



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL**  
**CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA**



**JANAÍNA DA CONCEIÇÃO LIMA DOS SANTOS**

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DE ALAGOAS E  
SUAS APLICAÇÕES**

Rio Largo - Alagoas  
Agosto de 2025

JANAÍNA DA CONCEIÇÃO LIMA DOS SANTOS

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DE ALAGOAS E  
SUAS APLICAÇÕES**

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

Agosto de 2025

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

S237p Santos, Janaína da Conceição Lima dos.

Potencial de geração de biogás no estado de Alagoas e suas aplicações. / Janaína da Conceição Lima dos Santos. – 2025.

53 f.: 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, 2025.

Inclui bibliografia

1. Biogás. 2. Decomposição anaeróbica. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Matérias-primas. I. Título.

CDU: 662.69(813.5)



---

**Folha de Aprovação**

**JANAÍNA DA CONCEIÇÃO LIMA DOS SANTOS**

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DE ALAGOAS E SUAS  
APLICAÇÕES**

Rio Largo, 22 de setembro de 2025

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JULIO INACIO HOLANDA TAVARES NETO  
Data: 22/09/2025 16:48:13-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

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

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** AMANDA SANTANA PEITER  
Data: 22/09/2025 17:57:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

1º Avaliador - Prof. Dra. Amanda Santana Peiter, UFAL – CECA

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** TANIA MARIA GOMES VORONKOFF CARNAUBA  
Data: 22/09/2025 18:02:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

2º Avaliador - Prof. Dra. Tânia Maria Gomes Voronkoff Carnaúba, UFAL – CECA

Dedico este trabalho a Deus, pela orientação e proteção; à minha família; aos meu pais, Messias Ferreira de Lima e Quitéria Maria da Conceição, e, em especial a minha mãe, pelo apoio, amor e incentivo. Esses dois trabalhadores incansáveis que, mesmo sem terem tido acesso à educação formal, sempre acreditaram no poder da educação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me sustentado durante toda essa caminhada, me dando forças nos momentos mais difíceis e serenidade nas horas de decisão.

À minha mãe, Quitéria Maria da Conceição, e ao meu pai, Messias Ferreira de Lima, que mesmo sendo, respectivamente, semi-analfabeta e analfabeto, me ensinaram com seus exemplos de trabalho, honestidade e dignidade, o verdadeiro valor da educação e da perseverança.

Ao meu esposo, Manoel Benedito dos Santos Neto, pelo apoio constante ao longo da minha jornada no curso de Engenharia de Energia. Sua compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu não desistisse diante dos desafios.

Às minhas filhas, Reydla Laís Maria Lima e Olga Beatriz Lima, que com muito amor e maturidade entenderam a importância do meu percurso acadêmico. A Reydla, especialmente por cuidar da irmã mais nova para que eu pudesse estudar. Ambas me ajudaram com obediência e responsabilidade, permanecendo em casa, em segurança, até o meu retorno.

À professora Jerusa Santana, por seu papel essencial no início da minha trajetória acadêmica. Quando pensei em desistir, por sentir muitas dificuldades e estar há mais de oito anos afastada da sala de aula, suas palavras me marcaram profundamente.

Ao meu orientador, professor Dr. Júlio Neto, pela orientação, paciência e contribuição valiosa ao longo da elaboração deste trabalho. Seu apoio técnico e acadêmico foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos da universidade, José Carlos, Jayne da Hora, Walis Djinadou, Gabriel Lima, pela paciência, companheirismo e por sempre estarem dispostos a estudar comigo, dividindo os desafios de provas e trabalhos.

Às amigas de fora da universidade, que também fizeram parte desta conquista: Anyrouse Tenório, pelo incentivo constante aos estudos; Ana Isabel, por me motivar a sair de Viçosa e ingressar no curso de Engenharia de Energias Renováveis; Kátia Rejane, por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava da minha capacidade; E Gilvânia da Silva, pelos convites para um café da tarde em sua casa, que tanto me ajudaram a aliviar o estresse da rotina universitária.

A todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, deixo minha mais profunda gratidão.

“Não se amoldem ao padrão deste mundo, mas transformem-se pela renovação da sua mente, para que sejam capazes de experimentar e comprovar boa, agradável e perfeita vontade de Deus”.

**Romanos 12:2**

## RESUMO

O biogás surge a partir da decomposição de materiais orgânicos na ausência de oxigênio, um processo realizado por microrganismos que gera uma mistura gasosa rica em metano. Diversos tipos de resíduos podem ser utilizados como matéria-prima nesse processo, como os provenientes da agroindústria, da pecuária, dos centros urbanos, de residências, da agricultura, de indústrias, florestas, processamento de alimentos, além de algas, biomassa e culturas energéticas. Essa ampla variedade permite que a produção de biogás se adapte às características e necessidades de cada região, além de colaborar diretamente com a gestão sustentável dos resíduos. No Estado de Alagoas, o cenário é especialmente favorável para a geração de biogás. A diversidade de resíduos disponíveis, fruto das principais atividades econômicas, como a agroindústria, a pecuária e a agricultura, fortalece esse potencial. A produção de cana-de-açúcar, bastante expressiva no estado, gera subprodutos como o bagaço de cana e a vinhaça, matérias-primas valiosas para a geração de biogás. Somam-se a isso os resíduos urbanos, domésticos, agrícolas e aqueles provenientes do processamento de alimentos, como as cascas e sobras da produção de frutas, que também se mostram bastante aproveitáveis. Além disso, o clima tropical e a forte presença do setor agroindustrial criam condições extremamente favoráveis para o aproveitamento desses resíduos orgânicos. Adotar o biogás como fonte de energia traz uma série de benefícios: além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, permite o reaproveitamento inteligente dos resíduos, contribui para a preservação ambiental e ajuda na diversificação da matriz energética, tornando-a mais limpa e sustentável. No contexto de Alagoas, o biogás pode ser utilizado tanto na geração de energia elétrica quanto como combustível veicular ou fonte de calor para processos industriais, fortalecendo a economia local de forma ambientalmente responsável.

**Palavras-chave:** biogás; decomposição anaeróbica; matérias-primas e desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

Biogas is produced by the decomposition of organic materials in the absence of oxygen, a process carried out by microorganisms that generates a gaseous mixture rich in methane. Various types of waste can be used as raw material in this process, such as those from agribusiness, livestock, urban centers, homes, agriculture, industries, forests, food processing, as well as algae, biomass and energy crops. This wide variety allows biogas production to adapt to the characteristics and needs of each region, in addition to directly contributing to sustainable waste management. In the state of Alagoas, the scenario is especially favorable for the generation of biogas. The diversity of available waste, resulting from the main economic activities, such as agribusiness, livestock and agriculture, strengthens this potential. Sugarcane production, which is quite significant in the state, generates byproducts such as sugarcane bagasse and vinasse, valuable raw materials for the generation of biogas. In addition to this, there are urban, domestic, agricultural and food processing wastes, such as peels and leftovers from fruit production, which are also quite useful. In addition, the tropical climate and the strong presence of the agro-industrial sector create extremely favorable conditions for the use of this organic waste. Adopting biogas as an energy source brings a series of benefits: in addition to reducing greenhouse gas emissions, it allows for the intelligent reuse of waste, contributes to environmental preservation and helps diversify the energy matrix, making it cleaner and more sustainable. In the context of Alagoas, biogas can be used both to generate electricity and as a vehicle fuel or heat source for industrial processes, strengthening the local economy in an environmentally responsible manner.

**Keywords:** biogas; anaerobic decomposition; raw materials; and sustainable development.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Instalação industrial, Usina (Processo de produção). .....	16
<b>Figura 2-</b> Esquema da decomposição anaeróbia. ....	18
<b>Figura 3-</b> Representação esquemática da composição do biogás.....	19
<b>Figura 4-</b> Contribuição das matérias-primas para produção de biogás em Alagoas .....	21
<b>Figura 5 -</b> Produção de biogás e biometano.....	22
<b>Figura 6 -</b> Biodigestor Lagoa Coberta (BLC).....	23
<b>Figura 7 -</b> Biodigestor CSTR (Tanque de agitação contínua) .....	24
<b>Figura 8 -</b> Biodigestor em fase sólida.....	25
<b>Figura 9 -</b> Esquema das etapas de produção do biogás por digestão anaeróbia..... .....	29
<b>Figura 10 -</b> Formação de gases do biogás.....	30
<b>Figura 11-</b> Do lixo a geração de energia.....	31
<b>Figura 12 -</b> Produção Biometano por Região.....	33
<b>Figura 13 -</b> Objetivos de Desenvolvimentos Sustentável.....	36
<b>Figura 14 -</b> Produção de biogás e geração de energia, contribuindo para a integração rural e urbana associada aos ODS7.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Matérias-primas disponíveis em Alagoas para produção de Biogás.....	20
<b>Tabela 2</b> - Produção de biogás (CH <sub>4</sub> ) para o Nordeste e Alagoas.....	45
<b>Tabela 3</b> - Potencial de geração de biogás a partir de resíduos agropecuários em Alagoas.....	46
<b>Tabela 4</b> - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e potencial para geração de biogás no estado de Alagoas.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**BLC** – Biodigestor Lagoa Coberta

**CH<sub>4</sub>** – Metano

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono

**GEE** – Gases de Efeito Estufa

**H<sub>2</sub>** – Hidrogênio

**H<sub>2</sub>O** – Água

**H<sub>2</sub>S** – Sulfeto de Hidrogênio

**NH<sub>3</sub>** – Amônia

**PCI** – Poder Calorífico Inferior

**PEAD** – Polietileno de alta densidade

**PVC** – Policloreto de vinil

**RSU** – Resíduos Sólidos Urbanos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.2 Objetivos</b> .....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1. Conceitos e definições</b> .....	<b>18</b>
2.1.1 O que é Biogás .....	18
2.1.2 Principais matérias-primas para a geração de biogás em Alagoas.....	20
2.2. Tecnologia para produção de biogás .....	21
2.2.1 Biodigestores e tipos de sistemas.....	23
2.2.2 Processo de digestão anaeróbica .....	28
2.3. Aplicações do Biogás.....	30
2.3.1. Biogás como fonte de energia elétrica e térmica.....	30
2.3.2. Produção de biometano e uso veicular .....	32
2.3.3. Impactos ambientais e econômicos do uso de biogás.....	35
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1. Delineamento da pesquisa</b> .....	<b>42</b>
3.2. Levantamento de dados e fontes de informações.....	42
3.3 Análise dos dados.....	42
<b>4. DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A EXPANSÃO DO BIOGÁS EM ALAGOAS</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1 Barreiras tecnológicas e econômicas</b> .....	<b>48</b>
4.2 Infraestrutura e logística .....	49
4.3 Oportunidades de parcerias e investimentos .....	49
4.4 Perspectivas de crescimento do setor de Biogás no Estado de Alagoas .....	50
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia renováveis tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis no Brasil e no mundo. As energias renováveis, vistas como alternativas aos combustíveis fósseis por serem reabastecidas, incluem diversas fontes como a biomassa. Nesse contexto, o biogás, obtido por meio da digestão anaeróbica da matéria orgânica, representa uma rota tecnológica promissora. Seu uso é versátil, abrangendo desde a produção de vapor e aquecimento até a geração de energia elétrica, térmica, a injeção em redes de gás natural e o aproveitamento como combustível veicular. Além disso, essa tecnologia pode ser aplicada a diferentes tipos de resíduos, como esgoto sanitário, resíduos sólidos urbanos, agropecuários e agroindústrias, reforçando sua relevância na transição energética e na gestão sustentável de resíduos (Lemos; Cardoso; Costa.2024). Em Alagoas, onde a agroindústria e a pecuária são fortes, o biogás se destaca como alternativa viável para a geração de energia limpa e sustentável.

O Estado de Alagoas possui um elevado potencial para a produção de biogás, devido à sua forte base agroindustrial e pecuária. Os resíduos da agroindústria canavieira, do setor agrícola e da pecuária são fontes abundantes para a geração dessa energia renovável. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, EPE(2022), apenas o setor sucroenergético brasileiro possui capacidade técnica estimada em mais de 5,2 bilhões de Nm<sup>3</sup>/ano de biogás, evidenciando que a utilização desses resíduos contribui não apenas para a diversificação da matriz energética, mas também para a mitigação de impactos ambientais e para o aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis.

As principais fontes de matéria-prima para a produção de biogás no estado de Alagoas, incluem o bagaço de cana-de-açúcar e a vinhaça, resíduos do processamento de frutas, esterco de gado e aves, além de resíduos sólidos urbanos (RSU). A experiência do município de Ipojuca/PE, analisada por Teixeira et al. (2012), demonstra que a utilização de RSU na geração de biogás pode contribuir significativamente para a produção de eletricidade e para a redução dos impactos ambientais, podendo reaplicar esse exemplo aqui no Estado de Alagoas.

Além dos benefícios ambientais, o biogás se destaca como uma fonte de energia economicamente viável. Sua aplicação pode abranger a geração de eletricidade, o uso como combustível veicular e o fornecimento de energia térmica para processos industriais. O relatório do CIBiogás (2023), evidencia que a utilização dessa fonte pode reduzir custos energéticos, ampliar a segurança no suprimento de energia e fortalecer o desenvolvimento sustentável do país.

Apesar do seu potencial, a implementação do biogás ainda enfrenta desafios, como a necessidade de infraestrutura adequada, incentivos governamentais e conscientização sobre seus benefícios. O estudo realizado em Ipojuca/PE aponta que a falta de políticas públicas específicas pode dificultar o avanço desse setor (Teixeira et al., 2012).

Os sistemas de geração e distribuição de energia elétrica podem causar diversos impactos ao meio ambiente.

**Figura 1-** Instalação industrial, Usina (Processo de produção).



Fonte: Assessoria Sedics,(2024).

Segundo Raphael Santos (2024), a energia renovável, proporciona geração de emprego e fortalecimento industrial consciente. A geração de energia por fontes renováveis é motivo de orgulho para Alagoas. De acordo com a Associação

Brasileira do Biogás (Abiogás), o Estado de Alagoas é o 3º com maior potencial energético no Nordeste, atrás somente da Bahia e Pernambuco, respectivamente.

Dessa forma, a análise do potencial de biogás em Alagoas é essencial para compreender como essa fonte pode ser explorada de maneira eficiente, contribuindo para a sustentabilidade energética do estado.

## **1.2 Objetivo**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Analisar o potencial de geração de biogás no Estado de Alagoas, identificando as principais fontes de matérias-primas disponíveis.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Demonstrar o potencial do Biogás em Alagoas;
- Avaliar os benefícios ambientais, econômicos e sociais associados;
- Mapear as principais fontes de matérias-primas para a produção de biogás em Alagoas;
- Avaliar os benefícios ambientais do uso do biogás em Alagoas;
- Apresentar o Biogás e suas vantagens em Alagoas;
- Estudar os desafios e barreiras para a implementação do biogás em Alagoas.

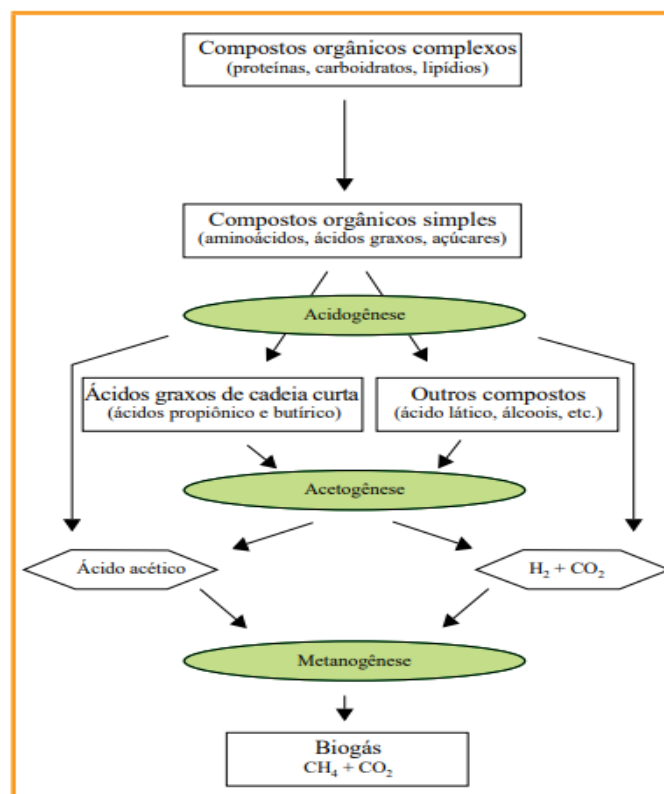
## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Conceitos e definições

#### 2.1.1 O que é Biogás

O "bio" gás tem origem em um processo biológico. A matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbio (ausência de oxigênio), origina uma mistura gasosa chamada de biogás. Esse processo é muito comum na natureza e ocorre, por exemplo, em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e no rúmen de animais ruminantes. Por meio de diversos microrganismos, a matéria orgânica é convertida em biogás quase por completo. Além disso, são produzidas certas quantidades de energia (calor) e nova biomassa. De acordo com (Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização).

**Figura 2-** Esquema da decomposição anaeróbia.

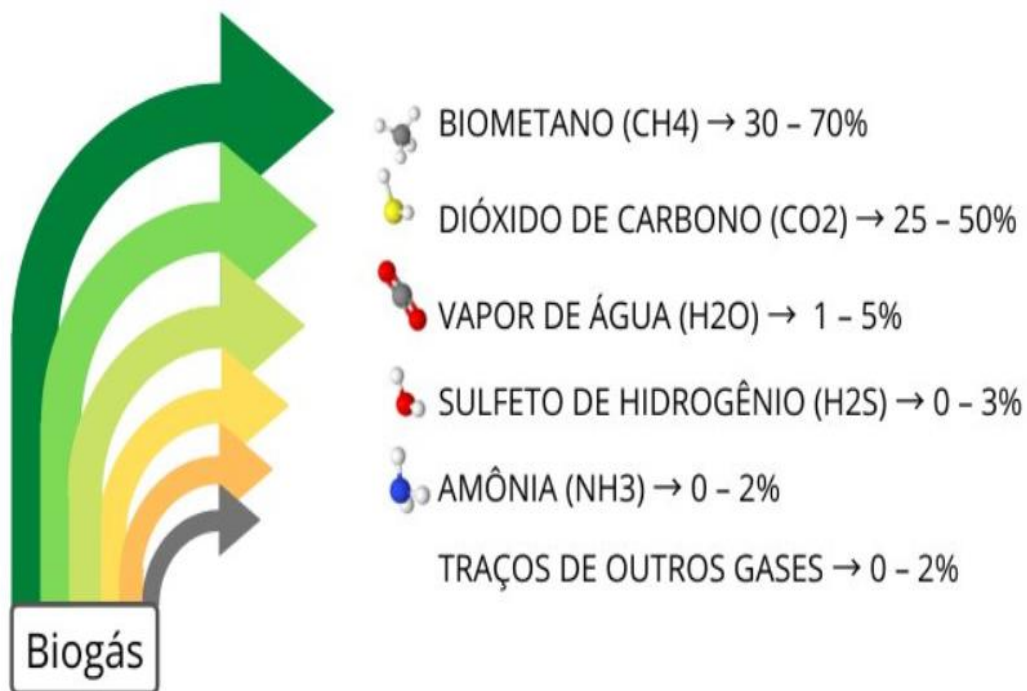


Fonte: Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização).

O biogás é uma mistura de gases, predominantemente metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gerado pela decomposição anaeróbica de matéria orgânica. Este processo ocorre em digestores anaeróbicos, onde microorganismos decompõem materiais como restos de alimentos e excrementos. O biogás, como uma fonte de energia renovável, é uma alternativa sustentável para a produção de eletricidade, tendo sido amplamente utilizado em projetos de geração de energia (Teixeira et al., 2020).

Na figura a seguir, mostramos uma representação esquemática da composição do biogás. Nesta representação chamamos o metano como Biometano apenas para mostrar que trata-se de metano obtido de um processo biológico.

**Figura 3** - Representação esquemática da composição do biogás.



Fonte: Energia e Biogás (2025).

### 2.1.2 Principais matérias-primas para a geração de biogás em Alagoas

Para a geração de biogás no estado de Alagoas, diversas matérias-primas podem ser aproveitadas devido à grande produção agrícola e pecuária da região. Essas matérias-primas, principalmente resíduos orgânicos, podem ser convertidas em biogás através de processos de digestão anaeróbica, oferecendo uma alternativa sustentável para a geração de energia. Algumas das principais matérias-primas para a geração de biogás em Alagoas, incluem resíduos agrícolas, bagaço de cana-de-açúcar, algas, óleos residuais e vinhaça, subprodutos que podem ser utilizados também na produção de biometano. Além disso, dejetos de animais e resíduos agroindustriais também representam fontes viáveis. Esses dados são reforçados por projetos em andamento no estado, Segundo dados disponibilizados por LIMA (2020), bem como por levantamentos nacionais que listam os principais resíduos urbanos, agropecuários e industriais aproveitáveis nesse tipo de processo, (ENERGIA E BIOGÁS), (Tabela 01) abaixo.

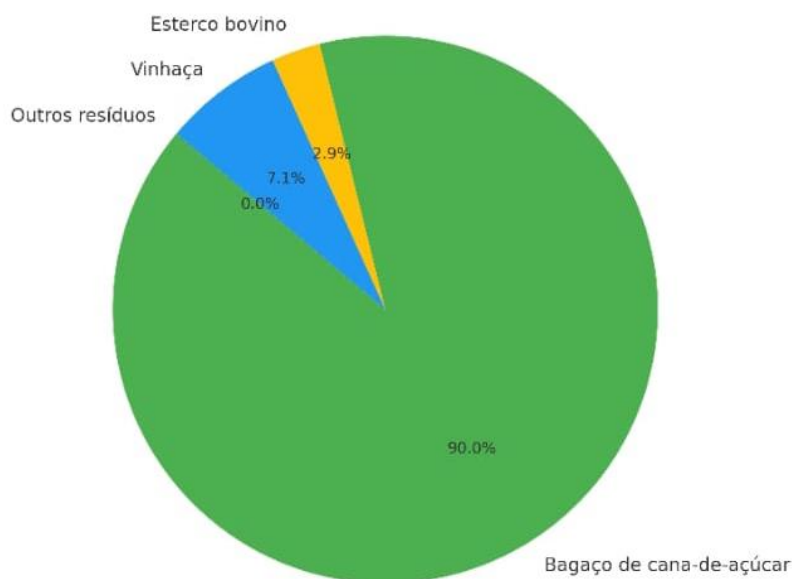
**Tabela 1** - Matérias-primas disponíveis em Alagoas para produção de Biogás.

<b>Categoria</b>	<b>Matérias-Primas Disponíveis em Alagoas</b>
Resíduos Agroindustriais	Bagaço de cana-de-açúcar, vinhaça, casca e bagaço de frutas (ex.: laranja);
Resíduos da Pecuária	Esterco de gado, esterco de aves;
Resíduos Urbanos e Domésticos	Resíduos sólidos urbanos, lodo de esgoto;
Resíduos Agrícolas	Palha de milho, cascas de coco, restos de colheita de vegetais;
Resíduos de Processamento de Alimentos	Resíduos de frutas e subprodutos de fábricas de alimentos.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Estimativa da contribuição percentual das principais matérias-primas disponíveis no estado de Alagoas. Representação ilustrativa baseada em pesquisas realizadas, KUNZ et al. (2019) abaixo temos:

**Figura 4** - Contribuição das matérias-primas para produção de biogás em Alagoas.



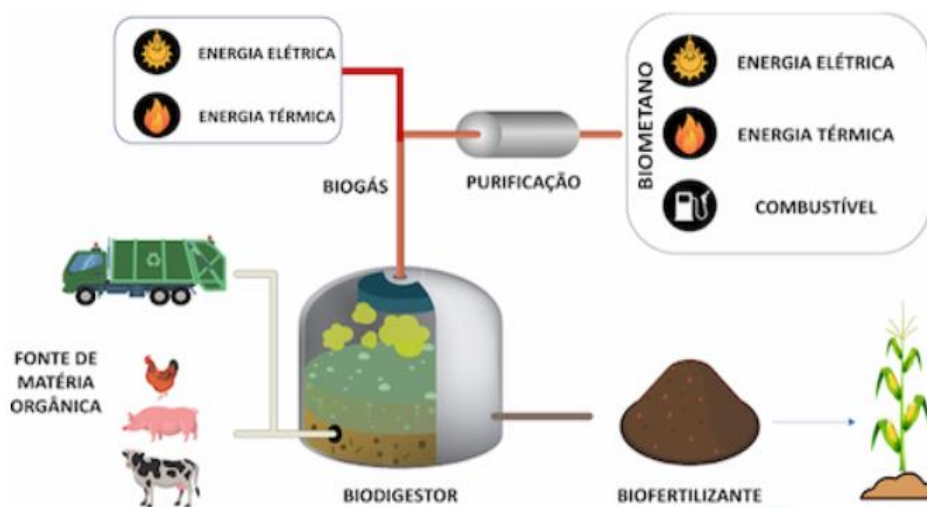
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

## 2.2. Tecnologia para produção de biogás

A produção de biogás ocorre por meio da digestão anaeróbica, processo em que microrganismos decompõem a matéria orgânica na ausência de oxigênio, resultando em uma mistura gasosa composta principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Essa tecnologia tem ganhado destaque por seu potencial de transformar resíduos em energia renovável, promovendo a redução de impactos ambientais. No estado de Alagoas, o setor agropecuário representa a principal fonte de matéria-prima para a geração de biogás, com destaque para a avicultura, pecuária e os resíduos oriundos das indústrias sucroalcooleira e alimentícia.

A utilização do biogás nesse contexto contribui significativamente para o desenvolvimento sustentável, ao reduzir emissões de gases de efeito estufa e favorecer uma gestão mais eficiente dos resíduos. Além disso, essa fonte energética está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, especialmente os ODS 7 e 13, ao viabilizar uma produção energética limpa, acessível e descentralizada, (Itânia Soares et al., 2022).

**Figura 5 -** Produção de biogás e biometano.



Fonte: Tecnagro(2025).

A produção de biogás enfrenta desafios relevantes quanto à sua viabilidade econômica, sobretudo no meio rural. Dentre os principais entraves, destacam-se a falta de uniformização dos equipamentos para conversão energética, os elevados custos para purificação e separação do biometano, a inconstância na composição do biogás, cujo teor de metano pode variar entre 30% e 70%, além da baixa escala de geração nas propriedades agrícolas individuais.

O projeto intitulado Produção de Biogás e Biometano tem como finalidade testar tecnologias de conversão do biogás em energia elétrica diretamente na propriedade rural, assim como viabilizar sistemas de coleta conjunta de biogás entre propriedades vizinhas, permitindo a centralização do processo de purificação do biometano. Segundo Biogás Brasil(2024), o (Projeto GEF Biogás Brasil) prevê ações locais e federais de estímulo à integração do biogás na cadeia produtiva brasileira. Além dos benefícios econômicos e sociais, a geração de energia a partir do biogás também reduz a emissão de gases poluentes de efeito estufa na atmosfera, aprimorando o desempenho ambiental do agronegócio brasileiro e a gestão de resíduos urbanos no país. Adicionalmente, busca-se a incorporação de novas tecnologias fermentativas que aumentem significativamente a eficiência e a concentração de metano no biogás produzido, promovendo maior rentabilidade e sustentabilidade energética.

### 2.2.1 Biodigestores e tipos de sistemas

De acordo com Dantas (2023, pag.20), 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.

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com sua estrutura, modo de operação e aplicação:

Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC); Esse modelo de biodigestor (figura 5) é mais apropriado para áreas rurais devido à criação de animais.

**Figura 6** – Biodigestor Lagoa Coberta (BLC).



Fonte: CIBIOGAS (2019).

O biodigestor de lagoa coberta consiste em um reservatório escavado no solo, vedado com materiais geossintéticos (como PVC ou PEAD), que apresentam baixa permeabilidade a líquidos e gases. Além disso, esses materiais são suficientemente flexíveis para permitir o acúmulo do biogás. Sua estrutura possui base retangular e seção transversal trapezoidal, com a inclinação das laterais variando conforme as características do solo local.

O biodigestor do tipo CSTR (Figura 6) apresenta uma estrutura mais avançada em comparação aos modelos convencionais. Sua tecnologia foi desenvolvida para lidar com volumes maiores de resíduos, exigindo um planejamento técnico mais elaborado. Por esse motivo, é especialmente indicado para sistemas com elevada carga orgânica, como aqueles encontrados em propriedades rurais de médio e grande porte.

**Figura 7-** Biodigestor CSTR (Tanque de agitação contínua).



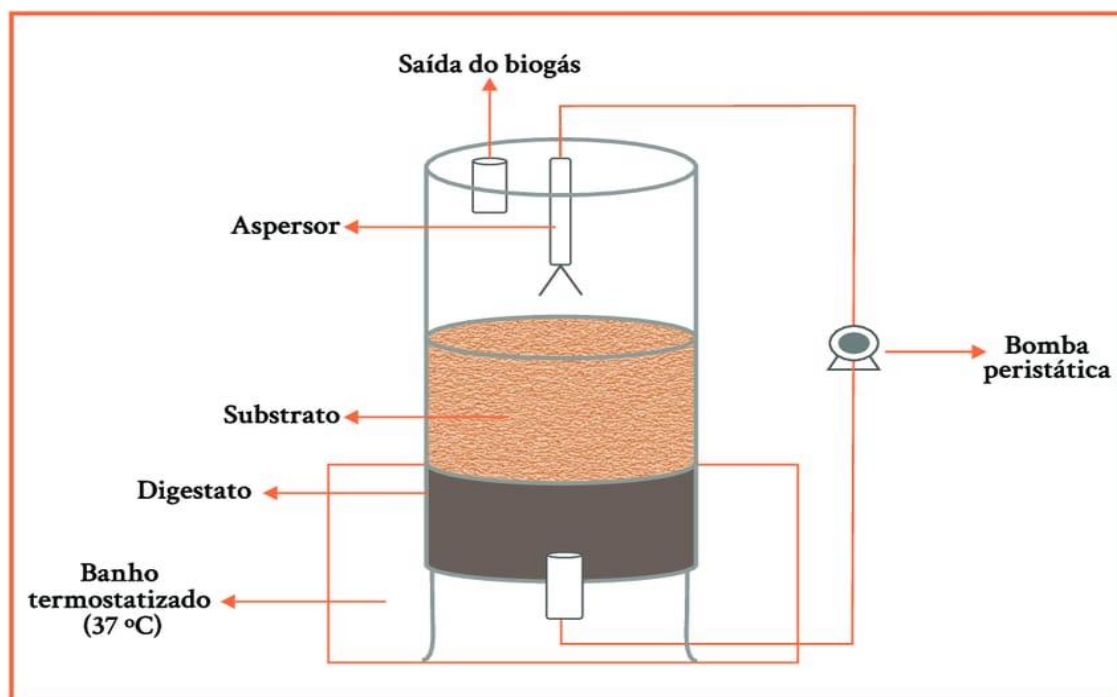
Fonte: CIBIOGÁS (2019).

Conforme apontado pelo Cibiogas (2019), o reator do tipo CSTR é o mais utilizado na Europa, representando pouco mais de 90% de aplicação. Esse sistema apresenta maior compatibilidade com efluentes que possuem elevadas concentrações de sólidos.

Devido à complexidade tecnológica envolvida nesse modelo, os custos tanto para sua implantação quanto para sua operação são mais elevados em comparação ao tipo anteriormente citado. No entanto, esse investimento é compensado por benefícios como a maior eficiência na geração de biogás, uma vez

que favorece a estabilidade do reator e a preservação da população de micro-organismos.

**Figura 8** - Biodigestor em fase sólida.



Fonte: Adaptado de Marchioro et al.,2018.

Biodigestores em fase sólida são mais comuns com operação em batelada (Figura 6), sendo alimentados com resíduos contendo entre 20 e 40% de sólidos. O substrato é adicionado ao reator juntamente com inóculo (50% m substrato /m inóculo), tendo o líquido percolado recirculado sobre a fração sólida (Kunz et al, 2019).

Essa tecnologia de biodigestão em fase sólida, é indicada para resíduos orgânicos com alto teor de sólidos, como resíduos agroindustriais e lixo orgânico urbano. Esse tipo de biodigestor dispensa a diluição dos resíduos, tornando o processo mais eficiente em locais com escassez de água ou onde o transporte de resíduos líquidos não é viável.

A adoção dessa tecnologia representa um avanço no aproveitamento energético de resíduos orgânicos no estado de Alagoas.

Segundo Kunz et al. (2019), o biogás apresenta uma concentração significativa de metano, atingindo aproximadamente 80%. As principais particularidades da digestão em fase sólida incluem:

- 1) menor dimensão do biodigestor;
- 2) capacidade para processar substratos com elevada concentração de sólidos e partículas de maior tamanho;
- 3) ausência da necessidade de grandes diluições nos substratos;
- 4) o reator deve ser aberto para operações de enchimento e esvaziamento;
- 5) a alimentação do reator ocorre de forma intermitente;
- 6) a produção de biogás é inferior em 15% a 40%, quando comparada ao processo em via úmida.

Os biodigestores podem ser construídos com alvenaria, concreto ou materiais alternativos. Sua estrutura consiste em uma câmara hermética, cuja principal finalidade é impedir a entrada de oxigênio, caracterizando, assim, um processo anaeróbico.

Observa-se que os biodigestores podem ser categorizados de acordo com o modo de operação. A seguir, apresentam-se as três principais classificações:

- **Operação Batelada:**

Os biodigestores operados de forma descontínua, ou seja, sua atividade ocorre em intervalos determinados. A carga de matéria orgânica é inserida integralmente no início de cada ciclo. Após esse processo, o sistema é lacrado, impedindo a entrada de oxigênio, assegurando assim as condições anaeróbias.

De acordo com EMAS JR. (2020), durante o período de 40 a 60 dias, a decomposição da matéria orgânica acontece, resultando na produção de biogás.

Com o passar do tempo, a taxa de geração do gás diminui à medida que os substratos são consumidos. Parte do biofertilizante pode ser extraída nesse estágio, recomendando-se manter cerca de 20% do conteúdo no interior do reator. Essa medida visa preservar uma quantidade mínima de microrganismos ativos, facilitando a decomposição da próxima carga de material orgânico. Assim, um novo ciclo de operação tem início com uma nova alimentação.

#### • **Operação Contínua:**

Ao contrário dos modelos operados em batelada, os biodigestores de fluxo contínuo recebem carga de matéria orgânica de forma progressiva, por meio de condutos próprios para alimentação. A extração do biogás ocorre por tubulações localizadas na parte superior da estrutura, enquanto o biofertilizante é escoado por meio de canais de saída adequados.

De acordo com EMAS JR. (2020), os biodigestores de operação contínua podem ser instalados de distintas maneiras em relação ao solo. No modelo vertical, a inserção dos resíduos ocorre pela parte inferior, enquanto a liberação do biogás é realizada na porção superior. Esses sistemas geralmente são subterrâneos, exigindo maior atenção quanto à escavação e aos possíveis riscos de contaminação ambiental. Por outro lado, nos sistemas horizontais, tanto a entrada quanto a saída dos materiais ocorrem pelas laterais. Essa configuração pode ser implantada de forma submersa ou não, sendo especialmente recomendada em regiões com presença de lençóis freáticos, pois apresenta menor probabilidade de contaminação.

“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.” (EMAS JR, 2022).

Observa-se que, entre os biodigestores de alimentação contínua, estão incluídos os modelos indiano, chinês, canadense, filipino e paquistanês.

Segundo EMAS JR. (2020), atualmente, os modelos mais empregados incluem o Indiano, o Chinês e o Canadense, que se destacam pela sua ampla aplicação, eficiência, ao baixo custo e fácil manuseio.

- **Operação semicontínua:**

O biodigestor do tipo semicontínuo pode ser compreendido como uma variação do modelo em batelada, com a particularidade de permitir a adição periódica de substrato durante o processo. Essa possibilidade de alimentação parcial torna viável a realização de ajustes na concentração do biocatalisador e no controle da própria reação biológica.

### 2.2.2 Processo de digestão anaeróbica

Ao estudar a digestão anaeróbia, entende-se que se trata de um processo biológico em que a matéria orgânica é degradada na ausência de oxigênio, gerando biogás e biofertilizantes como produtos principais. Nesse processo, as enzimas naturais exercem papel crucial, facilitando a degradação da biomassa e tornando os compostos mais simples acessíveis aos micro-organismos. Sem essa ação enzimática, a digestão seria consideravelmente mais lenta e ineficiente, comprometendo a conversão de biomassa em energia (Biogás e Energia, 2025).

As enzimas diminuem a energia necessária para iniciar as reações químicas, facilitando o processo de fermentação realizado pelos micro-organismos. Além disso, a atuação enzimática influencia diretamente tanto a quantidade quanto a qualidade do biogás gerado, sendo um elemento determinante na eficiência dos biodigestores.

As enzimas são, compostos biológicos altamente específicos que atuam como catalisadores naturais. Elas aceleram determinadas reações químicas sem serem consumidas no processo, podendo ser reutilizadas inúmeras vezes. Cada enzima se liga ao seu substrato a substância sobre a qual age de forma precisa, seguindo o modelo conhecido como “chave-fechadura”. Essa especificidade garante que cada enzima atue sobre um único tipo de molécula.

Durante a digestão anaeróbia, ocorre a chamada hidrólise enzimática, etapa responsável por decompor grandes moléculas orgânicas em unidades menores:

**Carboidratos** → são transformados em monossacarídeos, como a glicose;

**Lipídios** → originam ácidos graxos e glicerol;

**Proteínas** → resultam em aminoácidos.

Segundo Biogás e Energia (2025), o processo de digestão anaeróbia é dividido em quatro fases principais:

- **Hidrólise:** nesta etapa, macromoléculas são desmembradas em compostos menores por meio da ação de enzimas específicas. Os carboidratos se tornam açúcares simples; os lipídios são quebrados em ácidos graxos e glicerol; e as proteínas, em aminoácidos;

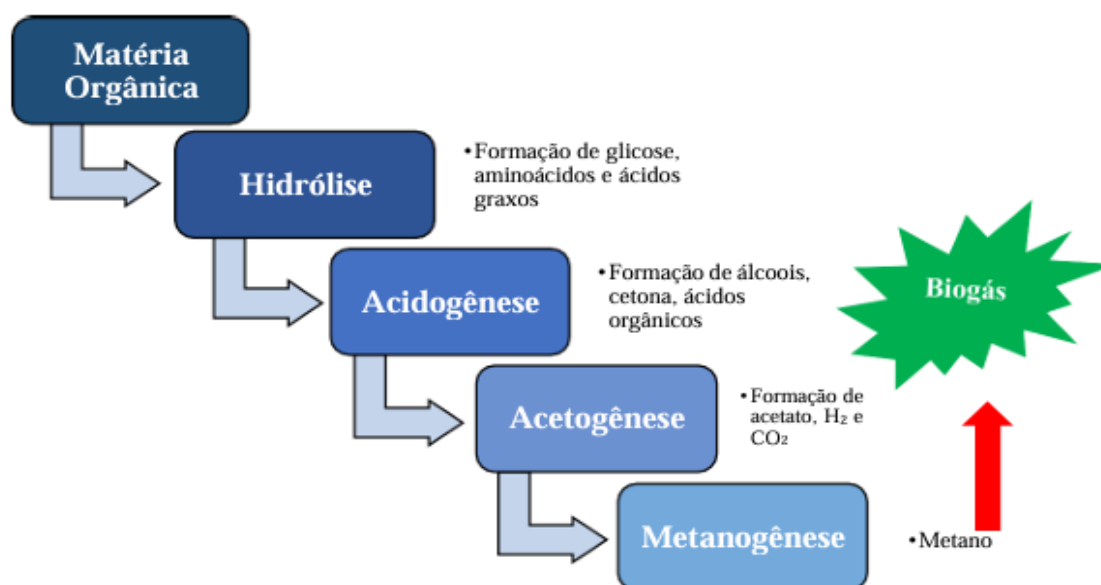
- **Acidogênese:** os produtos da hidrólise passam por fermentação realizada por bactérias acidogênicas, resultando em ácidos graxos voláteis, ácido láctico, ácido acético, álcool, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e hidrogênio ( $\text{H}_2$ );

- **Acetogênese:** nessa etapa, os compostos intermediários (como os ácidos graxos voláteis e o álcool) são convertidos em acetato,  $\text{CO}_2$  e hidrogênio, graças à ação de micro-organismos chamados acetogênicos;

- **Metanogênese:** finalmente, ocorre a conversão do acetato, hidrogênio e  $\text{CO}_2$  em metano ( $\text{CH}_4$ ) e  $\text{CO}_2$ , formando o biogás.

As principais transformações bioquímicas que ocorrem durante o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica, estão na figura 9.

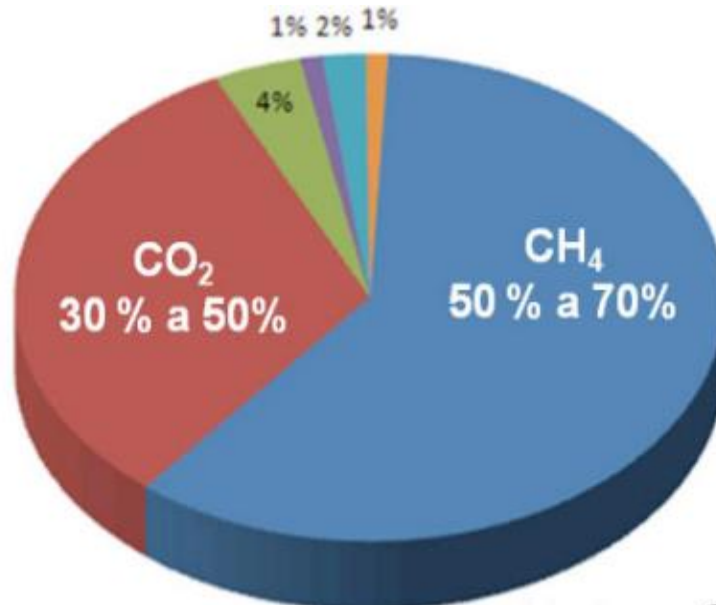
**Figura 9** - Esquema das etapas de produção do biogás por digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Bitton (2005).

O biogás é formado pelos gases a seguir, metano (50 a 70%), CO<sub>2</sub> (30 a 50%), nitrogênio (4%), hidrogênio (1%), sulfato de hidrogênio (gás sulfídrico 2%, oxigênio 1%).

**Figura 10** - Formação de gases do biogás.



Fonte: ECO ENERGIA(2025).

## 2.3. Aplicações do Biogás

### 2.3.1. Biogás como fonte de energia elétrica e térmica

O biogás, resultante da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, possui elevado potencial de aplicação como fonte energética renovável. Sua composição, rica em metano (CH<sub>4</sub>), permite a conversão direta em energia elétrica e térmica, possibilitando sua utilização em diversos setores, tanto no meio urbano quanto no rural.

A conversão do biogás em energia elétrica é comumente realizada por meio de geradores acoplados a motogeradores a gás. Essa forma de aproveitamento permite o fornecimento de energia para instalações industriais, propriedades rurais, unidades de tratamento de resíduos e até comunidades isoladas, reduzindo a dependência de fontes fósseis e da rede elétrica convencional. Já a energia térmica, oriunda da queima controlada do biogás, pode ser aproveitada no aquecimento de água, secagem de grãos, climatização de ambientes ou em processos industriais que demandem calor.

No Estado de Alagoas, esse potencial ganha destaque por meio da atuação de empresas especializadas na gestão de resíduos, como elas que atuam diretamente na coleta, transporte e tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais. A destinação adequada desses resíduos permite a viabilização de sistemas de biodigestão, nos quais o biogás gerado pode ser direcionado à produção de energia elétrica e térmica, agregando valor econômico, social e ambiental.

Segundo Santos (2022), o aproveitamento energético do biogás está diretamente ligado às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU. Dentre os principais objetivos associados, destacam-se:

- ODS 7 – Garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável;
- ODS 12 – Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
- ODS 13 – Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos;
- ODS 6 e 11 – Que envolvem saneamento ambiental e cidades sustentáveis.

"Após a geração do biogás, a transformação em energia mecânica por meio de uma combustão controlada acontece em um biodigestor. Semelhante com o que ocorre em termelétricas, essa energia atua em um gerador, que a converte em energia elétrica. Podendo ser utilizada para a redução na conta de energia elétrica do produtor, como também para a revenda de seu excesso para a companhia de energia local." (EMASJR,2022).

Portanto, a aplicação do biogás como fonte de energia elétrica e térmica representa não apenas uma solução ambientalmente correta, mas também uma oportunidade de negócio alinhada com os princípios da sustentabilidade, podendo transformar o cenário energético de Alagoas e promover maior autonomia energética regional. A (figura 9) abaixo, mostra o processamento destes gases, transforma-os em energia térmica, elétrica e combustível veicular.

**Figura 11 - Do lixo a geração de energia**



Fonte: Energia Cooperativa,2021.

Segundo Abanades(2021), para melhorar a qualidade do biogás, são empregadas tecnologias de purificação que removem contaminantes, aumentando o PCI e tornando-o mais adequado para aplicações energéticas eficientes. A eficiência dos sistemas que utilizam biogás varia conforme a tecnologia empregada. Sistemas de cogeração podem alcançar eficiências energéticas entre 18% e 90%, dependendo das condições operacionais e do tipo de equipamento utilizado.

### **2.3.2. Produção de biometano e uso veicular**

O biometano é um combustível renovável na forma gasosa, produzido por meio do tratamento e purificação do biogás.

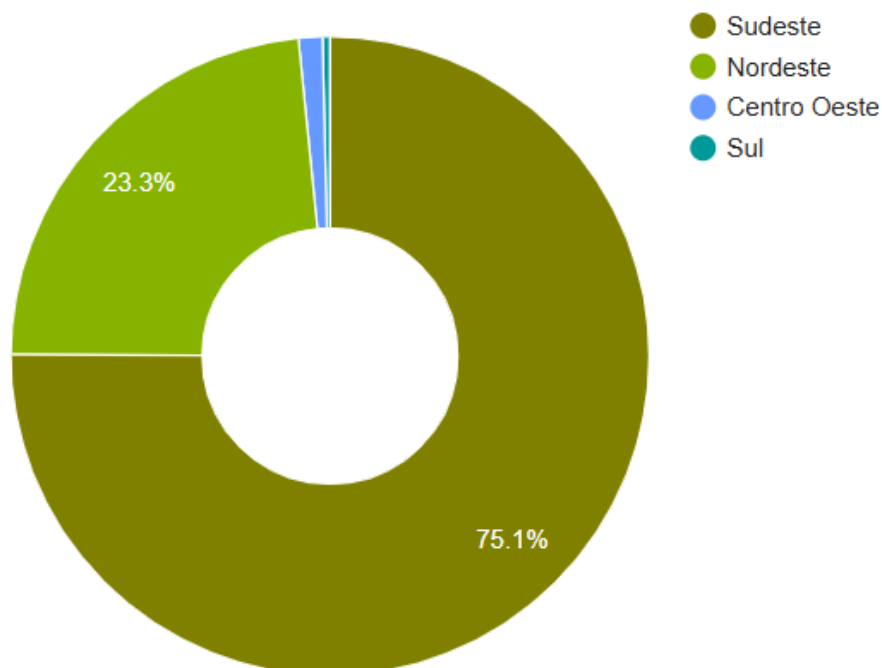
O biometano é obtido a partir da purificação do biogás, um composto gasoso gerado pela decomposição anaeróbica (sem a presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. Estes resíduos orgânicos podem vir de lixo, esgoto urbano, agricultura, pecuária, suinocultura e gado leiteiro. O biogás tem em sua composição principalmente a presença do metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), variando entre 50 a 70% do total, e, em menores quantidades, aparecem o gás sulfídrico ((H<sub>2</sub>S), a umidade ((H<sub>2</sub>O) e outros gases, como o nitrogênio (N<sub>2</sub>), (Orizon,2023).

O estado de Alagoas possui elevado potencial para a produção de biometano, considerando que já apresenta um significativo desenvolvimento na geração de matérias-primas essenciais à sua obtenção, por meio dos setores agropecuário, agrossilvopastoril, além da gestão de resíduos sólidos e líquidos.

Segundo Energia e Biogás(2025), o biometano, um biocombustível derivado do biogás, surge como alternativa viável ao diesel para frotas de veículos pesados, reduzindo em até 85% as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e podendo atender até 44% da demanda nacional. Além de ambientalmente vantajoso, é também mais econômico. Se aproveitado integralmente, o biometano poderia suprir quase 25% da frota nacional.

Sua substituição ao diesel, que é importado e altamente poluente, traria benefícios como aumento da arrecadação governamental, geração de empregos, melhora da qualidade do ar, redução nos gastos com saúde e destinação correta de resíduos. O biometano possui pegada de carbono negativa, estabilidade de preços e competitividade frente ao diesel, sendo visto como uma fonte de energia limpa e sustentável.

**Figura 12** - Produção Biometano por Região.



Fonte: Energia e Biogás (2025).

O Brasil tem avançado na construção de plantas de biometano e naquelas que aguardam autorização regulatória, demonstrando o crescimento dessa alternativa sustentável na matriz energética. As informações, divididas por estado, indicam o potencial de produção diário dessas plantas e reforçam a contribuição do biometano para o abastecimento energético, a redução das emissões e o desenvolvimento sustentável do país.

Com a expansão da produção de biometano no Brasil, o estado de Alagoas também se destaca. No município de Penedo, há uma planta com capacidade de produção de 60.000 Nm<sup>3</sup>/dia, evidenciando o potencial regional para integrar a matriz energética sustentável do país. Esse dado reforça o papel crescente do Nordeste e, em particular, de Alagoas, na geração de biocombustíveis limpos, contribuindo para a redução das emissões e a diversificação das fontes energéticas (Biogás e Energia, 2025).

O Governo Federal instituiu o Programa Nacional Metano Zero por meio da Portaria MMA nº 71. O biometano, um combustível renovável, é uma alternativa energética estratégica para a transição da matriz, podendo substituir combustíveis fósseis como a gasolina, o diesel e o gás natural, promovendo, assim, a descarbonização da matriz energética nacional.

De acordo com Lima (2022), no Art.3º, os objetivos são do Programa Metano Zero são:

- 1) A redução das emissões de metano;
- 2) O uso sustentável de biogás e o biometano como fontes renováveis de energia e combustível;
- 3) Fomentar acordos setoriais visando ao uso sustentável de biogás e o biometano e à redução das emissões de metano.

Dessa forma, estímulos são fundamentais para que o país mantenha o crescimento contínuo na geração de energia por meio do aproveitamento do biogás, contribuindo, dessa forma, para a conservação ambiental e a ampliação da diversidade em sua matriz energética.

Segundo Kenz (2022), além dos gases constituintes, o biogás também contém vapor d'água (umidade) em sua composição, apresentando concentrações médias em torno de 6% a uma temperatura de 40 °C.

Essa umidade pode representar um entrave operacional caso não seja devidamente eliminada, uma vez que o acúmulo de água nas tubulações pode ocasionar problemas como corrosão ou, em temperaturas mais baixas, obstruções devido ao congelamento.

Conforme destacado por Kenz (2022), os métodos contemporâneos de tratamento e purificação do biogás baseiam-se nas seguintes diretrizes:KENS;

- 1) O ajuste do poder calorífico do biogás;
- 2) A remoção de contaminantes que comprometem sua qualidade;
- 3) A purificação do biogás para remoção de impurezas e compostos indesejáveis;
- 4) A concentração do biometano, viabilizando sua inserção em redes de distribuição e transporte.

### **2.3.3. Impactos ambientais e econômicos do uso de biogás**

A adoção de fontes energéticas renováveis constitui uma medida essencial na mitigação das emissões de gases de efeito estufa responsáveis pelas alterações climáticas globais. Contudo, mesmo as matrizes mais sustentáveis podem ocasionar determinados impactos ambientais.

Percebe-se que a utilização do biogás contribui de maneira significativa para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Ao empregar essa fonte energética em substituição aos combustíveis fósseis, observa-se uma redução substancial na liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) na atmosfera, dois dos principais gases responsáveis pelo aquecimento global. Em 2021, as plantas de biogás no Brasil atingiram uma produção de 2,35 bilhões de Nm<sup>3</sup>, o que representa um aumento de 10% em relação ao ano anterior, indicando um avanço na adoção dessa tecnologia (GNPW, 2024).

Segundo CNT-NEWS (2025), outro ponto relevante à proteção da biodiversidade. Iniciativas baseadas na produção de biogás frequentemente

incentivam práticas agropecuárias mais sustentáveis, diminuindo a dependência de insumos químicos sintéticos e, assim, reduzindo os impactos adversos sobre os ecossistemas naturais. Dessa forma, ao incorporar o biogás em estratégias de gestão ambiental, promove-se não apenas a recuperação de áreas degradadas, mas também a preservação dos habitats de diversas espécies afetadas pela ação humana. Em síntese, o biogás se apresenta como uma solução energética alternativa e estratégica para o equilíbrio e a sustentabilidade ambiental futura.

Além disso, nota-se que o biogás favorece o aproveitamento de resíduos orgânicos que, de outra forma, seriam descartados em aterros sanitários. Essa prática contribui para a redução da poluição do solo e das águas subterrâneas, bem como para o controle de odores e da proliferação de vetores de doenças. Dessa forma, reconhece-se que a produção de biogás está alinhada aos princípios da economia circular, na qual resíduos são transformados em recursos úteis e energeticamente valiosos (GNPW, 2024).

Segundo GNPW (2024), sob a perspectiva econômica, o aproveitamento do biogás apresenta múltiplos benefícios para o setor industrial. A substituição integral ou parcial de fontes energéticas convencionais pelo biogás pode proporcionar expressiva redução nos custos operacionais. Adicionalmente, há a possibilidade de obtenção de receitas complementares por meio da comercialização do excedente energético ou de créditos de carbono. Um exemplo desse potencial é o financiamento de R\$ 80 milhões aprovado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para a implantação de uma unidade de produção de biometano e geração elétrica a partir de resíduos da cana-de-açúcar.

O desenvolvimento do setor é impulsionado também por incentivos fiscais e políticas públicas específicas. Iniciativas inovadoras, como as conduzidas pela empresa Alagoas Ambiental, promovem a sustentabilidade ambiental, ao mesmo tempo em que fomentam a geração de empregos e o crescimento econômico regional.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos para promover a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável. São organizados em 17 metas principais interligadas, conforme mostra a (Figura 13), abrangendo diversas áreas sociais, econômicas e ambientais.

Figura 13 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>

Segundo LINS (2022), os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estão distribuídos entre diversos segmentos da sociedade, com o intuito de promover um atendimento abrangente às necessidades da população. Todos os objetivos possuem relevância, destacando-se entre eles: a eliminação da pobreza e da fome; a promoção da saúde e qualidade de vida; o acesso à água potável e ao saneamento; o uso de energia limpa; a sustentabilidade ambiental; o consumo consciente; o enfrentamento das mudanças climáticas; e a promoção da paz e da justiça social.

Entre 2011 e 2020, o crescimento populacional no Brasil foi de cerca de 10%, acompanhado pelo aumento do consumo de energia e da geração de resíduos. Segundo Balbueno et al. (2021), fatores como industrialização, consumo excessivo e falta de consciência ambiental contribuem para esse cenário, reforçando a importância de práticas sustentáveis.

Então o Biogás como Instrumento para os ODS, existem diversas alternativas para reduzir os impactos ambientais, tanto em áreas urbanas quanto rurais. A ampliação do saneamento básico e a troca de insumos por opções menos poluentes já são consideradas estratégias eficientes nesse enfrentamento.

Os aportes em infraestrutura sanitária englobam ações como a coleta e separação de resíduos, tratamento de esgoto, oferta de água potável e manejo

adequado das águas da chuva. A criação e aplicação de políticas públicas contribuem para melhorar a qualidade de vida, especialmente por meio de normas que incentivam ou exigem a destinação correta de resíduos sólidos e líquidos.

Neste cenário, a digestão anaeróbia surge como uma solução viável para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, permitindo tanto o tratamento desses materiais quanto a geração de biogás, que pode ser utilizado como fonte energética renovável.

Segundo Lins (2022), a produção e utilização do biogás para fins energéticos configuram-se como alternativa viável e democrática, pois existem biodigestores de diferentes portes e custos, desde os sistemas industriais mais robustos até modelos simplificados construídos com materiais recicláveis. Essa diversidade tecnológica amplia o acesso da população a fontes renováveis de energia e favorece o desenvolvimento sustentável em escala local.

Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável procura atender às necessidades humanas de forma equilibrada, sem comprometer os recursos naturais. O crescimento populacional aliado ao avanço tecnológico tem elevado a demanda energética nas últimas décadas, tornando as fontes renováveis ainda mais relevantes para qualquer país, independentemente do seu nível de desenvolvimento (Lins, 2022).

De acordo com Lins (2022), ao relacionar o aproveitamento dos resíduos orgânicos, a produção e o uso do biogás e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), é possível identificar ao menos cinco objetivos que podem ser atribuídos e relacionados para atendimento, conforme a ONU (2021). Dessa forma, o biogás consolida-se como ferramenta estratégica para a promoção de energia limpa, geração de renda, inclusão social e mitigação dos impactos ambientais.

- ODS 6 – Água potável e saneamento: Tem como meta assegurar o acesso universal e seguro à água e aos serviços de saneamento. A digestão anaeróbia surge como solução eficaz no tratamento de águas residuais, ao reduzir a carga orgânica e garantir o descarte dentro dos padrões legais, beneficiando áreas urbanas e rurais com melhores condições sanitárias;

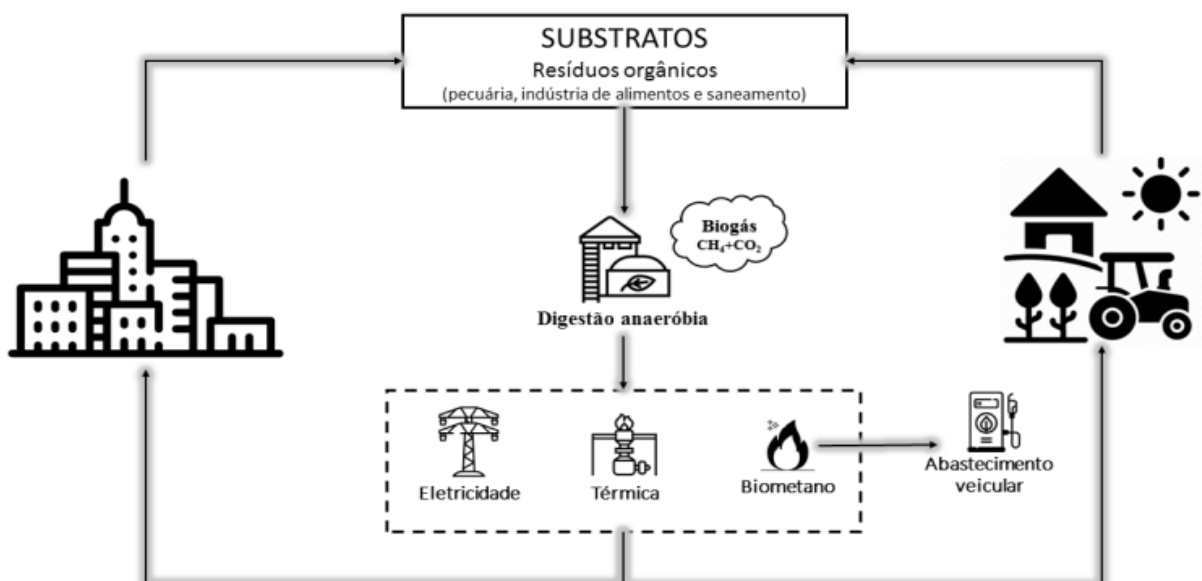
- ODS 7 – Energia limpa e acessível: Visa garantir energia acessível, segura, renovável e eficiente. O biogás, produzido pela digestão anaeróbia, se

destaca como uma alternativa energética limpa e estável, já incorporada à matriz energética nacional;

- ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis: Busca promover centros urbanos seguros, inclusivos e sustentáveis. A digestão anaeróbia contribui ao tratar resíduos localmente, possibilitando a geração de energia e biofertilizante, o que pode se transformar em renda para comunidades envolvidas;
- ODS 12 – Consumo e produção responsáveis: Incentiva práticas sustentáveis, como a gestão adequada de resíduos e a redução da poluição. O biogás contribui ao substituir combustíveis fósseis e reduzir o volume de resíduos descartados, promovendo reaproveitamento e eficiência energética;
- ODS 13 – Ação contra a mudança do clima: Foca em medidas urgentes contra as alterações climáticas. A utilização do biogás como fonte de energia (elétrica, térmica ou veicular) e a digestão anaeróbia auxiliam na mitigação das emissões de gases do efeito estufa, como o CO<sub>2</sub> equivalente.

De forma geral, a produção de biogás, aliada ao aproveitamento de resíduos orgânicos, a sua não disposição no meio ambiente e a possibilidade de produzir e alcançar energia e renda para a população fazem parte dos objetivos a serem alcançados, conforme Figura 14. (SciELO,2022).

**Figura 14** - Produção de biogás e geração de energia, contribuindo para a integração rural e urbana associada aos ODS 7.



Fonte: Lins et al(2022).

De acordo com Lins (2022), a produção de biogás, articulada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribui com:

- 1) combate à pobreza (ODS 1);
- 2) maior eficiência e rentabilidade na agricultura, reduzindo despesas dos produtores (ODS 2);
- 3) promoção da saúde pública, ao reduzir enfermidades associadas ao descarte inadequado de resíduos (ODS 3);
- 4) incentivo à educação equitativa, pois o acesso à energia contribui para a melhoria da qualidade de vida e da educação (ODS 4);
- 5) estímulo ao emprego digno e à economia local sustentável (ODS 8);
- 6) valorização da indústria e adoção de práticas ambientalmente responsáveis (ODS 9);
- 7) diminuição das desigualdades sociais, já que o biogás pode ser aproveitado em diferentes contextos (ODS 10);
- 8) proteção da biodiversidade aquática e terrestre, por meio do tratamento correto dos resíduos (ODS 14 e 15).

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho usa como base a pesquisa exploratória, com abordagem qualitativa, visando aprofundar a compreensão sobre o potencial de geração de biogás no estado de Alagoas e suas principais formas de aplicação.

A pesquisa exploratória foi escolhida por ser adequada à investigação de um tema que ainda apresenta muitas lacunas e possibilidades de análise. Conforme D'Angelo (2022), esse tipo de pesquisa permite uma maior flexibilidade, adaptando-se à descoberta de novos dados ou interpretações ao longo do processo.

A abordagem adotada foi qualitativa, pois permite analisar e interpretar informações não numéricas, buscando compreender os aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos envolvidos na geração e uso do biogás. Segundo Calado (2021), os dados qualitativos são fundamentais para obter uma visão mais ampla e detalhada do objeto de estudo.

A coleta de dados foi realizada por meio de revisão bibliográfica, com base em fontes confiáveis como livros técnicos, artigos científicos, sites de instituições públicas e trabalhos acadêmicos relacionados. Essa etapa foi essencial para embasar os cálculos, estimativas e análises desenvolvidas ao longo do trabalho.

Como recurso metodológico adicional, foi elaborado um estudo de caso hipotético, baseado em dados reais de propriedades rurais localizadas no estado de Alagoas. Este estudo tem o objetivo de ilustrar a viabilidade técnica da produção de biogás em pequenas e médias unidades, a partir de resíduos orgânicos como dejetos de animais, restos de culturas agrícolas e resíduos agroindustriais.

Os cálculos de geração de biogás foram realizados com base em dados médios extraídos da literatura, considerando parâmetros como volume de resíduos, eficiência de biodigestores e poder calorífico do biogás. A partir desses dados, foram estimadas a produção energética potencial, os possíveis usos do biogás (geração elétrica, térmica ou combustível veicular), além dos impactos econômicos e ambientais esperados.

Essa metodologia permitiu desenvolver uma análise consistente sobre o tema, contribuindo para a valorização do biogás como uma alternativa energética sustentável para o estado de Alagoas.

### **3.1. Delineamento da pesquisa**

#### **3.2. Levantamento de dados e fontes de informações**

A análise das fontes foi realizada de forma a identificar as principais matérias-primas disponíveis em Alagoas, como os resíduos agroindustriais, pecuários e urbanos, que são apropriados para a produção de biogás. Com base em Silva et al. (2012), a relevância dos subprodutos da cana-de-açúcar, como o bagaço e a vinhaça, foi destacada devido à sua abundância e eficiência para a geração de biogás. O estudo de caso no aterro sanitário da bacia leiteira apontou a possibilidade de aproveitamento de resíduos sólidos para gerar biogás, evidenciando o potencial ambiental e econômico da prática.

Fontes como o projeto da Celpe também foram analisadas indiretamente para compreender como experiências práticas podem ser adaptadas para Alagoas. Essas experiências ajudaram a entender as estratégias necessárias para superar obstáculos, como a falta de infraestrutura e políticas de incentivo.

#### **3.3 Análise dos dados**

- **Identificação de fontes de biomassa no estado de Alagoas:**

No Estado de Alagoas, a produção de biogás pode ser amplamente beneficiada pela disponibilidade de diversas matérias-primas, devido às suas atividades econômicas predominantes, como a agroindústria e a pecuária, além da geração de resíduos urbanos e agrícolas. O clima tropical e a forte presença do setor agroindustrial criam um ambiente propício para o aproveitamento de resíduos orgânicos. Abaixo, temos as principais matérias-primas de Alagoas para o biogás;

- **Matérias- primas disponíveis em Alagoas para produção de biogás;**

Para o aproveitamento energético por meio da digestão anaeróbia, diversas matérias-primas estão disponíveis no estado de Alagoas. No estado de Alagoas, foi possível identificar uma ampla variedade de matérias-primas com potencial para a produção de biogás, provenientes de diferentes setores produtivos e residenciais.

Esses resíduos, muitas vezes descartados sem o devido tratamento, podem ser reaproveitados como fonte energética alternativa e sustentável.

Entre os resíduos agroindustriais, destacam-se o bagaço da cana-de-açúcar, a vinhaça e os subprodutos de frutas, como cascas e bagaços de laranja. Esses materiais são gerados em grande volume devido à expressiva produção agrícola do estado, principalmente da cana-de-açúcar, sendo considerados insumos altamente disponíveis e energeticamente viáveis para biodigestores.

No setor pecuário, o esterco de gado e o esterco de aves representam fontes significativas de biomassa orgânica. A presença de pequenas, médias e grandes propriedades rurais em Alagoas garante o fornecimento constante desse tipo de resíduo, que, quando tratado de forma adequada, contribui para a produção de biogás e ainda reduz a poluição do solo e da água.

Os resíduos urbanos e domésticos também oferecem oportunidades relevantes. Os resíduos sólidos urbanos e o lodo de esgoto, provenientes de áreas urbanas, possuem alto potencial energético quando processados em sistemas adequados de biodigestão. A valorização desses resíduos pode representar um avanço na gestão pública e na redução da poluição ambiental nas cidades.

Já os resíduos agrícolas, como a palha de milho, as cascas de coco e os restos da colheita de vegetais, são amplamente encontrados nas zonas rurais do estado. Além de serem subutilizados, esses materiais têm características que favorecem a digestão anaeróbia, podendo contribuir significativamente para a geração de energia no meio rural.

Por fim, os resíduos provenientes do processamento de alimentos, como sobras de frutas e subprodutos gerados por fábricas, também se apresentam como matérias-primas estratégicas. Quando bem aproveitados, esses resíduos fortalecem o conceito de economia circular e diminuem a carga poluente descartada no meio ambiente.

Dessa forma, a análise dos dados demonstra que Alagoas possui um potencial expressivo para o desenvolvimento de projetos de geração de biogás. A diversidade e disponibilidade de matérias-primas permitem a implementação de soluções tecnológicas sustentáveis, voltadas à produção de energia renovável e ao reaproveitamento eficiente de resíduos orgânicos.

Essas matérias-primas representam uma oportunidade significativa para Alagoas desenvolver e expandir a produção de biogás, contribuindo para a diversificação da matriz energética e o aproveitamento sustentável de resíduos locais.

- **Estimativas do potencial de geração de biogás em Alagoas:**

- 1) Volume de biogás (m<sup>3</sup>/ano);

Para resíduos animais (como bovinos, suínos e cama de frango), a fórmula usada é:

$$\text{Biogás anual (m}^3\text{)} = \text{N}^{\circ} \text{ de animais} \times \text{Produção diária de biogás (m}^3\text{/animal)} \times 365$$

Para resíduos industriais líquidos, como vinhaça, considera-se diretamente o volume gerado e sua conversão em biogás, com base em um fator médio de produção de biogás por m<sup>3</sup> de vinhaça.

- 2) Potencial energético (KWh/ano);

Após calcular o volume de biogás, convertemos esse volume em energia:

$$\text{Energia (kWh/ano)} = \text{Volume de biogás (m}^3\text{/ano)} \times \text{Poder calorífico}$$

$$\text{Biogás (m}^3\text{/ano)} = \text{volume de vinhaça (m}^3\text{)} \times \text{fator de conversão para biogás}$$

$$\text{Energia (kWh/ano)} = \text{Biogás (m}^3\text{/ano)} \times \text{kWh/m}^3$$

Observação: O poder calorífico médio utilizado é 2 kWh/m<sup>3</sup>, típico para biogás com 60% de metano, mas neste caso usado foi 1 kWh/m<sup>3</sup> (pela proporção entre as colunas de biogás e energia). Ou seja:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de biogás} \approx 2 \text{ kWh (teórico)} \text{ ou } \approx 1 \text{ kWh (conservador/prático)}$$

Exemplo aplicado da fórmula (Bovinos):

- Quantidade: 1.200.000 animais
- Produção estimada de biogás por bovino:  
438.000.000 m<sup>3</sup> / 1.200.000 × 365 ≈ 1 m<sup>3</sup>/dia/animal

- Energia:

$$438.000.000 \text{ m}^3/\text{ano} \times 2 \text{ kWh/m}^3 = 876.000.000 \text{ kWh/ano}$$

Para estimativa sabemos que Alagoas representa uma parcela da produção do Nordeste. Como o dado total do Nordeste é  $1,42\text{E}+09 \text{ Nm}^3/\text{ano}$ , podemos:

1. Usar proporção da população ou produção agropecuária:

(exemplo: se Alagoas tem cerca de **3,5%** da população do Nordeste).

2. Então, o volume estimado de Alagoas:

$$\text{CH}_4 \text{ Alagoas (Nm}^3/\text{ano)} = 3,5\% \times 1,42 \times 10^9 = 4,97 \times 10^7 \text{ Nm}^3/\text{ano}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Alagoas (Nm}^3/\text{hora)} = 4,97 \times 10^7 / 8,760 \approx 5.675 \text{ Nm}^3/\text{hora}$$

**Tabela 2-** Produção de biogás (CH<sub>4</sub>) para o Nordeste e Alagoas.

<b>LOCAL</b>	<b>Vol.deCH<sub>4</sub> (Nm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Vol.deCH<sub>4</sub> (Nm<sup>3</sup>/hora)</b>
Nordeste	1,42E+09	1,62E+05
Alagoas (estimado)	4,97E+07	5,68E+03

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Segundo dados disponibilizados pelo IBGE(2024), EMBRAPA (2023) e CIBiogás (2023), temos o Potencial de geração de biogás a partir de resíduos agropecuários em Alagoas (Tabela 3).

1. Volume energético kWh/ano; Número de residências atendidas:

$$\text{Residências} = \frac{\text{Potencial energético (kWh/ano)}}{\text{Consumo médio anual por residência (kWh/ano)}}$$

**Tabela 3** - Potencial de geração de biogás a partir de resíduos agropecuários em Alagoas.

Resíduo agropecuário	Quantidade produzida	Potencial de biogás (m <sup>3</sup> /ano)	Potencial energético (kWh/ano)	Potencial De atendimento Residência Minha Casa Minha Vida
Bovinos	1.200.000 animais	438.000.000	876.000.000	529.572 Rrr
Suínos	150.000 animais	79.500.000	159.000.000	107.555 Rrr
Cama de frango	100.000 toneladas	6.000.000	12.000.000	8.117 Ee
Vinhaça(cana-de-açúcar)	500.000 m <sup>3</sup> de vinhaça	5.000.000	10.000.000	6.764 Rr
Total estimado	—	528.500.000	1.057.000.000	715.010 Rr

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

**Tabela 4** - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e potencial para geração de biogás no estado de Alagoas.

Componente	% m/m	Potencial para Geração de Biogás
Restos de alimentos	61%	Alto (matéria orgânica de fácil digestão)
Papel	11%	Médio (biodegradável, mas mais lento)
Plásticos	10%	Nenhum (não biodegradável)
Inertes	13%	Nulo (não fermentável)
Metais	3%	Nulo (reciclável, mas não digestível)
Vidro	2%	Nulo (inerte, não biodegradável)

Fonte: Adaptado de LEME, A. L. et al (2011).

Considerando os dados de potencial energético e composição dos RSU observados no estado (ABiogás, 2024), estima-se que mais de 70% da fração dos resíduos urbanos de Alagoas seja tecnicamente apta à geração de biogás.

A ABiogás (Associação Brasileira do Biogás) e o projeto GEF Biogás Brasil reconhecem o estado como promissor nesse setor.

O Governo de Alagoas, por meio da Sedics, tem adotado políticas públicas e regulatórias inovadoras, como o aprimoramento da Lei do Gás, que permite a integração com outras fontes energéticas.

Existe uma correlação positiva entre biogás, investimentos, redução de emissão de gases de efeito estufa e geração de empregos.

Estima-se que o setor de biogás poderia gerar até 800 mil empregos no Brasil, sendo 7 mil postos em Alagoas. Investimento de R\$ 65 milhões será realizado pela Zeg Biogás (Vibra Energia) e Cooperativa Pindorama na construção da primeira unidade industrial de biogás e biometano do estado.

A usina de biogás terá capacidade inicial de 4.000 Nm<sup>3</sup>/h, com um motor de 1.429 kW e possibilidade de expansão até 2040 (mais quatro geradores).

A matriz energética renovável de Alagoas pode ultrapassar 90% até 2025, com o uso do biometano.

“Existem demonstrações nesse sentido com empreendimentos instalados e em curso para geração de energia em aterros sanitários no estado, debatidas inclusive no Conselho Estadual de Política Energética”, pontua Bruno (2024).

- **Possíveis utilizações do biogás em Alagoas**

O biogás tem se mostrado uma alternativa energética promissora no estado de Alagoas, principalmente devido à grande disponibilidade de resíduos orgânicos provenientes da agropecuária, da agroindústria e dos resíduos sólidos urbanos. A utilização dessa fonte energética renovável não apenas contribui para a diversificação da matriz energética do estado, como também promove o reaproveitamento de materiais que, de outra forma, seriam descartados inadequadamente.

A seguir, são apresentadas as principais formas de utilização do biogás em Alagoas, bem como suas vantagens e desvantagens:

- 1) Uma das aplicações mais relevantes do biogás no contexto alagoano é a geração de energia elétrica e térmica. Por meio de usinas de cogeração, é possível produzir simultaneamente eletricidade e calor, atendendo tanto a demandas industriais quanto rurais, o que se alinha ao perfil produtivo de muitas regiões do estado (Giz, 2015).

2) Outra aplicação estratégica é a conversão do biogás em biometano, um combustível veicular renovável que, após purificação, pode substituir o gás natural em frotas adaptadas. Essa alternativa já é explorada em outras regiões do país e possui grande potencial de adaptação em Alagoas (EPOWERBAY, 2024). Com a expansão da produção de biometano no Brasil, o estado de Alagoas também se destaca. No município de Penedo, há uma planta com capacidade de produção de 60.000 Nm<sup>3</sup>/dia, evidenciando o potencial regional para integrar a matriz energética sustentável do país. Esse dado reforça o papel crescente do Nordeste e, em particular, de Alagoas, na geração de biocombustíveis limpos, contribuindo para a redução das emissões e a diversificação das fontes energéticas (BIOGÁS E ENERGIA, 2025).

3) No meio rural brasileiro, o biogás tem se destacado como uma alternativa viável e sustentável para usos domésticos. Diversos estudos evidenciam que biodigestores familiares podem produzir biogás suficiente para atividades cotidianas, como o preparo de alimentos, iluminação e aquecimento de ambientes. Essa prática contribui para a autossuficiência energética das propriedades agrícolas, substituindo combustíveis fósseis, como o gás liquefeito de petróleo (GLP), e reduzindo custos operacionais. Além disso, promove a melhoria das condições ambientais e sanitárias, gerando biofertilizantes e incentivando o desenvolvimento sustentável no campo (EMBRAPA, 2023; SALZER; BERTOLINI, 2023).

4) Além disso, o resíduo gerado durante a digestão anaeróbia pode ser aproveitado como biofertilizante, enriquecendo o solo com nutrientes essenciais e reduzindo o uso de insumos químicos nas lavouras (TOLÊDO, 2023).

Entre os principais benefícios do uso do biogás, destaca-se o fato de ele ser uma fonte de energia renovável, o que contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a diversificação da matriz energética local (Portal Solar, 2023).

Outro ponto positivo é a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que o biogás captura e utiliza o metano — um dos gases mais poluentes quando emitido diretamente na atmosfera — mitigando os impactos ambientais negativos (SUA PESQUISA, 2022).

O biogás também favorece o reaproveitamento de resíduos orgânicos, promovendo a economia circular e reduzindo os problemas relacionados ao descarte de resíduos agroindustriais e urbanos (EPOWERBAY, 2022).

Além disso, a instalação de projetos de biogás tem potencial para gerar empregos diretos e indiretos, impulsionando o desenvolvimento econômico local, principalmente nas regiões do interior (Governo de Alagoas, 2024).

## **4. DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A EXPANSÃO DO BIOGÁS EM ALAGOAS**

### **4.1. Barreiras tecnológicas e econômicas:**

A implementação de sistemas de biodigestão enfrenta entraves tecnológicos, sobretudo pela falta de conhecimento técnico especializado e de acesso a equipamentos modernos com eficiência energética adequada. Pequenos produtores rurais, por exemplo, muitas vezes não dispõem de recursos para adquirir ou manter estruturas de biodigestores.

Além disso, o alto custo inicial de instalação continua sendo uma das principais barreiras para a adoção em larga escala, especialmente quando não há incentivos fiscais ou linhas de crédito facilitadas. A ausência de padronização técnica também dificulta a replicação de projetos bem-sucedidos, limitando o avanço tecnológico em diferentes regiões do estado.

### **4.2. Infraestrutura e logística:**

A expansão da produção de biogás requer uma rede de logística eficiente para o transporte dos resíduos até as unidades de biodigestão e, posteriormente, da energia ou do biometano produzido até os centros consumidores. Em muitas áreas rurais de Alagoas, a infraestrutura viária é precária, dificultando o escoamento da produção e a integração entre os produtores e o sistema energético estadual.

Outro desafio logístico é a inexistência de gasodutos ou infraestrutura para injeção de biometano na rede de gás natural, o que limita a aplicação do biogás em larga escala como substituto do gás convencional em áreas urbanas e industriais.

### **4.3. Oportunidades de parcerias e investimentos:**

Apesar das limitações, o setor apresenta grandes oportunidades. Programas como o GEF Biogás Brasil e parcerias com instituições como a Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) têm fomentado investimentos no setor, incentivando empresas

privadas e cooperativas agroindustriais a explorarem o biogás como fonte energética estratégica.

Além disso, iniciativas públicas como a Lei do Gás de Alagoas, em constante aprimoramento, favorecem o desenvolvimento de um marco regulatório mais estável e atraente para investidores. Projetos como o da Cooperativa Pindorama e ZEG Biogás, que visam à construção de uma unidade industrial de biogás e biometano no estado, representam passos importantes rumo à consolidação do setor.

#### **4.4. Perspectivas de crescimento do setor de biogás no estado de Alagoas:**

As perspectivas para o setor de biogás em Alagoas são promissoras. Com o avanço tecnológico, a redução de custos e a ampliação das políticas públicas de incentivo à energia limpa, espera-se que a produção do biogás aumente significativamente nos próximos anos.

Estudos apontam que, com investimentos adequados, o estado poderá ampliar sua matriz energética renovável para mais de 90% até 2025, com destaque para o biometano como vetor de desenvolvimento sustentável e redução de emissões de gases de efeito estufa. A criação de postos de trabalho diretos e indiretos, especialmente em áreas rurais, e o fortalecimento da economia circular são impactos positivos esperados com a expansão do setor.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou que o estado de Alagoas possui um dos maiores potenciais do Nordeste para a geração de energia a partir do biogás, ocupando a terceira posição na região. Identificou-se que a abundância de resíduos agroindustriais, pecuários e urbanos é um diferencial estratégico que pode ser explorado tanto para a geração de energia elétrica e térmica quanto para a produção de biometano e biofertilizantes. A análise também revelou que, apesar das barreiras tecnológicas e econômicas, há um cenário favorável para o avanço do setor no estado, especialmente diante das recentes políticas públicas e investimentos direcionados à energia renovável.

A pesquisa contribui significativamente para a discussão sobre a valorização energética de resíduos orgânicos em Alagoas. Ao reunir dados técnicos, estudos de caso e experiências práticas, o trabalho reforça a importância da inclusão do biogás como alternativa viável dentro da matriz energética alagoana. Além disso, ao destacar os impactos ambientais e socioeconômicos positivos, como a redução de emissões de gases de efeito estufa e a geração de empregos, a pesquisa incentiva o planejamento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade e à economia circular.

Recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem a análise econômica da implementação de biodigestores em diferentes escalas (familiar, industrial e municipal), considerando os custos de instalação, operação e retorno financeiro. Além disso, estudos práticos sobre tecnologias de purificação de biogás e transporte de biometano são fundamentais para viabilizar o uso em regiões remotas. Também é essencial investir em programas de capacitação técnica e educação ambiental, voltados para agricultores, gestores públicos e empreendedores.

Por fim, destaca-se a necessidade de ampliação das parcerias público-privadas, de incentivos fiscais e da criação de linhas de financiamento específicas para projetos de energia renovável, com foco no biogás. Essas ações podem acelerar a transição energética do estado, tornando Alagoas uma referência nacional em sustentabilidade e inovação no uso de energias limpas.

## REFERÊNCIAS

ABANADES, Stephane; ABBASPOUR, Hossein; AHMADI, Abolfazl; DAS, Biplab; EHYAIEI, Mehdi A.; ESMAEILION, Farbod; EL HAJ ASSAD, Mamdouh; HAJILOUNEZHAD, Taher; HMIDA, Abir; ROSEN, Marc A.; SAFARI, Sadegh; SHABI, Mohammad A.; SILVEIRA, José luz. **A CONCEPTUAL REVIEW OF SUSTAINABLE ELECTRICAL POWER GENERATION FROM BIOGAS**. *Energy Science & Engineering*, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 630–655, 2022. DOI: 10.1002/ese3.1030. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ese3.1030>. Acesso em: 17 maio 2025.

ABIOGÁS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL**. São Paulo: ABiogás, 2023. Disponível em: <https://abiogas.org.br>. Acesso em: 26 de maio de 2025.

ALAGOAS AMBIENTAL. **GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS**. 2025. Disponível em: <https://www.alagoasambiental.com.br/servicos/geracao-de-energia-atraves-do-biogas/>. Acesso em: 27 maio 2025.

ALAGOAS AMBIENTAL. **INAUGURAÇÃO DA PRIMEIRA USINA DE BIOGÁS NO ESTADO DE ALAGOAS**. 2022. Disponível em: <https://www.alagoasambiental.com.br/inauguracao-da-primeira-usina-de-biogas-no-estado-de-alagoas/>. Acesso em: 16 maio 2025.

ALAGOAS. **ENERGIA RENOVÁVEL: AL É 3º MAIOR DO NORDESTE COM POTENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS**. 2024. Disponível em: <https://alagoas.al.gov.br/noticia/energia-renovavel-al-e-3-maior-do-nordeste-com-potencial-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas>. Acesso em: 12 maio 2025.

AMARAL, André Cestonaro do; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; KUNZ, Airton. **OS BIODIGESTORES**. 2019. Capítulo III. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109212/1/final9156.pdf>. Acesso em: 16 maio 2025.

BIOGÁS E ENERGIA. **DIGESTÃO ANAERÓBIA E O PAPEL DAS ENZIMAS NO PROCESSO.** 2025. Disponível em: <https://biogaseenergia.com.br/>. Acesso em: 12 maio 2025.

BIOGÁS E ENERGIA. **GOVERNO FEDERAL LANÇA O PROGRAMA NACIONAL METANO ZERO.**2022. Disponível em: <https://biogaseenergia.com.br/governo-federal-lanca-o-programa-nacional-metano-zero>. Acesso em: 20 maio 2025.

BIOGAS E ENERGIA.**A MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUZIR BIOGAS.** Disponível: <https://biogaseenergia.com.br/quais-sao-os-principais-substratos-para-producao-de-biogas>. Acesso: 15 set. 2025.

BPMONEY. **ALAGOAS É 3º MAIOR DO NORDESTE EM POTENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA A APARTIR DO BIOGÁS.** 2024. Disponível em: <https://bpmoney.com.br/noticias/alagoas-e-3o-maior-do-nordeste-em-potencial-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas/>. Acesso em: 27 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS.** Brasília: MDR, 2020. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2025.

CALADO. Andréa. **DADOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS: O QUE SÃO E COMO USÁ-LOS?**2021. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/dados-qualitativos-e-quantitativos/>. Acesso em: 26 maio 2025.

CIBIOGÁS. **CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEI–BIOGÁS.** Retrospectiva: Blog do Biogás. 2020. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog/retrospectiva-blog-do-biogas/>. Acesso em: 16 maio 2025.

CIBIOGÁS. **PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL 2022.** CIBiogás. 2023. Disponível em: [https://cibiogas.org/wpcontent/uploads/2023/12/Panorama\\_do\\_Biogs\\_no\\_Brasil\\_2022.pdf](https://cibiogas.org/wpcontent/uploads/2023/12/Panorama_do_Biogs_no_Brasil_2022.pdf). Acesso em: 15 Set. 2025.

CIBIOGÁS. **PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL 2023**. Foz do Iguaçu: Centro Internacional de Energias Renováveis.Biogás, 2023. Disponível em: [https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F54738%2F1716811508PANO RAMA\\_DO\\_BIOGS\\_2023.pdf](https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F54738%2F1716811508PANO RAMA_DO_BIOGS_2023.pdf). Acesso em: 15 set. 2025.

CNT BRASIL NEWS. **O FUTURO DO BIOGÁS: BENEFÍCIOS, APLICAÇÕES E IMPACTO AMBIENTAL POSITIVO**. 2025. Disponível em: <https://cntbrasilnews.com.br/energia-e-meio-ambiente/o-futuro-do-biogas-beneficios-aplicacoes-e-impacto-ambiental-positivo/>. Acesso em: 21 maio 2025.

D`ANGELO. Pedro. **PESQUISA EXPLORATÓRIA: O QUE É, PARA QUE SERVE E COMO FAZER**. 2025. Disponível em: <https://blog.opinionbox.com/pesquisa-exploratoria/>. Acesso em: 26 maio 2025.

DANTAS.José. **PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DA BIOMASSA DA CAMA DE FRANGO: UM ESTUDO DE CASO DE UM PROJETO PARA UM AVIÁRIO**, Pag 20, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas, Rio LARGO. 2023.

EMAS JÚNIOR. **ENTENDA OS TIPOS DE BIODIGESTOR E QUAL É O MAIS ADEQUADO PARA VOCÊ**. EMAS Jr. 2021. Disponível em: <https://emasjr.com.br/blog/entenda-os-tipos-de-biodigestor-e-qual-e-o-mais-adequado-para-voce/>. Acesso em: 16 maio 2025.

EMBRAPA. **BIOGÁS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Brasília: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149613/1/DOC-49-final-1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2025.

EMBRAPA. Prosa Rural: **BIOGÁS ENERGIA PARA AS PROPRIEDADES RURAIS**. Embrapa Agroenergia. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56895915/prosa-rural---biogas-energia-para-as-propriedades-rurais>. Acesso em: 28 maio 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **PANORAMA DE BIOMETANO**. Brasília: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>. Acesso: 28 maio 2025.

ENERGIA E BIOGÁS. **BIOMETANO**. Portal Energia e Biogás. 2025. Disponível em: <https://biogaseenergia.com.br/biometano>. Acesso em: 17 Set. 2025.

EPOWERBAY. **SAIBA MAIS SOBRE A FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL BIOGÁS**. 2024. Disponível em: <https://www.epowerbay.com/single-post/saiba-mais-sobre-a-fonte-de-energia-renov%C3%A1vel-biog%C3%A1s>. Acesso em: 28 maio 2025.

GNPW. **BIOGÁS: TRANSFORMANDO RESÍDUOS EM LUCRO NA INDÚSTRIA – BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS**. 2024. Disponível em: <https://www.gnpw.com.br/energia-renovavel/biogas-transformando-residuos-em-lucro-na-industria-beneficios-ambientais-e-economicos/#:~:text=Benef%C3%ADcios%20Ambientais%20do%20Uso%20de,s%C3%A3o%20transformados%20em%20recursos%20valiosos>. Acesso em: 21 maio 2025.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do (ed.). **FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBICA, PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS, USO E TRATAMENTO DO DIGESTATO**. 2019. Disponível: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>. Acesso em: 17 jul. 2025.

LEMOS, G. L.; CARDOSO, M. F. O.; COSTA, H. K. M. **BIOGÁS E BIOMETANO NO BRASOL: PANORAMA E PERSPECTIVAS**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, v. 63, p. 464-485, 2024. DOI: Disponível: <https://doi.org/10.5380/dma.v63i0.88929.pdf>. Acesso: 28 maio 2025.

LINS, Leonardo Pereira; FURTADO, Andréia Cristina; MITO, Jessica Yuki de Lima; PADILHA, Janine Carvalho. **O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS COMO FERRAMENTA PARA OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Interações, Campo Grande, MS, v. 23, n. 4, p. 1275-1286, out./dez. 2022. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/inter/a/ZyCPpJKCbPJknpGKYyXYv7R/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 maio 2025.

MELO, A. C. et al. ANÁLISE DA VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA BACIA LEITEIRA DE ALAGOAS. **Revista Gestão Ambiental e Sustentabilidade**.v. 9, n. 2, p. 119-134, [S.l.].2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA E BIOGÁS NO BRASIL**. Brasília, 2023. Disponível: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e-quem/setor-publico-1/mma>. Acesso em: 26 de maio 2025.

ORIZON VR. **BIOMETANO: O QUE É, AS VANTAGENS E POR QUE É CONSIDERADO A ENERGIA DO FUTURO**. Orizon VR. 2023. Disponível em: <https://orizonvr.com.br/biometano-o-que-e-as-vantagens-e-por-que-e-considerado-a-energia-do-futuro/>. Acesso em: 19 maio 2025.

ORIZON. **BIOMETANO: O QUE É, AS VANTAGENS E POR QUE É CONSIDERADO A ENERGIA DO FUTURO**. 2023. Disponível em: <https://orizonvr.com.br/biometano-o-que-e-as-vantagens-e-por-que-e-considerado-a-energia-do-futuro/>. Acesso em: 19 maio 2025.

PORTAL SOLAR. **BIOGÁS: O QUE É, COMO FUNCIONA, PARA QUE SERVE, VANTAGENS E DESVANTAGENS**. 2025. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/biogas-o-que-e-como-funciona-para-que-serve-vantagens-e-desvantagens>. Acesso em: 28 maio 2025.

PROJETO GEF Biogás Brasil. **APLICAÇÕES DO BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA BRASILEIRA SOBRE O PROJETO. GEF BIOGÁS BRASIL**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; UNIDO; GEF; CIBiogás, entre outros parceiros. Brasília: GEF Biogás Brasil, .2024. Disponível em: <https://www.gefbiogas.org.br/sobreprojeto.html>. Acesso em: 15 Set. 2025.

Salzer, E., & Bertolini, G. R. F. . Biodigestor familiar como estratégia para o saneamento rural: Uma revisão sistemática. **DESENVOLVIMENTO EM QUESTÃO**. Disponível:<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/12559/7728>. Acesso: 28 maio 2025.

SANTOS, Bruna de Lima et al. **A SUSTENTABILIDADE E A ENERGIA DO BIOGÁS NO BRASIL: CONTRIBUIÇÕES PARA OS OJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGENDA 2030.** Campo Grande, MS, v. 23, n. 1, p. 147-160, jan./abr. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/ZyCPpJKCbPJknpGKYyXYv7R/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2025.

SILVA, Carolina da Silva et al. **GERAÇÃO DE BIOGÁS A APARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM COMPARATIVO ENTRE POTENCIAL E DEMANDA NACIONAL.** CONRESOL – Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. 2021. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SILVA, J. A.; ALMEIDA, M. G.; ROCHA, R. S. **POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM APLICADA À AGROINDÚSTRIA.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 1, n. 1, p. 22-31, 2012. Acesso em: 26 de maio de 2025.

SUA PESQUISA. **BIOGÁS – VANTAGENS E DESVANTAGENS.** 2025. Disponível em: [https://www.suapesquisa.com/energia/biogas\\_vantagens\\_desvantagens.htm](https://www.suapesquisa.com/energia/biogas_vantagens_desvantagens.htm). Acesso em: 28 maio 2025.

TEIXEIRA, C. C. M. et al. **ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA/PE, ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS.** Anais do ENEGEP, RS de Outubro, 2012. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_156\\_942\\_20406.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_156_942_20406.pdf). Acesso em: 04 fev. 2025.

THIEME, Elisa et al. **CATÁLOGO DE TECNOLOGIAS E EMPRESAS DE BIOGÁS.** [S. l.]: GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 2017. Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-catalogo.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

TOLÊDO, Talles José Bernardo. **POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO A PARTIR DE ESTERCO BOVINO E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE ALAGOAS.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, 2023. Disponível: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/11027>. Acesso: 28 maio 2025.