



INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus Rio Verde

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**TECNOLOGIAS DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE
BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS**

MATHEUS MARTINS PARREIRA BORGES

**Rio Verde, GO
2025**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**TECNOLOGIAS DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE BIOGÁS EM
ATERROS SANITÁRIOS**

MATHEUS MARTINS PARREIRA BORGES

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Rio Verde – GO

Maio, 2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi

B732t MARTINS PARREIRA BORGES, MATHEUS
TECNOLOGIAS DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE
BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS / MATHEUS
MARTINS PARREIRA BORGES. RIO VERDE 2025.

34f. il.

Orientador: Prof. Dr. MARCONI BATISTA TEIXEIRA.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220074 -
Bacharelado em Engenharia Ambiental - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).

1. BIOMETANO. 2. ECONOMIA CIRCULAR. 3. ENERGIAS
RENOVÁVEIS. 4. GASES DE EFEITO ESTUFA. 5.
SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo: _____

Nome completo do autor:

Matheus Martins Parreira Borges

Matrícula:

2014102200740517

Título do trabalho:

Tecnologias de captação e tratamento de biogás em aterros sanitários

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Parte dos dados serão utilizados para publicação de artigos.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 08 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais indusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br MATHEUS MARTINS PARREIRA BORGES
Data: 01/07/2025 20:14:35-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Rio Verde, Goiás
Local

01 / 07 / 2025
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCONI BATISTA TEIXEIRA
Data: 01/07/2025 16:50:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 24/2025 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 19 dias do mês de maio de 2025, às 16:00 horas e 00 minutos, na sala 04 do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Marconi Batista Teixeira (orientador), Fernando Nobre Cunha (Membro) e Wilker Alves Morais (Membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "**Tecnologias de captação e tratamento de biogás em aterros sanitários**" do estudante **MATHEUS MARTINS PARREIRA BORGES** (Matrícula 2014102200740517) do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira
Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Fernando Nobre Cunha
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Wilker Alves Morais
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 23/05/2025 17:31:42.
- **Fernando Nobre Cunha, Fernando Nobre Cunha - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500)**, em 23/05/2025 18:20:59.
- **Wilker Alves Moraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 23/05/2025 21:15:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/05/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 710253

Código de Autenticação: 547bc4e8a6



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus, pela oportunidade de estar finalizando esse curso, por me dar sabedoria e me ajudar em todos os momentos,

Agradecer a minha família, que sempre me deu todo apoio e me incentivou do começo ao fim!

E agradecer meu orientador Marconi e Wilker pelos ensinamentos, correções que me permitiu apresentar o trabalho de conclusão da melhor forma para o meu processo de formação profissional!

RESUMO

BORGES, Matheus Martins Parreira. **Tecnologias de captação e tratamento de biogás em aterros sanitários**. 2025. 34p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2025.

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos e os impactos associados ao seu manejo inadequado reforçam a necessidade de soluções sustentáveis para a disposição final desses materiais. Entre as alternativas disponíveis, o aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários se destaca como uma estratégia capaz de integrar a gestão de resíduos à produção de energia renovável e à mitigação das mudanças climáticas. O biogás, rico em metano, possui alto potencial energético e, quando captado e tratado de forma adequada, pode gerar benefícios ambientais, econômicos e sociais relevantes. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão de literatura sobre o aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, analisando sua formação, tecnologias de captação e tratamento, formas de aproveitamento, benefícios socioambientais e os desafios e oportunidades para sua expansão no Brasil. A metodologia adotada consistiu em uma revisão narrativa da literatura, com a realização de buscas em bases de dados científicas nacionais e internacionais, como Google Scholar, Scielo, ScienceDirect, Scopus e Web of Science, além de consultas a revistas científicas especializadas e documentos de órgãos oficiais. Foram priorizadas publicações recentes, entre 2015 e 2025, complementadas por materiais normativos e técnicos relevantes para a fundamentação do estudo. Os resultados evidenciaram que o aproveitamento energético do biogás apresenta um grande potencial no Brasil, mas enfrenta limitações técnicas, legais e econômicas que dificultam sua ampla adoção. Experiências nacionais e internacionais demonstram que, com políticas públicas adequadas, incentivos financeiros e avanços tecnológicos, é possível viabilizar projetos sustentáveis de geração de energia a partir do biogás de aterros. Além da produção de energia elétrica e térmica, destaca-se a purificação do biogás para produção de biometano, ampliando suas aplicações no setor energético e de transportes. Conclui-se que o aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários representa uma oportunidade estratégica para a promoção da sustentabilidade ambiental e a transição para uma economia de baixo carbono. A expansão dessa alternativa depende de investimentos em infraestrutura, regulamentações específicas e integração com políticas públicas de gestão de resíduos e energias renováveis.

Palavras-chave: biometano, economia circular, energias renováveis, gases de efeito estufa, sustentabilidade ambiental

LISTA DE SIGLAS, ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

Siglas	Significado
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNV	Gás Natural Veicular
IEA	Agência Internacional de Energia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRENA	Agência Internacional de Energias Renováveis
LMOP	Landfill Methane Outreach Program
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
Planares	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCE	Redução Certificada de Emissões
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tipos de disposição final de resíduos sólidos urbanos	15
Quadro 2. Etapas da digestão anaeróbia no processo de formação do biogás	17
Quadro 3. Composição típica do biogás de aterros sanitários.....	17
Quadro 4. Principais contaminantes do biogás e métodos de remoção	19
Quadro 5. Benefícios socioeconômicos do aproveitamento energético do biogás	23
Quadro 6. Exemplos de aproveitamento energético de biogás em aterros sanitários no Brasil	24
Quadro 7. Experiências internacionais no aproveitamento energético do biogás.....	25
Quadro 8. Principais limitações técnicas para o aproveitamento energético do biogás.....	26
Quadro 9. Oportunidades para a expansão do aproveitamento energético do biogás.....	27
Quadro 10. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados ao aproveitamento do biogás.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e sua Gestão no Brasil.....	13
3.2 Aterros Sanitários: Funcionamento e Tipos.....	14
3.3 Formação e Composição do Biogás em Aterros.....	16
3.4 Tecnologias de Coleta e Tratamento do Biogás.....	18
3.5 Aproveitamento Energético do Biogás	20
3.6 Aspectos Ambientais e Socioeconômicos.....	22
3.7 Estudos de Caso e Experiências no Brasil e no Mundo	24
3.8 Desafios, Barreiras e Oportunidades	25
3.9 Tendências Futuras e Sustentabilidade	28
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos maiores desafios ambientais, sociais e econômicos enfrentados pelas cidades contemporâneas. Com o aumento da urbanização, do consumo e da geração de resíduos, torna-se fundamental buscar soluções que integrem práticas sustentáveis à disposição final dos resíduos, reduzindo seus impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde pública. Nesse contexto, os aterros sanitários, enquanto forma de disposição final mais segura e tecnicamente recomendada, desempenham papel central na contenção dos danos ambientais causados pelo manejo inadequado dos resíduos (MOR e RAVINDRA, 2023).

Entre as principais externalidades ambientais associadas aos aterros sanitários destaca-se a emissão de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o metano (CH_4), resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. O metano possui potencial de aquecimento global significativamente superior ao do dióxido de carbono (CO_2), agravando o problema das mudanças climáticas se não for adequadamente controlado. No entanto, o biogás gerado durante esse processo representa também uma oportunidade estratégica: quando captado e tratado de forma apropriada, o biogás pode ser convertido em energia renovável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a mitigação das emissões de GEE (ZHAO et al., 2024).

Aproveitar energeticamente o biogás proveniente de aterros sanitários oferece benefícios ambientais e econômicos consideráveis. Além da geração de energia elétrica e térmica, o biogás pode ser purificado para produção de biometano, um substituto renovável do gás natural. Essa abordagem se alinha às diretrizes internacionais de combate às mudanças climáticas e de promoção da economia circular, além de fomentar o desenvolvimento local, gerar empregos e fortalecer políticas públicas de resíduos sólidos sustentáveis (UM, 2023).

No Brasil, embora exista um grande potencial de produção e aproveitamento de biogás em aterros sanitários, a exploração dessa fonte ainda é incipiente. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) apontam que apenas uma pequena fração dos aterros sanitários do país possui sistemas de captação e utilização do biogás. Diversos fatores contribuem para esse quadro, como a falta de incentivos financeiros, as dificuldades técnicas na implantação dos sistemas, a ausência de planejamento integrado dos resíduos sólidos e a carência de regulamentações específicas que estimulem o aproveitamento energético (ABRELPE, 2025).

No cenário internacional, experiências bem-sucedidas em países como Alemanha, Estados Unidos e Suécia demonstram que o aproveitamento energético do biogás pode ser viabilizado de forma técnica e economicamente atrativa, desde que haja políticas públicas consistentes, incentivos adequados e desenvolvimento tecnológico contínuo. Essas experiências internacionais reforçam a necessidade de ações coordenadas para fomentar essa fonte renovável no Brasil, aproveitando as oportunidades que surgem a partir da crescente demanda global por soluções sustentáveis (PAVIČIĆ et al., 2022).

Diante desse contexto, torna-se imprescindível aprofundar o conhecimento sobre o potencial energético do biogás de aterros sanitários, seus benefícios, desafios e perspectivas futuras, de modo a subsidiar o desenvolvimento de políticas e práticas mais sustentáveis no setor de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Assim, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão de literatura sobre o aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, analisando sua formação, tecnologias de captação e tratamento, formas de aproveitamento, benefícios socioambientais e os desafios e oportunidades para sua expansão no Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consistiu em uma revisão de literatura narrativa, como propõe Guerra (2023), com o objetivo de reunir, analisar e discutir informações relevantes sobre o aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. A busca por material bibliográfico foi realizada contemplando fontes nacionais e internacionais.

A seleção de referências incluiu a pesquisa em bases de dados e portais científicos como Google Scholar, Scielo, ScienceDirect, Scopus, Web of Science e ResearchGate, além de consultas a artigos publicados em revistas científicas reconhecidas nas áreas de meio ambiente, energia renovável e gestão de resíduos sólidos.

Foram priorizados artigos publicados nos últimos dez anos (2015–2025), dando ênfase àqueles que apresentassem dados atualizados sobre a geração, tratamento e aproveitamento do biogás em aterros sanitários, bem como estudos de caso e análises de tendências futuras.

Além da literatura acadêmica, também foram consultados documentos técnicos, relatórios e normativas de órgãos oficiais e entidades de referência, como:

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA),
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP),
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE),
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB),
- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC),
- Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA).

As informações obtidas foram analisadas de forma crítica, buscando identificar convergências, divergências e lacunas nos conhecimentos disponíveis, com o objetivo de apresentar um panorama abrangente e atualizado da temática.

A metodologia adotada permitiu a construção de uma visão integrada sobre os aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos do aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários, possibilitando a identificação de desafios e oportunidades para a expansão dessa tecnologia no Brasil.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e sua Gestão no Brasil

A crescente urbanização, aliada ao consumo elevado e à falta de políticas efetivas de minimização de resíduos, tem impulsionado o aumento significativo da geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil. Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram geradas aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de RSU no país em 2021, o que corresponde a uma média de 389 kg por habitante ao ano. Esse volume expressivo representa um desafio para os municípios, sobretudo no que tange à coleta, transporte, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (ABRELPE, 2025).

Ainda segundo a ABRELPE (2025), a composição dos RSU brasileiros é majoritariamente orgânica, representando cerca de 46% do total, seguida por recicláveis secos como plásticos (16%), papel/papelão (10%) e metais (2%). Esse perfil indica um grande potencial para aproveitamento energético, especialmente por meio da digestão anaeróbia da

fração orgânica, que pode gerar biogás com elevado teor de metano (CH₄), além de reduzir a carga de resíduos destinados a aterros sanitários.

A gestão dos RSU no Brasil é regida principalmente pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12.305/2010 –, que estabelece princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos. A PNRS introduziu diretrizes importantes, como a hierarquia da gestão de resíduos, que prioriza a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada, além da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010).

Outro marco relevante é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído pelo Decreto nº 11.043/2022, que estabelece metas e diretrizes para o período de 2022 a 2040, buscando a universalização da coleta e o fim dos lixões, além de promover a recuperação energética e o fortalecimento da logística reversa (BRASIL, 2022).

No entanto, mesmo com avanços legislativos, a implementação da PNRS enfrenta diversos entraves. Estima-se que cerca de 40% dos resíduos sólidos urbanos ainda sejam destinados de forma inadequada, sendo lançados em lixões ou aterros controlados, que não possuem infraestrutura para o tratamento de efluentes líquidos (chorume) e gasosos (biogás), comprometendo a saúde pública e o meio ambiente (ABRELPE, 2025).

Em contrapartida, os modelos de gestão bem-sucedidos adotam estratégias integradas que envolvem coleta seletiva, inclusão de catadores de materiais recicláveis, compostagem da fração orgânica e aproveitamento energético em aterros sanitários com sistemas de captação e aproveitamento de biogás. Os Consórcios Intermunicipais têm se destacado como alternativa viável para municípios de pequeno e médio porte, possibilitando a economia de escala e a gestão compartilhada de infraestruturas (ALVATEZ, 2020).

Dessa forma, a gestão de RSU no Brasil se encontra em um momento de transição, no qual os desafios operacionais e financeiros coexistem com oportunidades tecnológicas e normativas. O aproveitamento energético do biogás surge como uma estratégia alinhada à sustentabilidade, contribuindo para o cumprimento de metas climáticas e para a promoção da economia circular.

3.2 Aterros Sanitários: Funcionamento e Tipos

Os aterros sanitários constituem a principal forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Diferentemente de lixões e aterros controlados, os aterros sanitários são obras de engenharia planejadas para a disposição de resíduos no solo de forma segura, minimizando os impactos ambientais e à saúde pública por meio do controle de líquidos percolados (chorume), gases gerados (biogás) e vetores (NANDA e BERRUTI, 2021).

O funcionamento de um aterro sanitário envolve a compactação e cobertura diária dos resíduos em células específicas, com o objetivo de reduzir o volume ocupado, evitar a proliferação de vetores (como insetos e roedores), controlar odores e minimizar os riscos de incêndios. A estrutura básica de um aterro sanitário inclui sistemas de (OSIPOV et al., 2022):

- Drenagem e tratamento de chorume, que impedem a contaminação do solo e das águas subterrâneas;
- Captação e queima ou aproveitamento do biogás, subproduto da decomposição anaeróbia da matéria orgânica;
- Monitoramento ambiental, que acompanha a qualidade do solo, da água e do ar ao redor da instalação.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a norma NBR 13896:1997 (ABNT, 1997) estabelece os critérios para o projeto e operação de aterros sanitários de pequeno porte, que são frequentemente utilizados por municípios com baixa geração de resíduos.

Já a NBR 8419:1992 (ABNT, 1992) trata da terminologia e diretrizes para implantação desses sistemas. Os aterros podem ser classificados em lixões, aterros controlados e sanitários.

Quadro 1. Tipos de disposição final de resíduos sólidos urbanos

Tipo	Descrição
Lixões	Áreas sem qualquer controle ambiental, onde os resíduos são simplesmente despejados a céu aberto, causando sérios danos ao meio ambiente e à saúde pública.
Aterros Controlados	Forma intermediária de disposição, com alguma compactação e cobertura dos resíduos, mas sem sistemas adequados de drenagem de chorume e captação de biogás.

Aterros Sanitários	Estruturas com controle técnico e ambiental, projetadas conforme normas técnicas, sendo as únicas recomendadas pela legislação vigente para disposição final de resíduos.
--------------------	---

Fonte: adaptado ANBT (1992)

A substituição dos lixões por aterros sanitários é uma meta estabelecida pela PNRS, com prazos já postergados diversas vezes. Apesar disso, dados da ABRELPE (2025) indicam que cerca de 3 mil municípios brasileiros ainda utilizam lixões ou aterros inadequados. Este cenário evidencia a urgência de políticas públicas eficazes, financiamento adequado e capacitação técnica para os gestores municipais.

No contexto do aproveitamento energético, apenas os aterros sanitários com infraestrutura para captação de biogás oferecem condições viáveis para a geração de energia elétrica ou térmica. Esse potencial é ainda pouco explorado no Brasil, embora países como Alemanha, Suécia e Estados Unidos demonstrem que o uso do biogás em aterros pode representar uma importante fonte de energia renovável e uma estratégia complementar na mitigação das mudanças climáticas (ROCHA-MENESES et al., 2023).

3.3 Formação e Composição do Biogás em Aterros

O biogás gerado em aterros sanitários é resultado da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos. Esse processo ocorre naturalmente em ambientes com ausência de oxigênio, sendo conduzido por diferentes grupos de microrganismos ao longo de fases distintas de degradação. A compreensão das etapas e da composição do biogás é essencial para o seu adequado aproveitamento energético e controle ambiental (PACHECO et al., 2022).

Etapas da Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia nos aterros sanitários é um processo bioquímico dividido em quatro fases principais (Quadro 2), nas quais são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (KAMPERIDOU e TERZOPOULOU, 2021). Essas etapas são sensíveis a diversos fatores, como temperatura, umidade, pH, composição dos resíduos e tempo de residência, o que influencia diretamente na quantidade e qualidade do biogás gerado.

Quadro 2. Etapas da digestão anaeróbia no processo de formação do biogás

Etapa	Descrição
Hidrólise	Grandes moléculas orgânicas (carboidratos, proteínas e lipídios) são quebradas em compostos menores, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos.
Acidogênese	Os produtos da hidrólise são convertidos em ácidos orgânicos voláteis, álcool, hidrogênio e dióxido de carbono.
Acetogênese	Os ácidos graxos e álcoois são convertidos em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono (CO ₂).
Metanogênese	Fase final, na qual microrganismos metanogênicos transformam o ácido acético e o hidrogênio em metano (CH ₄) e dióxido de carbono (CO ₂).

Fonte: Adaptado de KAMPERIDOU e TERZOPOULOU (2021)

Composição do Biogás

Segundo Un (2023), o biogás proveniente de aterros sanitários é uma mistura gasosa composta majoritariamente por metano, dióxido de carbono e outros gases (Quadro 3). A presença de contaminantes como H₂S, siloxanos e halogenados exige que o biogás seja tratado antes de seu uso energético, sob risco de corrosão de equipamentos e impactos ambientais negativos.

Quadro 3. Composição típica do biogás de aterros sanitários

Componente	Descrição
Metano (CH ₄)	Entre 45% e 60%, sendo o componente energético com maior valor calorífico.
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Entre 30% e 50%, sem valor energético, mas importante para o balanço ambiental.
Outros gases traços	Incluem: Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S) — altamente corrosivo e tóxico; Nitrogênio (N ₂), Oxigênio (O ₂), Vapor d'água (H ₂ O), Amônia (NH ₃) e Compostos Orgânicos Voláteis (COVs).

Fonte: Adaptado de Un (2023)

Fatores que Influenciam a Produção de Biogás

A eficiência da produção de biogás em aterros depende de variáveis operacionais e ambientais (PRZYDATEK et al, 2024), como:

- Tipo e teor de matéria orgânica nos resíduos;
- Compactação dos resíduos e controle da umidade;
- Temperatura interna do aterro (ótimo entre 30 °C e 40 °C);
- Tempo de residência dos resíduos (pico de produção geralmente entre o 6º e o 12º ano após a disposição).

De acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), o potencial de geração de metano em aterros sanitários é considerável e deve ser estimado com base em metodologias que considerem a decomposição da fração biodegradável dos resíduos. A captura e o aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários representam uma alternativa duplamente vantajosa: reduz emissões de gases de efeito estufa com alto potencial de aquecimento global (como o metano) e gera energia renovável. Assim, a valorização do biogás integra estratégias de mitigação climática e desenvolvimento sustentável (IPCC, 2025).

3.4 Tecnologias de Coleta e Tratamento do Biogás

A implantação de sistemas eficientes de coleta e tratamento do biogás em aterros sanitários é fundamental para viabilizar seu aproveitamento energético, controlar emissões de gases de efeito estufa e garantir a segurança operacional do aterro. O biogás, quando não controlado, pode se acumular e provocar explosões, além de contribuir significativamente para o aquecimento global, devido ao elevado potencial de aquecimento do metano (CH₄), que é cerca de 28 a 36 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO₂), segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2025).

Sistemas de Captação e Extração de Biogás

Os sistemas de captação são projetados para coletar o biogás diretamente das células de disposição de resíduos. Eles podem ser classificados em captação ativa e passiva. A captação passiva utiliza a diferença de pressão entre o interior do aterro e a atmosfera para extrair o biogás. É de baixo custo, mas pouco eficiente, geralmente aplicada em aterros pequenos ou em fase de encerramento. Já a captação ativa envolve o uso de bombas de vácuo e compressores para extrair o biogás por meio de uma rede de drenos horizontais e verticais

interligados. É o sistema mais comum em aterros com finalidade energética, pois permite maior controle da vazão, pressão e composição do gás captado (TIWARI et al., 2024).

A infraestrutura básica desses sistemas inclui (MOR e RAVINDRA, 2023):

- Poços verticais e drenos horizontais perfurados, instalados no corpo do aterro;
- Tubulações coletoras, geralmente em polietileno de alta densidade (PEAD);
- Sistema de bombeamento e medição, que controla o fluxo e registra parâmetros como temperatura, vazão e composição;
- Queimadores (flares), usados para queima do excesso de biogás não aproveitado, conforme exigência ambiental.

Tratamento e Purificação do Biogás

Segundo Konkol et al. (2022) antes de seu uso energético, o biogás precisa passar por processos de tratamento para remoção de impurezas que podem comprometer equipamentos e o meio ambiente. Os principais contaminantes incluem sulfeto de hidrogênio, partículas e umidade e siloxanos (Quadro 4).

Quadro 4. Principais contaminantes do biogás e métodos de remoção

Contaminante	Descrição e Método de Remoção
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	Altamente corrosivo, removido por adsorção (com carvão ativado ou óxidos metálicos) ou por processos biológicos (biofiltros).
Partículas e Umidade	Retiradas por meio de ciclones, filtros de manga, separadores de condensado e secadores.
Siloxanos	Compostos presentes em cosméticos e produtos de higiene, removidos com filtros de carvão ativado ou por técnicas criogênicas.

Fonte: Adaptado de Konkol et al. (2022)

O biogás tratado pode então ser (WATANABE NETO e GÓIS, 2022):

- Utilizado *in natura* em motores de combustão interna para geração de eletricidade;
- Direcionado para sistemas de cogeração, que produzem simultaneamente energia elétrica e térmica;

- Purificado até atingir padrão de biometano, podendo ser comprimido para uso veicular (GNC) ou injetado em redes de gás natural, conforme regulamentações da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

Eficiência e Sustentabilidade dos Sistemas

A eficiência dos sistemas de captação e tratamento depende da correta manutenção e monitoramento, além do bom dimensionamento técnico do aterro. Estudos indicam que, em aterros bem geridos, é possível recuperar entre 50% e 90% do biogás gerado, dependendo da idade do aterro e da qualidade da massa de resíduos. A adoção dessas tecnologias não apenas viabiliza o aproveitamento energético do biogás, como também contribui para a redução da pegada de carbono dos municípios, podendo gerar receitas adicionais por meio de créditos de carbono no mercado internacional e programas de financiamento climático (NANDA e BERRUTI, 2021).

3.5 Aproveitamento Energético do Biogás

O aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários representa uma solução estratégica para a produção de energia renovável, aliando a gestão de resíduos sólidos à mitigação de impactos ambientais. Por sua composição rica em metano (CH_4), o biogás possui alto poder calorífico, que pode ser convertido em energia elétrica, térmica ou biometano para uso veicular e injeção em redes de distribuição de gás natural (MOR e RAVINDRA, 2023).

Geração de Energia Elétrica e Térmica

A forma mais comum de aproveitamento do biogás de aterros é a geração de energia elétrica. O processo consiste basicamente em utilizar o biogás como combustível em motores de combustão interna, turbinas a gás ou microturbinas que acionam geradores. A energia elétrica produzida pode ser utilizada para consumo interno (nas operações do próprio aterro) ou ser comercializada no sistema elétrico nacional, gerando receita adicional para os operadores (MAVRIDIS e VOUDRIAS et al., 2021).

Além da geração elétrica, o biogás pode ser empregado em sistemas de cogeração, que permitem o aproveitamento simultâneo da energia elétrica e da energia térmica. A energia

térmica pode ser utilizada para aquecimento de ambientes, processos industriais ou até mesmo para aquecimento de digestores anaeróbios em plantas de biogás. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2025), a eficiência de conversão de biogás em energia elétrica em motores a combustão interna varia entre 30% e 40%, podendo chegar a 80% no caso de sistemas de cogeração.

Cogeração e Injeção na Rede de Gás Natural

A cogeração é uma opção altamente eficiente, especialmente quando a demanda simultânea por energia elétrica e térmica justifica o investimento. Em aterros de grande porte, esse modelo permite maximizar o aproveitamento energético do biogás, aumentando o retorno econômico e a sustentabilidade do empreendimento. Outra alternativa de alto valor agregado é a purificação do biogás para obtenção de biometano. O biometano é um gás com características semelhantes às do gás natural (mais de 96% de metano) e pode ser utilizado como combustível em veículos automotivos (Gás Natural Veicular – GNV), injetado em redes de distribuição de gás natural ou armazenado e comercializado como energia renovável (AHAMAD et al., 2023).

A purificação envolve processos como lavagem com água, adsorção por pressão (PSA), membranas seletivas ou absorção química, que removem dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e outros contaminantes. No Brasil, a injeção de biometano na rede de gás natural é regulamentada pela Resolução ANP nº 886/2022, que define requisitos técnicos de qualidade e segurança (ANP, 2022).

Eficiência Energética e Rendimento dos Sistemas

O rendimento energético do aproveitamento do biogás depende de vários fatores, incluindo (CZEKAŁA et al., 2022):

- Qualidade e pureza do biogás;
- Tipo e eficiência dos equipamentos de conversão (motores, turbinas, geradores);
- Estrutura de purificação (no caso de produção de biometano);
- Qualidade da operação e manutenção dos sistemas.

Segundo Gupta et al., (2023), para cada metro cúbico de biogás, é possível gerar, em média, cerca de 2 kWh de energia elétrica em motores de combustão interna. Considerando a recuperação de calor em sistemas de cogeração, o aproveitamento pode ser ainda maior. Dessa forma, o aproveitamento energético do biogás não apenas promove a geração de energia limpa e descentralizada, mas também contribui para a redução de emissões de metano na atmosfera, reforçando seu papel estratégico na matriz energética sustentável.

3.6 Aspectos Ambientais e Socioeconômicos

O aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários traz benefícios ambientais e socioeconômicos expressivos, posicionando-se como uma solução estratégica para a gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos e para a transição para uma economia de baixo carbono (ROCHA-MENESES et al., 2023).

Redução de Gases de Efeito Estufa (GEE)

O metano (CH₄), principal componente energético do biogás, possui um potencial de aquecimento global 28 a 36 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO₂) em um horizonte de 100 anos, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2025). Portanto, a captação e o aproveitamento do biogás representam uma importante estratégia de mitigação climática.

Ao converter o metano em CO₂ durante a queima controlada para produção de energia, reduz-se significativamente o impacto sobre o efeito estufa. Além disso, a substituição de fontes fósseis tradicionais (como carvão, óleo combustível e gás natural) pelo biogás contribui para a descarbonização da matriz energética. Esses ganhos ambientais podem ser monetizados por meio da comercialização de créditos de carbono no mercado voluntário ou em mecanismos regulados, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado pelo Protocolo de Quioto e mantido em acordos posteriores (ABOUGHALY e FATTAH, 2023).

Créditos de Carbono e Mercado de Carbono

Projetos de aproveitamento energético de biogás podem gerar Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), que são unidades negociáveis nos mercados de carbono. Cada tonelada

de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) evitada pode ser convertida em créditos comercializáveis. A regulamentação e o fortalecimento do mercado de carbono no Brasil, por meio de instrumentos como o Programa Brasileiro de Gases de Efeito Estufa (PBGEE) e os avanços previstos no Projeto de Lei nº 412/2022, tendem a impulsionar projetos de valorização do biogás, aumentando sua atratividade econômica (PL, 2022).

Benefícios para Comunidades Locais e Geração de Empregos

Segundo Pavičić et al. (2022), além dos ganhos ambientais, o aproveitamento do biogás pode impulsionar o desenvolvimento local (Quadro 5).

Quadro 5. Benefícios socioeconômicos do aproveitamento energético do biogás

Benefício	Descrição
Geração de empregos diretos e indiretos	Desde a construção de sistemas de captação até a operação e manutenção de unidades de geração de energia.
Melhoria das condições sanitárias	Redução de odores, vetores de doenças e risco de explosões nos aterros.
Acesso à energia renovável	Especialmente relevante para localidades isoladas ou com baixa confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.
Fortalecimento da economia circular	Promoção do aproveitamento de resíduos como fonte de energia e redução da pressão sobre os recursos naturais.

Fonte: Adaptado de Pavičić et al. (2022)

De acordo com a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2025), o setor de biogás tem potencial para gerar entre 10 e 15 empregos por megawatt instalado, considerando toda a cadeia produtiva, desde a implantação de sistemas até a operação contínua.

Aspectos Sociais e Inclusão Produtiva

A integração de cooperativas de catadores e programas de educação ambiental nos projetos de aproveitamento energético de resíduos amplia os impactos sociais positivos. A inclusão produtiva contribui para a promoção da dignidade do trabalho, geração de renda e fortalecimento da cidadania, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento

Sustentável (ODS), especialmente o ODS 7 (energia acessível e limpa), o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e o ODS 13 (ação contra a mudança global do clima) (NAÇÕES UNIDAS, 2025).

3.7 Estudos de Caso e Experiências no Brasil e no Mundo

A implementação de projetos de aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários vem crescendo globalmente, impulsionada por políticas ambientais, avanços tecnológicos e a busca por fontes alternativas de energia renovável. A análise de casos nacionais e internacionais é fundamental para identificar práticas bem-sucedidas, desafios enfrentados e lições aprendidas que podem guiar novos empreendimentos no Brasil.

Experiências no Brasil

O Brasil possui condições favoráveis para o aproveitamento do biogás em função da elevada geração de resíduos sólidos urbanos, da composição rica em matéria orgânica e do clima predominantemente quente, que favorece a atividade microbiana. No entanto, segundo Nascimento et al. (2019) a exploração do biogás ainda é limitada a poucos projetos (Quadro 6).

Quadro 6. Exemplos de aproveitamento energético de biogás em aterros sanitários no Brasil

Aterro	Descrição
Aterro Sanitário Bandeirantes (São Paulo/SP)	Um dos principais exemplos de sucesso no Brasil. Operado pela EcoUrbis Ambiental, possui sistema de captação de biogás para geração de cerca de 170 GWh/ano, equivalente ao consumo de aproximadamente 300 mil habitantes. O projeto é registrado no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), comercializando créditos de carbono.
Aterro Metropolitano de Gramacho (Duque de Caxias/RJ)	Após seu encerramento em 2012, Gramacho iniciou a captura do biogás, que é purificado e convertido em biometano para abastecimento da Refinaria Duque de Caxias (Reduc/Petrobras), integrando gestão de resíduos e setor energético.
Aterro de Caucaia (Ceará)	Projeto que integra a captação de biogás com geração de energia elétrica, reforçando a expansão da tecnologia para regiões fora do

	eixo Sul-Sudeste.
--	-------------------

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019)

Apesar desses avanços, a Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos (ABREN) destaca que apenas cerca de 1% do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos no país é atualmente aproveitado, revelando um enorme espaço para crescimento (ABREN, 2025).

Experiências Internacionais

Segundo Pavičić et al. (2022) alguns países como a Alemanha, Estados Unidos e Suécia possuem excelentes referências sobre o biogás (Quadro 7).

Quadro 7. Experiências internacionais no aproveitamento energético do biogás

País	Descrição
Alemanha	Líder mundial em tecnologias de biogás, especialmente no uso agrícola e em aterros sanitários. A política de incentivos Energiewende promoveu massivos investimentos em energia renovável, incluindo o biogás.
Estados Unidos da América	Possuem mais de 500 projetos de captura e aproveitamento de biogás em aterros, conforme a Environmental Protection Agency (EPA). O programa Landfill Methane Outreach Program (LMOP) atua desde 1994 incentivando o aproveitamento energético.
Suécia	O biogás de aterros e resíduos orgânicos é amplamente purificado para produção de biometano veicular. O país possui um dos maiores índices de uso de biometano no transporte público, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.

Fonte: Adaptado de Pavičić et al. (2022)

3.8 Desafios, Barreiras e Oportunidades

Apesar do elevado potencial técnico e ambiental do aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários, a implementação de projetos enfrenta uma série de desafios e barreiras, que precisam ser superados para consolidar essa fonte como parte estratégica da matriz energética sustentável brasileira.

Limitações Técnicas

Segundo Nascimento et al (2029) a viabilidade técnica de projetos de aproveitamento de biogás depende de uma série de fatores, como descrito no Quadro 8.

Quadro 8. Principais limitações técnicas para o aproveitamento energético do biogás

Limitação Técnica	Descrição
Qualidade e estabilidade da produção de biogás	A geração de biogás é variável ao longo da vida útil do aterro, com picos de produção geralmente entre o 6º e o 12º ano após o início da disposição dos resíduos.
Composição do biogás	Altas concentrações de contaminantes, como sulfeto de hidrogênio (H ₂ S) e siloxanos, exigem tratamentos adicionais que encarecem o projeto.
Infraestrutura dos aterros	Muitos aterros no Brasil, especialmente em municípios de pequeno porte, não possuem sistemas de captação de biogás instalados ou planejados, dificultando a adaptação para projetos energéticos.

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019)

Além disso, a ausência de padrões técnicos nacionais específicos para o projeto e operação de unidades de valorização energética de biogás em aterros dificulta a padronização e amplia a percepção de risco por parte dos investidores.

Desafios Legais e Institucionais

Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleça diretrizes para a valorização energética dos resíduos, a regulamentação sobre biogás e biometano ainda carece de maior clareza e integração entre órgãos ambientais, energéticos e sanitários. A obtenção de licenças ambientais para projetos de geração de energia a partir do biogás pode ser morosa e burocrática, desestimulando investimentos. Além disso, a falta de políticas públicas específicas de incentivo, como tarifas atrativas para energia gerada de biogás, limita a competitividade frente a outras fontes renováveis mais consolidadas, como a solar e a eólica (BRASIL, 2016).

Barreiras Econômicas e Financeiras

Segundo Nascimento et al. (2019), projetos de aproveitamento energético de biogás demandam investimentos consideráveis em captação, purificação e geração de energia, especialmente em aterros de médio e grande porte. O modelo de negócios para o biogás ainda é incipiente no Brasil, necessitando de novos arranjos contratuais e de instrumentos de garantia para atrair investidores privados. Entre as principais barreiras financeiras, destacam-se:

- Alto custo inicial de implantação;
- Demora no retorno do investimento, especialmente em contextos de baixa tarifa de energia ou de ausência de subsídios;
- Dificuldade de acesso a linhas de financiamento específicas, particularmente para pequenos e médios operadores de aterros.

Oportunidades de Expansão e Inovação

Segundo Fernandes et al. (2022), apesar dos desafios, as oportunidades para o setor de biogás no Brasil são expressivas (Quadro 9).

Quadro 9. Oportunidades para a expansão do aproveitamento energético do biogás

Oportunidade	Descrição
Programas de incentivo a energias renováveis	Iniciativas como o RenovaBio, a Resolução ANP nº 685/2017 (regulamentação do biometano) e avanços no mercado de carbono oferecem novas perspectivas de rentabilidade para projetos de biogás.
Integração com políticas de resíduos sólidos	A exigência legal de encerramento de lixões e a implementação de sistemas adequados de gestão de resíduos abre espaço para novos projetos de aproveitamento do biogás em aterros sanitários.
Desenvolvimento tecnológico	Avanços em tecnologias de purificação de biogás, geração de energia de pequena escala (microturbinas, motogeradores) e integração com sistemas híbridos ampliam as possibilidades de aplicação, inclusive em municípios menores.
Valorização do biometano	O biometano possui potencial estratégico para substituir o diesel na frota de veículos pesados e diversificar a matriz energética do país.

Fonte: Adaptado de Fernandes et al. (2022)

Fernandes et al. (2022) destaca também que a superação dos entraves técnicos, legais e financeiros, associada à adoção de políticas públicas de estímulo, pode transformar o aproveitamento energético do biogás de aterros em um vetor importante para o desenvolvimento sustentável e a economia de baixo carbono no Brasil.

3.9 Tendências Futuras e Sustentabilidade

A busca por fontes renováveis de energia e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa vêm colocando o biogás em uma posição estratégica dentro da transição energética global. No contexto dos aterros sanitários, o aproveitamento energético do biogás não apenas mitiga impactos ambientais, como também contribui diretamente para a construção de modelos de desenvolvimento mais sustentáveis e circulares (MIGNOGNA et al., 2023).

Economia Circular e Integração com Outras Fontes Renováveis

O conceito de economia circular, que preconiza a maximização do uso dos recursos e a minimização da geração de resíduos, converge com o aproveitamento do biogás. Ao transformar resíduos sólidos urbanos em energia e insumos (como fertilizantes a partir do digestato), o biogás se torna uma peça-chave em cadeias produtivas mais sustentáveis. Tendências recentes apontam para a integração do biogás com outras fontes renováveis, como a energia solar e eólica. Sistemas híbridos podem utilizar o biogás como fonte firme, complementando a variabilidade da geração solar e eólica, o que é crucial para a estabilidade dos sistemas elétricos (COELHO et al., 2021).

Biometano como Combustível Alternativo

A produção de biometano a partir do biogás de aterros representa uma tendência importante para o setor de transportes e para a substituição de combustíveis fósseis. Países como a Suécia e a Alemanha já utilizam o biometano como combustível veicular em larga escala, reduzindo as emissões de poluentes locais e de gases de efeito estufa. No Brasil, a

demanda por biometano vem crescendo, impulsionada pela ampliação das frotas de veículos pesados movidos a gás natural e pelo interesse em diversificar a matriz energética. A utilização de biometano pode impulsionar a descarbonização dos setores de transporte, industrial e comercial (NASCIMENTO et al., 2025).

Inserção nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

O aproveitamento energético do biogás está alinhado a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Nações Unidas (NAÇÕES UNIDAS, 2025) (Quadro 10).

Quadro 10. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados ao aproveitamento do biogás

ODS	Descrição
ODS 7	Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos.
ODS 11	Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
ODS 12	Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.
ODS 13	Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

Fonte: Adaptado de Nações Unidas (2025)

Essa conexão fortalece a importância do biogás não apenas como uma solução tecnológica, mas também como uma estratégia de promoção da justiça climática, da inclusão social e da sustentabilidade econômica.

Inovação e Novas Fronteiras Tecnológicas

O futuro do setor de biogás aponta para inovações que podem expandir ainda mais seu potencial, incluindo melhorias nos processos de purificação de biogás para reduzir custos e aumentar a qualidade do biometano, sistemas inteligentes de monitoramento da produção e da qualidade do biogás e adoção de novos modelos de negócios, como geração distribuída e consórcios intermunicipais para a gestão regionalizada de resíduos e aproveitamento de biogás (FERNANDES et al., 2022).

O desenvolvimento de políticas públicas de longo prazo, o fortalecimento dos mercados de carbono e a integração do biogás em planos nacionais de energia e resíduos serão fundamentais para consolidar essas tendências no cenário brasileiro.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários é uma alternativa estratégica para a gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa e para a diversificação da matriz energética com fontes renováveis. Embora o Brasil tenha grande potencial, a exploração do biogás ainda é limitada por entraves técnicos, legais e financeiros, além da carência de incentivos específicos.

As experiências nacionais e internacionais mostram que, com políticas públicas eficazes, incentivos adequados e avanços tecnológicos, o biogás pode desempenhar um papel relevante na transição para uma economia de baixo carbono. Dessa forma, investir na captação e no aproveitamento energético do biogás representa uma oportunidade concreta para promover a sustentabilidade ambiental e o fortalecimento da economia verde no país.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 8.419. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. 1992.

ABNT. NBR 13.896. **Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação**. 1997.

ABOUGHALY, M.; FATTAH, I. M. R. Environmental Analysis, Monitoring, and Process Control Strategy for Reduction of Greenhouse Gaseous Emissions in Thermochemical Reactions. *Atmosphere*, v.14, n.4, 655, 2023. <https://doi.org/10.3390/atmos14040655>

ABREN. **Waste to Energy Research and Technology**. 2025. Disponível em: <https://www.abren.org.br/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ABRELPE. **Panorama: solutions for a healthy planet.** 2025. Disponível em: <https://panorama.solutions/en/organisation/abrelpe-associacao-brasileira-de-empresas-de-limpeza-publica-e-residuos-especiais>. Acesso em: 03 abr. 2025

AHAMAD, T., PARVEZ, M., LAL, S.; KHAN, O.; IDRISI, M. J. 4-E analysis and multiple objective optimizations of a novel solar-powered cogeneration energy system for the simultaneous production of electrical power and heating. **Scientific Reports**, v.13, n.1, 22246, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49344-2>

ALVAREZ, E. K. **Consórcios públicos intermunicipais: como e para que cooperar?** - Brasília: CNM, 2020. 55 p. (Coleção Gestão Pública Municipal: Novos Gestores 2021-2024)

ANP. **Resolução ANP nº 886, de 29 de setembro de 2022.** 2022. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-886-2022#:~:text=Estabelece%20a%20especifica%C3%A7%C3%A3o%20e%20as,ser%20comercializado%20no%20territ%C3%B3rio%20nacional>. Acesso em: 13 mar 2025.

BRASIL. **Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022.** Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm. Acesso em: 08 abr. 2025.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 05 mar. 2025.

BRASIL. **Probiogás: conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016. 147 p. (Desenvolvimento do mercado de biogás; 3)

COELHO, S. T.; DIAZ-CHAVE, R.; CORTEZ, C. L.; PERECIN, D.; POSSETTI, G. R. C.; RIETOW, J. C. **Circular Economy in Brazil.** In: Ghosh, S.K., Ghosh, S.K. (eds) *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective.* Springer, Singapore, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0913-8_15

CZEKAŁA, W.; JASIŃSKI, T.; GRZELAK, M.; WITASZEK, K.; DACH, J. Biogas Plant Operation: Digestate as the Valuable Product. **Energies**, v.15, n.21, 8275, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15218275>

FRENANDES, G. L.; SANTOS, I. F. S.; SILVA, H. L. C.; BARROS, R. M. Geração de energia usando biogás de aterros sanitários no Brasil: um estudo de potencial energético e viabilidade econômica em função da população. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.27, n.1, 67-77, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200210>.

GUERRA, A. L. R. Metodologia da pesquisa científica e acadêmica. **Revista OWL (OWL Journal)**, v.1, n.2, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8240361>

GUPTA, P.; KURIEN, C.; MITTAL, M. Biogas (a promising bioenergy source): A critical review on the potential of biogas as a sustainable energy source for gaseous fuelled spark ignition engines. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.48, n.21, p.7747-7769, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.195>

IEA. **Summit on the Future of Energy Security**. 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 23 mar 2025.

IPCC. **The Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2025. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

IREMA. **Supporting countries worldwide in their transition to a sustainable energy future**. 2025. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 26 mar. 2025.

KAMPERIDOU, V.; TERZOPOULOU, P. Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Waste Materials. **Sustainability**, v.13, n.22, 12810 2021. <https://doi.org/10.3390/su132212810>

MAVRIDIS, S.; VOUDRIAS, E. A. Using biogas from municipal solid waste for energy production: Comparison between anaerobic digestion and sanitary landfilling. **Energy Conversion and Management**, v.247, n.1, 114613, 2021.

MIGNOGNA, D.; CECI, P.; CAFARO, C.; CORAZZI, G.; AVINO, P. Production of Biogas and Biomethane as Renewable Energy Sources: A Review. **Applied Sciences**, v.13, n.18, 10219, 2023. <https://doi.org/10.3390/app131810219>

MOR, S.; RAVINDRA, K. Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. **Process Safety and Environmental Protection**. v.174, n.1, p. 510-530, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.014>

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos do desenvolvimento sustentável**. 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/>. Acesso em: 02 abr. 2025.

NANDA, S.; BERRUTI, F. Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v.19, n.1, p.1433–1456, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>

NASCIMENTO, M. C. B.; FREIRE, E. P.; DANTAS, F. A. S.; GIANANTE, M. B. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.1, p.143-155, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019171125>

OSIPOV, V. I.; GALITSKAYA, I. V.; ZAIKANOV, V. G. Landfill Technology of Waste Management. **Water Resources**, v.49, n.1, p.25–35, 2022. <https://doi.org/10.1134/S0097807822080097>

PACHECO, L. A.; TAMAYO-PEÑA, J.; MORAES, B. S.; FRANCO, T. T. Bioenergy, Electricity, Biogas Production, and Emission Reduction Using the Anaerobic Digestion of Organic Municipal Solid Waste in Campinas, One of the Largest Brazilian Cities. **Processes**, v.10, n.12, 2662, 2022. <https://doi.org/10.3390/pr10122662>

PAVIČIĆ, J.; NOVAK MAVAR, K.; BRKIĆ, V.; SIMON, K. Biogas and Biomethane Production and Usage: Technology Development, Advantages and Challenges in Europe. **Energies**, v.15, n.8, 2940, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15082940>

PL. **Projeto de Lei n.º 412, de 2022.** 2022. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2351518&filename=Avulso%20PL%20412/2022. Acesso em: 12 abr. 2025.

PRZYDATEK, G.; GENEROWICZ, A.; KANOWNIK, W. Evaluation of the Activity of a Municipal Waste Landfill Site in the Operational and Non-Operational Sectors Based on Landfill Gas Productivity. **Energies**, v.17, n.10, 2421, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17102421>

ROCHA-MENESES, L.; LUNA-DELRISCO, M.; GONZÁLEZ, C.A.; MONCADA, S.V.; MORENO, A.; SIERRA-DEL RIO, J.; CASTILLO-MEZA, L.E. An Overview of the Socio-Economic, Technological, and Environmental Opportunities and Challenges for Renewable Energy Generation from Residual Biomass: A Case Study of Biogas Production in Colombia. **Energies**, v.16, n. 16, 5901, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16165901>

TIWARI, G. N., MISHRA, R. K., SINGH, A. K. Thermal modelling of solar heating of biogas plant: a review. **International Journal of Ambient Energy**, v.45, n.1, 2421315, 2024. <https://doi.org/10.1080/01430750.2024.2421315>

UN, C. A Sustainable Approach to the Conversion of Waste into Energy: Landfill Gas-to-Fuel Technology. **Sustainability**, v. 15, n.20, 14782, 2023. <https://doi.org/10.3390/su152014782>

WATANABE NETO, M.; GÓIS, L. M. N. Simulation and optimization of CO₂ absorption with water in biogas treatment. **Research, Society and Development**, v.11, n.11, p. e348111133667, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33667>.

ZHAO; S.; ZHENG, Q.; WANG, H.; FAN, X. Nitrogen in landfills: Sources, environmental impacts and novel treatment approaches. **Science of The Total Environment**, v.924, n.1, 171725, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171725>