consumo anual e médio por família em alagoas em 2021.

Consumidores de energia elétrica – Residencial 2021	Consumo de energia elétrica em kWh – Residencial 2021
Total	1.085.387
Média anual	-
Média mensal	-

Fonte: Autor próprio (2023).

Sendo assim, o número de consumidores de energia elétrica residencial no ano de 2021 é de 1.085.387 e o consumo total de energia elétrica em kWh foi de 1.604.538.118. Com esses números chegamos a média anual de 1.478,3 kWh por residência e mensal de 123,2 kWh.

Para efeito de cálculo, será utilizado a fórmula para encontrar o total de famílias que pode ser abastecidas pelo aviário. Será utilizado o total gerado pelo aviário CECA e a média anual do consumo de energia no ano de 2021 da população alagoana, chegaremos ao seguinte resultado:

$$Tfa = \frac{Tg}{Ma}$$

$$Tfa = \frac{432.000}{1.478,3}$$

$$Tfa = 292,23$$

Portanto, os 432.000 kWh gerado pelo aviário CECA seria suficiente para abastecer 292 famílias alagoanas.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso pretende compreender a importância da produção de energia elétrica a partir do biogás disponível na biomassa da cama de frango, a partir da metodologia de pesquisas e revisão bibliográfica.

Foi possível ainda, demonstrar a importância de se produzir energias alternativas, limpas e sustentáveis a partir do biogás.

Após pesquisas, foram encontrados números que mostram o quanto a utilização do biogás a partir de cama de frango pode ser uma alternativa viável economicamente (inclusive, gerando lucros) e um importante aliado para minimizar impactos ambientais com o descarte inapropriado da cama de frango.

O aviário CECA se mostrou capaz de produzir números interessantes de produção de energia elétrica. Em sua capacidade máxima, é capaz de gerar energia elétrica suficiente para abastecer 292 famílias durante o ano inteiro.

Já no quesito ambiental, o aviário é capaz de produzir 3.888.000 kg de dejetos, que caso não seja dado um destino apropriado (como para a produção de energia elétrica e para a produção de biofertilizantes) pode causar sérios danos ao meio ambiente, ou seja, o biogás se mostrou um importante aliado no fator ambiental.

Considerando o aspecto geral de produção de cabeça de frango no Brasil no ano de 2022, foi possível calcular que seria possível produzir 61.100.000 kWh de energia por ano. O suficiente para abastecer uma cidade com até 60 mil habitantes.

Por fim, segundo a EPE (2022), o total de energia elétrica consumida no Brasil no ano de 2021 foi de 497 TWh. Se considerarmos apenas a energia elétrica que pode ser produzida através da cama de frango (61.100.000 kwh ou 0,0611 TWh) esse número representaria 0,012% da capacidade de geração do país.

Conclui-se, portanto o quanto incentivos e investimento na biomassa / biogás é importante para o país em vários aspectos, como diversificação da matriz energética, econômica e ambiental.

7 BIBLIOGRAFIA

ALVES, Elton Eduardo Novais; INOUE, Keles Regina Antony; BORGES, Alisson Carraro. **BIODIGESTORES: CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E USOS DO BIOGÁS E DO BIOFERTILIZANTE VISANDO A SUSTENTABILIDADE DAS PROPRIEDADES RURAIS.** 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262565096_Biodigestores_construcao_operacao_e_usos_do_biogas_e_do_biofertilizante_visando_a_sustentabilidade_das_propriedades_rurais. Acessado em: 22/04/2023.

AMARAL, Carolina. **AUXILIE NO COMBATE A PRODUÇÃO EXCESSIVA DE LIXO.** 2023. Disponível em: <https://www.assinebem.com.br/blog/2023/01/18/auxilie-no-combate-a-producao-excessiva-de-lixo>. Acessado em: 26/01/2023.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **BRASIL ULTRAPASSA OS 190 GW EM CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-ultrapassa-os-190-gw-em-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica>. Acessado em: 14/05/23;

ARIGOENERGIA. **IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELAS FONTES DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEIS.** 2021. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/consumo-consciente/impactos-ambientais-causados-pelas-fontes-de-energia/>. Acessado em: 21/01/2023.

BARROS, J. P. ET AL. **PRODUÇÃO ANIMAL E OS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE.** 2017. Disponível em: <http://journal.unoeste.br/suplementos/agrariae/vol13nr2/PRODUCAO%20ANIMAL%20E%20OS%20IMPACTOS%20AO%20MEIO%20AMBIENTE.pdf>. Acessado em: 21/01/2023.

BEN, Balanço Energético Nacional. **RELATÓRIO SÍNTESE (ANO BASE 2021).** 2022. Disponível em:

https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topicos-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf. Acessado em: 03/02/2023.

BGS. **SAIBA COMO FAZER O CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.** 2018. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/calculo-da-producao-de-biogas/>. Acessado em: 08/04/2023.

CALADO. Andréa. **DESCUBRA A DIFERENÇA ENTRE DADOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS E COMO USÁ-LOS.** 2021. Disponível em:<https://rockcontent.com.br/blog/dados-qualitativos-e-quantitativos/>. Acessado em: 01/05/2023.

CIBIOGAS, Energia Renováveis. **QUAL A IMPORTÂNCIA DOS GERADORES DE ENERGIA A BIOGÁS NO MERCADO?** 2022. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog/qual-a-importancia-dos-geradores-de-energia-a-biogas-no-mercado>. Acessado em: 22/10.

CIBIOGAS. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS: O QUE SÃO BIODIGESTORES E COMO PRODUZIR BIOGÁS.** 2019. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog/producao-de-biogas-o-que-sao-biodigestores-e-como-gerar-biogas/>. Acessado em: 18/03/2023.

COELHO, Pedro. **BODIGESTORES CONTÍNUOS E DE BATELADA: FUNCIONAMENTO E VANTAGENS.** 2012. Disponível em: <https://www.engquimicasantossp.com.br/2012/07/biodigestores.html>. Acessado em: 22/04/2023.

D`ANGELO. Pedro. **O QUE É PESQUISA EXPLORATÓRIA E COMO FAZER A SUA.** 2022. Disponível em: <https://blog.opinionbox.com/pesquisa-exploratoria/>.

Acessado em: 01/05/2023.

EL PAIS. UNIÃO EUROPEIA DECIDE ENCERRAR ATÉ 2050 A ERA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NO BLOCO. 2018. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2018/11/27/economia/1543348641_627346.html. Acessado em 20/01/2023.

EMBRAPA. BIOGÁS: UMA ALTERNATIVA DE ENERGIA NO MEIO RURAL. 1990. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59482/1/Miscelanea-4.pdf>. Acessado em: 23/01/23.

ENERGIA, e Biogás. PANORAMA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM A FONTE BIOGÁS. 2022. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/biogas-no-brasil>. Acessado em: 17/03/2023.

ENERGIA, e Biogás. NOVO PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL É LANÇADO NO FÓRUM SUL BRASILEIRO DE BIOGÁS E BIOMETANO EM CAXIAS DO SUL – RS. 2021. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/novo-panorama-do-biogas-no-brasil-2021#:~:text=S%C3%B3em%202021%2C2022,C35,partir%20da%20gest%C3%A3o%20de%20res%C3%Adduos>. Acessado em: 17/03/2023.

ENERGPEDIA. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS. 2020. Disponível em: https://energpedia.info/wiki/Electricity_Generation_from_Biogas#:~:text=In%20most%20cases%2C20biogas%20is,design%20of%20an%20electric%20motor. Acessado em: 18/03/2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2022.** 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%20EIC3%A9trica%202022.pdf. Acessado em: 15/05/23.

EPE. MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA. 2022. Disponível em: [**EPE. ENERGIA E MEIO AMBIENTE – PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA – PDE 2032. 2022.** Disponível em: \[**FGV, Energia. DADOS – MATRIZ ENERGÉTICA. 2020.** Disponível em: \\[**FREITAS. Eduardo. BIOGÁS. 2020.** Disponível em: \\\[**FRIGHETTO, Maurício. DE RESÍDUOS ORGÂNICOS À GERAÇÃO DE ENERGIA: AS OPORTUNIDADES DO BIOGÁS. 2021.** Disponível em: \\\\[**FUNVERDE. COMO FAZER UM BIODIGESTOR CASEIRO. 2020.** Disponível em: <a href="https://www.funverde.org.br/blog/como-fazer-um-biodigestor-caseiro/. Acessado em: 17/03/2023.\\\\]\\\\(https://energia.coop/blog/de-residuos-organicos-a-geracao-de-energia-as-opportunidades-do-biogas/. Acessado em: 26/01/2023.</p></div><div data-bbox=\\\\)\\\]\\\(https://brasilescola.uol.com.br/geografia/biogas.htm. Acessado em: 22/01/2023.</p></div><div data-bbox=\\\)\\]\\(https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica. Acessado em: 30/04/2023.</p></div><div data-bbox=\\)\]\(https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-639/NT%20Energia%20e%20Meio%20Ambiente%20-%20PDE%202032.pdf. Acessado em: 18/03/2023.</p></div><div data-bbox=\)](https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20%C3%A9,em%20sua%20maior%20parte%2C%20renov%C3%A1vel. Acessado em: 17/03/2023.</p></div><div data-bbox=)

GIRARDI, Giovana. **BRASIL PRODUZ LIXO COMO PRIMEIRO MUNDO, MAS FAZ DESCARTE COMO NAÇÕES POBRES.** 2016. Disponível em: <https://projetoummilhar.com.br/tema/lixo-no-brasil-um-problema-grande-tratado-de-forma-pequena/>. Acessado em: 26/01/2023.

GNPW, Group. **QUAL A DIFERENÇA ENTRE BIOGÁS E O BIOMETANO?** 2022. Disponível em: <https://www.gnpw.com.br/geracao-distribuida/qual-a-diferenca-entre-biogas-e-o-biometano/>. Acessado em: 18/03/2023.

GOV. GOVERNO FEDERAL INCENTIVA A PRODUÇÃO E USO SUSTENTÁVEL DO BIOMETANO. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/03/governo-federal-incentiva-a-producao-e-uso-sustentavel-do-biometano>. Acessado em: 18/03/2023.

GOV. AL. DADOS DE INRAESTRUTURA E PERFIL MUNICIPAL.

2022. Disponível em: https://dados.al.gov.br/catalogo/pt_BR/dataset/dados-de-infraestrutura-perfil-municipal/resource/752068b9-fb1e-47f6-a597-074fa260af71. Acessado em: 13/05/2023.

GUARESMIN. IMPACTOS DA ENERGIA ELÉTRICA NO MEIO AMBIENTE. 2021. Disponível em: <https://www.imarjunior.com.br/post/impactos-da-energia-eletrica-no-meio-ambiente>. Acessado em: 21/01/2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Em 2022, abate de bovinos volta a subir e produção de ovos de galinha bate recorde. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/36455-em-2022-abate-de-bovinos-volta-a-subir-e-producao-de-ovos-de-galinha-bate-recorde>. Acessado em: 30/04/ 2023.

IRENA. COUNTRIES WITH THE HIGHEST ELECTRICAL GENERATION FROM

BIOGAS. 2021. Disponível em:
<https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>. Acessado em: 05/05/2023.

JUNIOR, Frederico Alvarenga de Oliveira. MANUAL DE CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR RURAL. 2020. Disponível em:
http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI201409171_4002_3.pdf. Acessado em: 23/10.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo; AMARAL, André. FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA, PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS, USO E TRATAMENTO DO DIGESTATO. 2019. Disponível em:
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109212/1/final9156.pdf>. Acessado em: 18/03/2023.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo; AMARAL, André. CAMA DE FRANGO COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS APÓS DIFERENTES PERÍODOS DE ESTOCAGEM. 2017. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165642/1/final8602.pdf>. Acessado em: 18/03/2023.

NISHIGASAKO, Rodrigo Koji. COMO ECONOMIZAR NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA GRANJA, 2020. Disponível em:
<https://www.linkedin.com/pulse/como-economizar-consumo-de-energia-el%C3%A9trica-uma-nishigasako/?originalSubdomain=pt>. Acessado em: 30/09/2023.

ORIGO, Energia. CONHEÇA AS VANTAGENS DA ENERGIA DE BIOGÁS. 2022. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/conheca-vantagens-da-energia-biogas/#:~:text=Vantagens%20da%20energia%20biog%C3%A1s&text=Baixa%20emiss%C3%A3o%20de%20gases%20poluentes,de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20permite%20maior%20economia>. Acessado

em: 26/01/2023.

Revista M&T. **FPT industrial leva gerador de energia a biometano à FIEE Smart Future.** 2019. Disponível em: <https://revistamt.com.br/Noticias/Exibir?Id=7793&Id=7793>. Acessado em: 23/10

RODRIGUES, Jéssica. **ENERGIAS RENOVÁVEIS SE TORNAM OPÇÃO PARA MORADORES DO CONE SUL.** 2019. Disponível em: <http://www.morcegada.unir.br/?p=995>. Acessado em: 22/04/23.