



Biogás
BRASIL

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás

Guia Técnico



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Parceiros do Projeto



Parceiros nesta Atividade



Comitê Diretor do Projeto



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



www.gefbiogas.org.br

This project/program is funded by the Global Environment Facility

Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil)



Este documento está sob a licença Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License. Citações ao material deste documento devem ser da seguinte forma:

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás:** guia técnico. Brasília: MCTI, 2022. *E-book*. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

COMITÊ DIRETOR DO PROJETO

Fundo Global para o Meio Ambiente
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Ministério de Minas e Energia
Ministério do Meio Ambiente
Ministério do Desenvolvimento Regional
Centro Internacional de Energias Renováveis
Itaipu Binacional

PARCEIROS DO PROJETO

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
Associação Brasileira do Biogás
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FICHA TÉCNICA

Nome do produto:

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Componente Output e Outcome: 2.1 / 2.1.2

Publicado pela(s) entidade(s):

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – UNIDO
Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás

Entidade(s) diretamente envolvida(s):

Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás

Autoria e coautoria:

Alessandra Freddo – UNIDO | CIBiogás
Karina C. Navarro – CIBiogás
Larissa S. Carmona – CIBiogás

Revisão técnica:

Daiana G. Martinez – UNIDO | CIBiogás
Fernando Fernandes - UEL
Marcia Hino – CIBiogás
Natalí Nunes – UNIDO | CIBiogás
Thiago Lopez – CIBiogás

Coordenação:

Felipe Souza Marques – UNIDO | CIBiogás

Editoração:

Nicole Mattiello

Data da publicação:

agosto, 2022

O68r Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás : guia técnico / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ; Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022.

58 p.:il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-66-3

1. Biogás – Segurança. 2. Biogás – Brasil. Biogás – Boas práticas. I. Freddo, Alessandra. II. Navarro, Karina C. III. Carmona, Larissa S. IV. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. V. UNIDO. VI. CIBiogás. VII. Título. VIII. Série.

CDU 662.767.2



APRESENTAÇÃO

O Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil) reúne o esforço coletivo de organismos internacionais, setor privado, entidades setoriais e do Governo Federal em prol da diversificação da matriz energética do país por meio do biogás.

O Projeto é liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), e conta com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) como principal entidade executora.

O objetivo do Projeto é reduzir a emissão de gases de efeito estufa, fortalecendo as cadeias de valor e inovação tecnológica ligadas à produção de biogás. Por meio de ações concretas, o Projeto amplia a oferta de energia e combustível no Brasil a partir da geração de biogás e biometano, fortalecendo as cadeias nacionais de fornecimento de tecnologia no setor e facilitando investimentos.

O biogás é uma fonte renovável de energia elétrica, energia térmica e combustível. Seu processamento também resulta em biofertilizantes de alta qualidade para uso agrícola. A gestão sustentável dos resíduos orgânicos provenientes da agroindústria e de ambientes urbanos por meio da produção de biogás traz um diferencial competitivo para a economia brasileira. Desenvolver a cadeia de valor do biogás significa investir em uma economia circular envolvendo inovação e novas oportunidades de negócios. Indústrias de equipamentos e serviços, concessionárias de energia e gás, produtores rurais e administrações municipais estão entre os beneficiários do Projeto, que conta com US \$7,828,000 em investimentos diretos.

Com abordagem inicial na Região Sul e no Distrito Federal, o Projeto gera impactos positivos para todo o país. As atividades do Projeto incluem a atuação direta junto a empresas, cooperativas e entidades da governança do biogás para implementar acordos de cooperação, fazer análises de mercado, desenvolver modelos de negócio inovadores e atrair investimentos nacionais e internacionais.

O Projeto também investe diretamente na otimização de plantas de biogás mais eficientes, seguras e com modelos replicáveis, entregando ao mercado exemplos práticos de sucesso operacional. Além disso, o Projeto desenvolve ferramentas digitais e atividades de capacitação que atualizam e dinamizam o setor, facilitando o desenvolvimento de projetos executivos de biogás. Em paralelo, especialistas do Projeto desenvolvem estudos técnicos com dados inéditos que apoiam o avanço de políticas públicas favoráveis ao biogás. Dessa forma, o Projeto entrega para o mercado brasileiro mais competitividade, fomentando o biogás como um grande catalizador de novas oportunidades.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| Resumo/Abstract | 6 |
| Impactos | 7 |
| 1. Introdução | 7 |
| 2. Rotas tecnológicas de plantas de biogás | 8 |
| 3. Recomendações para equipamentos em plantas de biogás | 21 |
| 3.1 Sistemas de segurança de biogás | 22 |
| 3.1.1 Requisitos e boas práticas para equipamentos de segurança em plantas de biogás | 23 |
| 3.1.2 Avaliação dos riscos | 27 |
| 3.1.3 Recomendações de ação para os riscos avaliados | 31 |
| 3.2 Dessulfurização de biogás | 33 |
| 3.2.1 Requisitos e boas práticas para equipamentos de dessulfurização de biogás | 34 |
| 3.2.2 Avaliação dos riscos | 42 |
| 3.2.3 Recomendações de ação para os riscos avaliados | 46 |
| 3.3 Desumidificação de biogás | 46 |
| 3.3.1 Requisitos e boas práticas para equipamentos de desumidificação de biogás | 47 |
| 3.3.2 Avaliação dos riscos | 51 |
| 3.3.3 Recomendações de ação para os riscos avaliados | 55 |
| 4. Considerações finais | 56 |
| 5. Referências | 57 |

Resumo/Abstract

PORTUGUÊS

O funcionamento adequado de equipamentos de tratamento de biogás e de segurança é fundamental para a obtenção de eficiência, confiabilidade e segurança da planta. Em função disso, este guia técnico visa fornecer informações relevantes sobre equipamentos de tratamento de biogás e de segurança de plantas, contemplando requisitos técnicos, recomendações gerais e boas práticas nos aspectos construtivos, de instalação, manutenção e operação. Para análise destes equipamentos foram consultados 32 especialistas do setor quanto aos desafios tecnológicos atrelados a cada um destes equipamentos, sendo apresentadas medidas de mitigação para os mesmos. Os principais desafios destacados pelos profissionais do setor estão relacionados justamente com a falta de confiabilidade e de garantia de eficiência dos sistemas, além de falta de informações técnicas e de mão de obra especializada. Neste sentido, os desafios tecnológicos precisam ser vencidos para maior uniformidade dos equipamentos fornecidos no mercado, de modo a permitir que se atinja padrões de qualidade e segurança nos equipamentos de segurança, dessulfurização e desumidificação de biogás.

Palavras-chave: Requisitos técnicos, boas práticas, tratamento de biogás, segurança de plantas de biogás, desafios tecnológicos.

ENGLISH

The proper functioning of biogas treatment and safety equipment is fundamental to obtain efficiency, reliability, and plant safety. As a result, this technical guide aims to provide relevant information on biogas treatment and plant safety equipment, covering technical requirements, general recommendations and best practices in construction, installation, maintenance, and operation. To analyze this equipment, 32 industry experts were consulted regarding the technological challenges associated with each piece of equipment, and mitigation measures were presented. The main challenges highlighted by professionals in the sector are precisely related to the lack of reliability and guarantee of efficiency of the systems, as well as the lack of technical information and skilled labor. In this sense, technological challenges need to be overcome for greater uniformity of the equipment supplied in the market, in order to allow the achievement of quality and safety standards in safety equipment, desulfurization and dehumidification of biogas.

Keywords: Technical requirements, best practices, biogas treatment, biogas plant safety, technological challenges.

Impactos

A operacionalização de unidades produtoras de biogás está atrelada ao conjunto de atividades que envolvem diversas etapas, processos e equipamentos que atuam de maneira conjunta para o tratamento da biomassa, no uso energético do biogás e na produção do digestato. Como consequência, para que uma planta opere de forma satisfatória e alinhada ao modelo de negócio, é necessário que todo o desenvolvimento do arranjo seja pautado no uso de equipamentos qualificados e com condições operacionais compatíveis com o cenário e a realidade local.

Sendo assim, equipamentos com padrões e requisitos construtivos e de operação adequados fornecem eficiência, credibilidade, confiabilidade e segurança para as plantas de biogás. Não obstante, contribuem também na viabilidade econômica do negócio e na operação segura da planta, diminuindo os riscos à saúde e a integridade física de operadores e moradores locais.

Desta forma, o objetivo deste guia técnico é fornecer informações relevantes sobre equipamentos de tratamento de biogás e de segurança de plantas, contemplando requisitos técnicos, recomendações gerais e boas práticas nos aspectos construtivos, de instalação, manutenção e operação, visando contribuir com o desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias a partir de maior eficiência operacional dos equipamentos, segurança da planta e confiabilidade nos resultados alcançados.

1. Introdução

O biogás tem ganhado cada vez mais notoriedade no país diante do cenário de escassez hídrica, dos sucessivos aumentos de preço da energia elétrica e da necessidade de descarbonizar a matriz de transportes. O número de plantas tem crescido ano a ano, reforçando o interesse do mercado em investir nesta solução energética renovável. Segundo CIBiogás (2021), no ano de 2020 foram identificadas 148 novas plantas de biogás, demonstrando um crescimento de 22% do número de unidades produtoras em comparação ao ano de 2019. Este crescimento denota a importância de um mercado fornecedor cada vez mais qualificado e alinhado com as necessidades e particularidades demandadas nos projetos nacionais.

O processo de geração de biogás é formado por diversas etapas, fluxos e equipamentos, que podem ser considerados o cerne das plantas de biogás. Cada etapa exige uma configuração dos equipamentos e demanda tecnologias que, operando juntos e em harmonia, entregam a demanda desejada. Todos os equipamentos de uma unidade produtora de biogás precisam ter operação e funcionamento alinhados ao processo, se adequando aos requisitos de início e conclusão de cada etapa, para que a planta alcance o desempenho esperado. Isto pode ser garantido quando os equipamentos possuem requisitos e parâmetros construtivos, de implantação e de operação bem definidos, podendo, assim, garantir sua eficiência como sistema.

Em pesquisa realizada com agentes do setor, foram identificadas lacunas no que tange aos equipamentos de tratamento de biogás (desumidificação e dessulfurização) e de segurança, apontando esses como os equipamentos mais críticos quanto à confiabilidade e eficiência de desempenho.

Desta forma, o presente guia técnico visa trazer uma visão geral sobre as principais etapas envolvidas em plantas de biogás e destacar os requisitos técnicos de sistemas de

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

tratamento de biogás e de equipamentos de segurança, fornecendo recomendações de boas práticas.

2. Rotas tecnológicas de plantas de biogás

Unidades produtoras de biogás possuem arranjos físicos e tecnológicos variados, que moldam o processo. Independente da adequação a esses cenários, o processo de geração de biogás e digestato pode contemplar as etapas de pré-tratamento da biomassa, biodigestão anaeróbia, tratamento e purificação de biogás e aproveitamento energético e gestão da biomassa, conforme a estratégia mercadológica da planta. O processo pode fazer uso de diferentes equipamentos ao considerar fatores tais como: o tipo de biomassa utilizada, a aplicação energética do biogás, o nível de investimento financeiro e a área disponível para instalação da planta.

Apesar das particularidades de cada unidade produtora, algumas das etapas são comuns a todas as plantas e são implementadas de forma sequencial. O **roadmap tecnológico** é uma ferramenta bastante utilizada para apoiar na visualização das etapas estabelecidas em uma unidade produtora de biogás.

O *roadmap* tecnológico para arranjos de biogás, é uma ferramenta visual que apresenta todas as etapas de uma planta de biogás, facilitando a visão do todo e o entendimento do processo. Com o *roadmap* é possível identificar e determinar as etapas e os equipamentos, produtos e serviços que devem ser implementados.

Desta forma, o *roadmap* para plantas de biogás (Figura 1) possui 10 etapas de referência que vão desde o tratamento da biomassa até o aproveitamento final do biogás e do digestato. A seguir são apresentadas de forma detalhada todas as etapas, incluindo informações sobre as principais rotas tecnológicas e equipamentos envolvidos, bem como os fornecedores e prestadores de serviços disponíveis no mercado brasileiro, segundo mapeamento realizado pelo projeto GEF Biogás Brasil.

ROADMAP TECNOLÓGICO

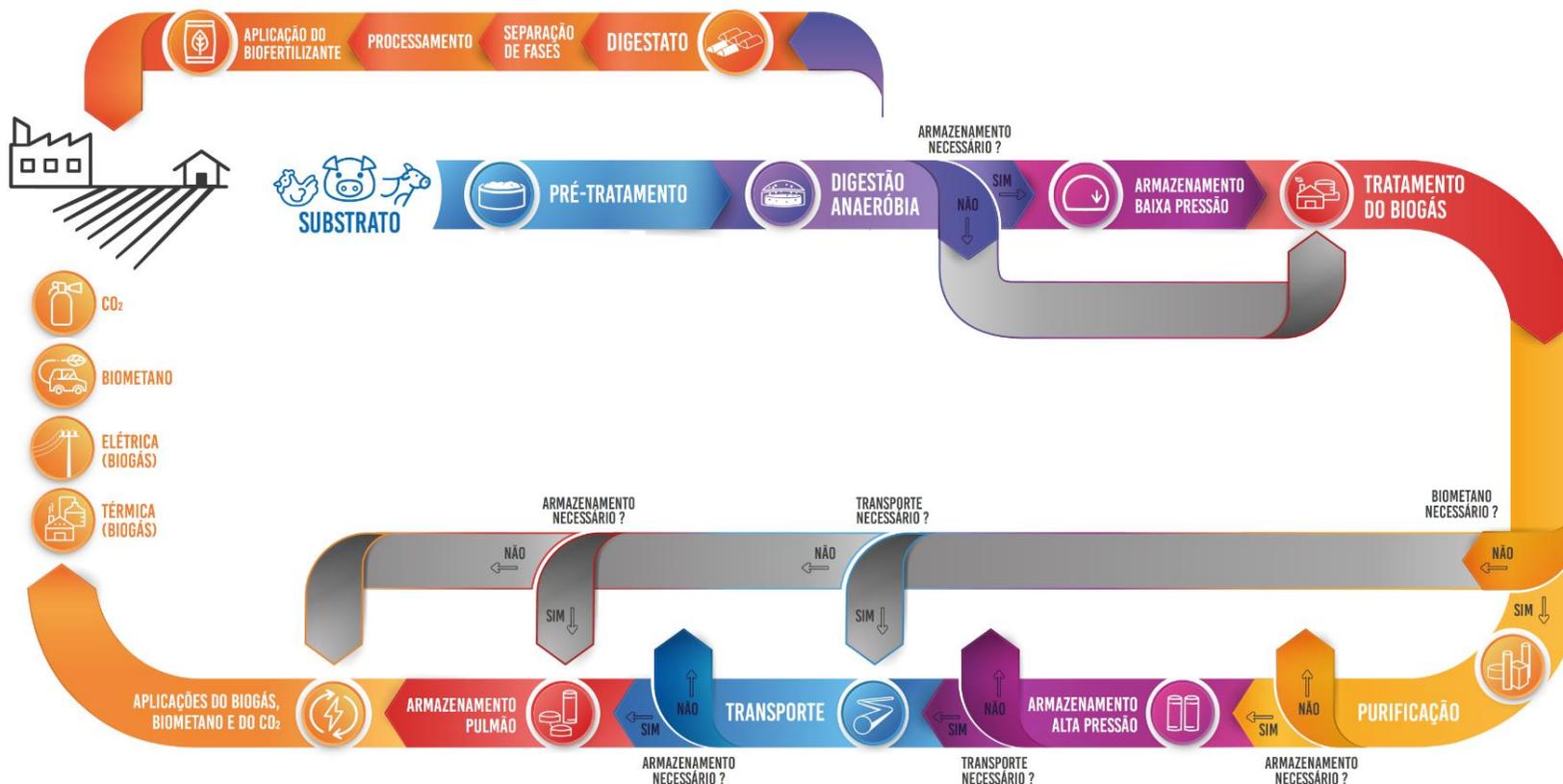


Figura 1 - Roadmap tecnológico para plantas de biogás.
Fonte: MCTI et al. (2021)

PRÉ-TRATAMENTO DA BIOMASSA

Essa etapa tem a função de modificar a estrutura e composição dos substratos, para facilitar o processo de biodigestão anaeróbia, pois permite maior interação entre os microrganismos e o substrato, aumentando a velocidade de degradação da matéria orgânica e consequentemente a produção de biogás. Esta etapa pode ser obrigatória ou opcional dependendo do substrato utilizado.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados na etapa de pré-tratamento da biomassa

As principais rotas tecnológicas podem ser divididas em **físicas, químicas e biológicas**. A combinação de diferentes rotas também pode ser explorada.

| Pré-tratamento | Descrição | Exemplos |
|----------------|---|---|
| Físico | Processo físico que modifica a estrutura da biomassa, aumentando seu contato com o meio e facilitando a ação dos microrganismos anaeróbios. | Mecânico (trituração e extrusão) Irradiação (micro ondas e ultrassom) Térmico (explosão a vapor e hidrotérmico) |
| Químico | Utiliza compostos químicos que alteram a composição física e química da biomassa facilitando a biodegradação. É comumente utilizado em substratos lignocelulósicos. | Alcalino (Hidróxido de sódio, Óxido de cálcio e Hidróxido de potássio) Ácido (Ácido clorídrico, Ácido sulfúrico e Ácido nítrico) |
| Biológico | Utiliza microrganismos específicos que solubilizam componentes recalcitrantes da biomassa. | Fungos, consórcio de microrganismos e enzimas |

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para pré-tratamento da biomassa

Empresas que fornecem soluções para sistemas de pré-tratamento de biomassa foram identificadas nos estados de Minas Gerais, Bahia, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 28% do total.

Das 47 empresas que atuam com pré-tratamento de biomassa:

- 11% oferecem produtos;
- 34% disponibilizam serviços; e
- 55% oferecem tanto produtos como serviços para essa etapa.



DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é a principal etapa no processo de geração de biogás. Nesta etapa, a biomassa é submetida a ação de microrganismos anaeróbios, responsáveis por degradar a matéria orgânica existente. Esse processo resulta na produção de biogás e digestato. Dependendo da composição do digestato, ele pode ser considerado um fertilizante agrícola.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados na etapa de digestão anaeróbia

O processo de biodigestão pode ser realizado por diferentes tipos de biodigestores, que devem ser empregados conforme as especificidades dos substratos, incluindo a concentração de sólidos totais da biomassa:

| Sólidos totais (ST) | Tipo de biodigestor | Exemplos de aplicação |
|---------------------|---|--|
| ST < 300 mg/L | UASB: Apresentam alta eficiência quanto a estabilização da matéria orgânica e são empregados para substratos com baixos teores de sólidos. O substrato a ser digerido é adicionado pela parte inferior do reator e removido pela parte superior, o que confere um fluxo hidráulico ascendente. | Efluentes industriais e esgoto. |
| ST < 3% | Lagoa coberta: Consiste em uma lagoa anaeróbia impermeabilizada e de base retangular (tanque escavado no solo), com um sistema de cobertura feito de geomembrana de PEAD, PVC ou PEBDL que armazena o biogás produzido. A biomassa a ser digerida é inserida por uma extremidade do reator e vai sendo degradada na medida em que passa por seu interior, sendo removida na extremidade oposta. | Resíduos da agropecuária e efluentes industriais. |
| ST < 5% | Lagoa coberta com mistura completa: Corresponde ao modelo lagoa anaeróbia coberta acrescido de sistema de agitação. Geralmente é construída em formato circular, o que proporciona melhor homogeneização da biomassa. | Resíduos da agropecuária e efluentes industriais. |
| ST < 20% | CSTR: Reator anaeróbio em formato circular que possui sistema de agitação e aquecimento, otimizando o processo de biodigestão e permitindo assim uma maior taxa de sólidos no sistema. Esse equipamento é comumente denominado reator de mistura completa. | Resíduos da agropecuária, efluentes industriais e resíduos sólidos orgânicos |
| ST > 25% | Rota seca contínua: Digestor de resíduos com alta concentração de sólidos em sistema contínuo e que eventualmente necessita de umidificação com água para melhoria do processo. | Resíduos sólidos orgânicos. |

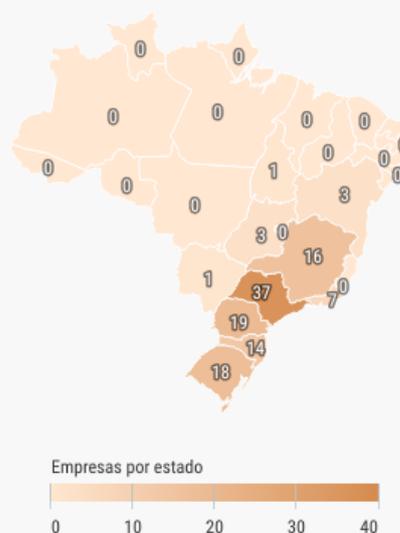
Fonte: Adaptado de PROBIOGÁS (2015).

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para biodigestores e equipamentos auxiliares

Os fornecedores e prestadores de serviços para sistemas de biodigestão estão localizados nos estados de Goiás, Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Tocantins. O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 31% do total.

Das 119 empresas que atuam com biodigestores:

- 22% oferecem produtos;
- 32% disponibilizam serviços; e
- 46% oferecem tanto produtos como serviços para essa etapa.



* PEAD = Polietileno de alta densidade; PVC = Policloreto de vinila e; PEBDL = Polietileno de baixa densidade linear

ARMAZENAMENTO DE BAIXA PRESSÃO DO BIOGÁS

O sistema de armazenamento de baixa pressão permite que o biogás seja armazenado e utilizado nos momentos mais convenientes, não necessariamente logo após a sua produção. A pressão utilizada nos gasômetros varia entre 0,05 e 0,5 mbar (Seadi *et al.*, 2008). Esta etapa é fundamental para o melhor aproveitamento do biogás, pois proporciona maior flexibilidade na operação da planta e de consumo do biogás gerado.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados na etapa de armazenamento de baixa pressão

Em função dos custos e facilidade operacional, os três tipos principais de gasômetros utilizados para armazenar biogás em baixa pressão são:

| Tipo de Gasômetro | Descrição | Volume de Armazenamento |
|-----------------------|---|---|
| Dupla Membrana | Composto por duas membranas, sendo que a interna armazena o biogás e a externa é inflada com ar. | < 12 mil m ³ |
| Travesseiro | Constituído de membrana flexível. O armazenamento ocorre por meio de uma tubulação ou mangueira. Existem diversos formatos relacionados aos volumes de armazenamento. | < 500 m ³ |
| Cúpula do Biodigestor | É o mais comum em plantas de biogás, pois além de armazenar o biogás, ele é responsável por cobrir o biodigestor e impedir o contato do biogás com o ar. | Pode representar de 25% a 30% do volume do biodigestor a depender do material utilizado |

Fonte: MCTI *et al.* (2020).

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para armazenamento de baixa pressão

Os fornecedores e prestadores de serviços para sistemas de biodigestão estão localizados nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 30% do total.

Das 43 empresas que atuam com armazenamento de baixa pressão:

- 21% oferecem produtos;
- 21% disponibilizam serviços e;
- 58% oferecem tanto produtos como serviços para essa etapa.



TRATAMENTO DO BIOGÁS

O tratamento ou filtragem do biogás consiste na remoção de impurezas, tais como umidade, sulfeto de hidrogênio e outros gases traços, e visam melhorar a qualidade do biogás e evitar danos e desgastes desnecessários a equipamentos, tubulações e estruturas metálicas.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados no tratamento de biogás

Os principais componentes a serem removidos do biogás e as principais rotas tecnológicas para tratamento são:

| Principais componentes removidos nesta etapa | Descrição | Principais rotas tecnológicas |
|--|--|---|
| Sulfeto de hidrogênio | Gás corrosivo e prejudicial à saúde que, em contato com a água, gera ácido sulfúrico, responsável por danificar estruturas metálicas e equipamentos. | Durante o processo de biodigestão: processos biológicos e por reação química. Após o processo de biodigestão: Adsorção física/química, absorção física/química e sistemas biológicos. |
| Umidade | A umidade por si só não é nociva aos sistemas, porém, na presença de compostos secundários, pode gerar corrosão. | Condensação, adsorção e absorção. |

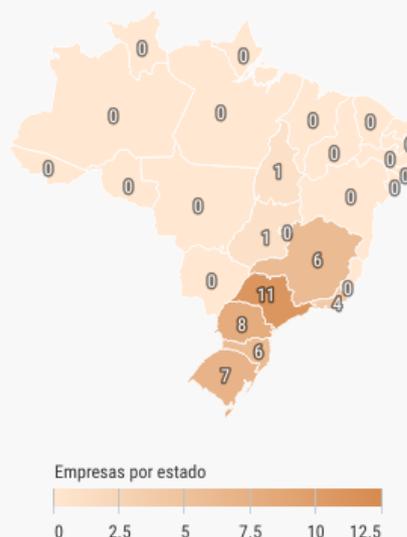
Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para sistemas de tratamento de biogás

Os fornecedores e prestadores de serviços para tratamento de biogás estão localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e Tocantins.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 28% do total.

Das 44 empresas que atuam com tratamento de biogás:

- 14% oferecem produtos;
- 34% disponibilizam serviços e;
- 52% oferecem tanto produtos como serviços para essa etapa.



PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

A etapa de purificação consiste na remoção e redução da concentração de dióxido de carbono do biogás, sulfeto de hidrogênio, umidade e outros gases traços, aumentando o teor de metano, principal componente de interesse no biogás.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados na purificação de biogás

As principais rotas tecnológicas para remoção de dióxido de carbono do biogás são:

| Principais rotas de purificação | Descrição | Exemplos de tecnologias |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|
| Absorção física | Ocorre pela diferença de solubilidade de metano e de dióxido de carbono. A mistura de biogás passa pelo fluxo de água, onde o dióxido de carbono se dissolve e o metano permanece na fase gasosa. | Water scrubbing, solventes orgânicos |
| Absorção química | O processo envolve duas colunas, uma de absorção e outra de dessorção para regeneração da solução. Tem baixas perdas de metano no líquido e alta concentração do metano no gás. Por ser um processo químico, a taxa de reação é aumentada em comparação a processos puramente físicos. | Aminas |
| Adsorção física | É baseado na adsorção seletiva de dióxido de carbono em adsorventes porosos, como o carvão ativado, a sílica gel, as zeólitas e os polímeros. | Pressure Swing Adsorption - PSA |
| Criogênico | Demanda entradas de energia significativa para operar em temperaturas muito baixas e elevadas pressões. Requer o uso de equipamentos como compressor, turbina e trocador de calor. | Criogenia |
| Permeação | O dióxido de carbono e o metano são separados a partir da diferença de permeabilidade destes componentes na membrana. | Membranas |

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para sistemas de purificação de biogás

Os fornecedores e prestadores de serviços para purificação de biogás estão localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Tocantins.

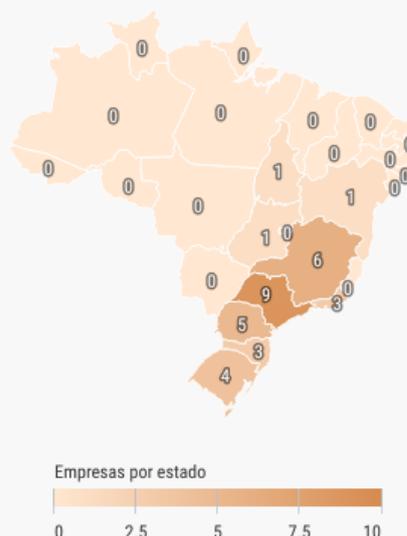
O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 27% do total.

Das 33 empresas que atuam com purificação de biogás:

9% oferecem produtos;

24% disponibilizam serviços e;

67% oferecem tanto produtos como serviços para o setor.



ARMAZENAMENTO DE ALTA PRESSÃO E PULMÃO

O armazenamento em alta pressão é utilizado, geralmente, para armazenar o biometano após a purificação, fazendo com que o mesmo possa ser empregado nos mais diversos fins ou transportado por modal rodoviário. Já o armazenamento pulmão serve como um armazenamento secundário, caso o biometano não seja utilizado de imediato e precise ficar armazenado por um determinado período.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados no armazenamento de alta pressão

O armazenamento de biometano em alta pressão pode ser na modalidade comprimido ou liquefeito. Os principais sistemas de armazenamento de alta pressão e suas características são apresentadas a seguir:

| Armazenamento | Pressão de trabalho |
|------------------------------|----------------------|
| Cilindro de Aço | Pressões até 250 bar |
| Tanque de Aço | Pressões até 250 bar |
| Cilindro de Fibra de Carbono | Pressões até 300 bar |

Fonte: MCTI *et al.* (2020).

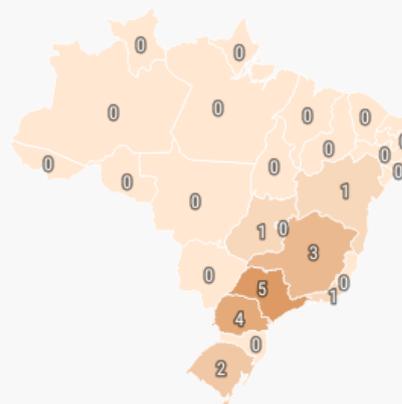
Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para sistemas de armazenamento de alta pressão

Os fornecedores e prestadores de serviços para armazenamento de alta pressão estão localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Rio Grande do Sul.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 29% do total.

Das 17 empresas que atuam com armazenamento de alta pressão:

- 23% disponibilizam serviços; e
- 77% oferecem tanto produtos como serviços para o setor.



Empresas por estado

0 2 4 6

TRANSPORTE DE BIOGÁS E BIOMETANO

Existe uma rota tecnológica específica para o transporte de cada tipo de gás (biometano, biogás e dióxido de carbono), tendo em vista que os usos e as finalidades são distintos, e que alguns exigem alta pressão para transporte, enquanto outros podem ser transportados sem pressão ou em baixa pressão.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados no transporte de biogás e biometano

O biogás pode ser transportado em redes coletoras de biogás visando integração de diferentes fontes geradoras. Da mesma forma, o biometano pode ser injetado em redes de gás natural, ou transportado via modal rodoviário na forma comprimida ou liquefeita em cilindros específicos:

| Tipo de Gás | Pressão | Transporte |
|-------------|---|-------------------------|
| Biometano | até 7 bar | Gasoduto |
| Biometano | 200 - 250 bar | Biometano comprimido |
| Biometano | Até 22 bar com controle de temperatura em caminhões criogênicos | Biometano liquefeito |
| Biogás | 4 a 7 bar | Rede coletora de Biogás |

Fonte: MCTI et al. (2020).

O transporte pode ser feito por meio de tubulações, os quais necessitam de compressores, válvulas de bloqueio, válvulas de retenção e válvulas de contra pressão. O biometano, em contrapartida, pode ser comprimido com o auxílio de compressores ou ser liquefeito e armazenado em cilindros de alta pressão ou criogênicos.

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para transporte de biogás e biometano

Os fornecedores e prestadores de serviços para transporte de biogás e biometano estão localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Tocantins.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 48% do total.

Das 40 empresas que atuam com transporte de biogás/biometano:

- 35% oferecem produtos;
- 18% disponibilizam serviços e;
- 47% oferecem tanto produtos como serviços para o setor.



APLICAÇÕES DO BIOGÁS

O biogás é uma fonte energética versátil, podendo ser utilizado para os mais diversos fins. A sua capacidade de geração de energia térmica e elétrica provém da presença de metano em sua composição. Porém sua aplicação se restringe a sistemas com menores requisitos de pureza de gás (maior concentração de metano).

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados nas aplicações do biogás

As principais aplicações do biogás podem ser observadas a seguir:

| Aplicação | Descrição | Exemplos |
|------------------|---|---|
| Energia térmica | Devido a sua composição, o biogás pode ser utilizado na geração de energia térmica, que pode ser aproveitado na própria planta de biogás, nas propriedades rurais, residências e indústrias | Cocção, geração de vapor de água, aquecedores a gás, campânulas, dentre outros. |
| Energia elétrica | Segundo o CIBiogás (2021), o maior número de plantas de biogás no Brasil hoje destina o biogás para geração de energia elétrica para autoconsumo ou geração distribuída. | Grupo Motogerador |

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para as aplicações do biogás

Os fornecedores e prestadores de serviços para aplicações do biogás em energia térmica e elétrica estão localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Tocantins, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 29% do total.

Das 78 empresas que atuam com tecnologias para aproveitamento do biogás:

- 22% oferecem produtos;
- 33% disponibilizam serviços e;
- 45% oferecem tanto produtos como serviços para o setor.



APLICAÇÕES DO BIOMETANO

O biometano é um combustível derivado da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, com propriedades equivalentes ao gás natural, tendo sua composição estabelecida pelas Resoluções ANP n°8/2015 e n°685/2017.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados nas aplicações do biometano

As principais aplicações do biometano podem ser observadas a seguir:

| Aplicações | Descrição | Exemplos |
|--|--|--|
| Energia térmica | Devido a sua qualidade equivalente ao gás natural e podendo ser injetado em gasodutos, o biometano também pode ser direcionado a sistemas de gás canalizado para atendimento de demandas térmicas em residências ou indústrias. | Uso residencial, comercial e industrial. |
| Energia elétrica | Assim como o biogás, o biometano também pode ser utilizado na geração de energia elétrica, sendo que, como a qualidade do gás é maior, aumenta o rendimento de grupos motogeradores e microturbinas. | Motogeradores e microturbinas. |
| Combustível veicular | O biometano pode ser utilizado para abastecer veículos movidos a gás natural ou que passaram por processo de adaptação para este fim. | Uso em caminhões, veículos leves, tratores, ônibus, dentre outros. |
| Recuperação e aproveitamento de dióxido de carbono | O dióxido de carbono, segundo elemento com maior concentração no biogás, pode ser recuperado em processos de purificação, podendo ser aproveitado para diversos fins, a depender do grau de pureza de dióxido de carbono obtido. | Insensibilização de animais em abatedouros; estufas; indústria química e de bebidas. |

Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para as aplicações de biometano

Os fornecedores e prestadores de serviços para sistemas de aproveitamento de biometano (térmica, elétrica e/ou veicular) estão localizados nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Pernambuco, Tocantins, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 31% do total.

Das 80 empresas que atuam com aproveitamento térmico, elétrico e/ou veicular:

- 22% oferecem produtos;
- 34% disponibilizam serviços e;
- 44% oferecem tanto produtos como serviços para o setor.



DIGESTATO: MANEJO E APLICAÇÃO

O digestato é um subproduto da digestão anaeróbia, assim como o biogás. Dependendo de sua composição, pode ser considerado um biofertilizante e pode ser utilizado como condicionador de solo. Além disso, pode ser submetido à técnicas de manejo para melhor aproveitamento de suas propriedades e recuperação de nutrientes.

Principais rotas tecnológicas e equipamentos utilizados no manejo e aplicação do digestato

O manejo do digestato pode ser feito a partir da separação da fração sólida e líquida. Os principais equipamentos para separação são:

| Digestato | Descrição |
|---------------------|--|
| Prensa parafuso | O digestato é pressionado por um parafuso contra uma tela, propiciando a separação da parte líquida que sai do separador pela peneira. |
| Centrífuga decanter | A fração sólida e líquida é separada pela ação da força centrífuga do equipamento. |
| Peneira estática | O digestato é direcionado para a parte superior da peneira, onde a fração líquida passa livremente enquanto a parte sólida é retida na superfície. |

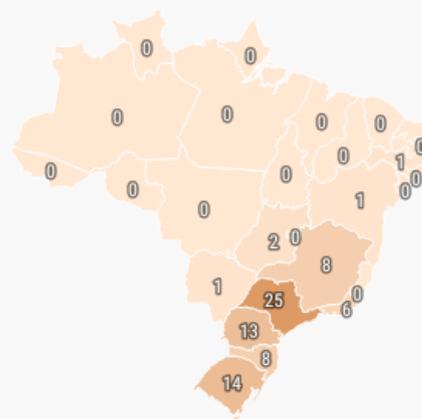
Fornecedores e prestadores de serviços no Brasil para manejo e aplicação do digestato

Os fornecedores e prestadores de serviços para manejo e aplicação de digestato estão localizados nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pernambuco, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O estado com maior concentração de empresas é São Paulo, com 32% do total.

Das 79 empresas que atuam com digestato:

- 22% oferecem produtos;
- 29% disponibilizam serviços e;
- 49% oferecem tanto produtos como serviços para o setor.



3. Recomendações para equipamentos em plantas de biogás

Uma gama variada de equipamentos é utilizada em plantas de biogás, necessários para os mais diversos fins. A falta de requisitos mínimos, parâmetros e recomendações de produção, operação e manutenção geram incertezas quanto a eficiência e segurança destes equipamentos, refletindo em toda a unidade produtora de biogás.

Segundo consulta realizada com 105 especialistas do setor, os equipamentos que mais demandam definição de padrões e requisitos são os **equipamentos de segurança, dessulfurização e desumidificação**, devido a importância de sua eficiência e garantia de funcionamento.

Em função disso e aprofundando-se no tema, buscou-se entender a influência e importância da operação desses equipamentos em plantas de biogás. A análise foi realizada a partir da perspectiva de gestão de risco desses equipamentos, identificando possíveis problemas, mensurando a probabilidade de ocorrência e o impacto gerado quando o problema acontece. Foi realizada, então, uma nova pesquisa, no formato de painel, com 32 especialistas do setor (Figura 2).



Figura 2 – Perfil dos especialistas do setor de biogás consultados.

Na perspectiva de gestão de risco, os problemas são avaliados quanto ao seu impacto e probabilidade, sendo organizados no formato de matriz. Essa matriz sinaliza a necessidade de ação em curto, médio ou longo prazo para solução/redução do risco identificado, a depender de onde o risco é posicionado na matriz (Figura 3). Se for na área onde a probabilidade e o impacto estão classificados como alto ou médio (marcadas na cor vermelha), a necessidade de ação é imediata ou em curto prazo¹. Se estiver na área onde

¹ Entende-se por curto prazo o período de 0 a 6 meses.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

a probabilidade e o impacto estão classificados como baixo ou médio (marcadas na cor verde), a possibilidade de ação é em longo prazo². Se localizado nas áreas restantes, contemplando a combinação alto/baixo e médio/médio (destacada em amarelo), orienta-se ação em médio prazo³.

Os participantes do painel opinaram, de acordo com a sua experiência no setor, sobre a probabilidade de ocorrência dos problemas apresentados e o impacto deles em plantas de biogás, caso fossem concretizados. Para cada opção de resposta atribuiu-se um valor, sendo 0,2 para baixo, 0,4 para médio e 0,8 para alto. Para a determinação dos fatores de impacto e probabilidade, foram considerados as opções com maior número de respostas iguais para cada item analisado.

| Impacto | | Probabilidade | | |
|---------|-------------|---------------|-------------|------------|
| | | Baixa (0,2) | Média (0,4) | Alta (0,8) |
| Impacto | Alto (0,8) | 0,16 | 0,32 | 0,64 |
| | Médio (0,4) | 0,08 | 0,16 | 0,32 |
| | Baixo (0,2) | 0,04 | 0,08 | 0,16 |

Figura 3 – Matriz de risco para avaliação dos riscos e desafios.

3.1 Sistemas de segurança de biogás

Os equipamentos de segurança são peças-chave em unidades produtoras de biogás. A produção e manipulação de biogás, que é um gás inflamável e que pode se tornar explosivo em determinadas condições, reforça a necessidade de equipamentos e medidas de segurança adequadas para a operação segura das plantas de biogás.

No Brasil não existem normas regulamentadoras (NBR) específicas para equipamentos de segurança de unidades produtoras de biogás. Isso possibilita a construção e operação de plantas sem itens básicos de segurança, contribuindo para deixar a unidade vulnerável a acidentes de trabalho e danos estruturais. No estudo “Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano”, realizado em 2019, foi mapeado a presença de equipamentos de segurança nas plantas de biogás localizadas na região sul do Brasil. Das unidades consultadas, 93% possuíam algum equipamento de segurança instalado e em operação (Figura 4).

² Entende-se por longo prazo o período superior a 2 anos.

³ Entende-se por médio prazo o período entre 6 meses e 2 anos.

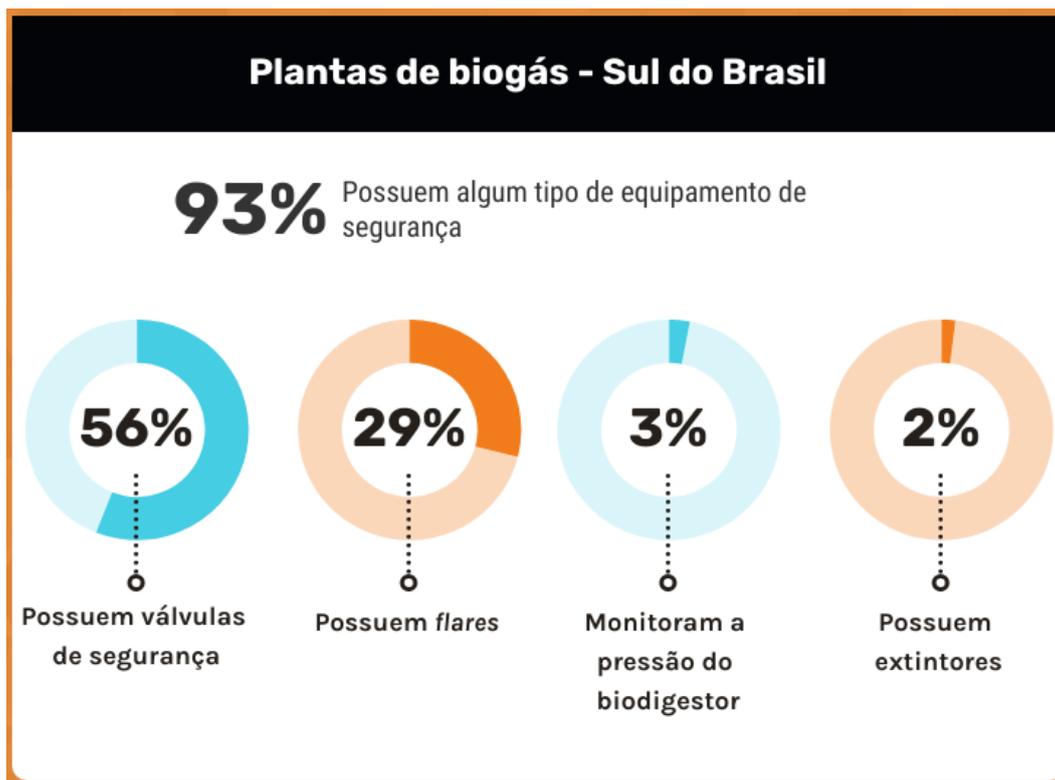


Figura 4 – Equipamentos de segurança em plantas de biogás no sul do Brasil.
Fonte: Adaptado de MCTI *et al.* (2019).

3.1.1 Requisitos e boas práticas para equipamentos de segurança em plantas de biogás

As plantas de biogás devem ser munidas de equipamentos de segurança, como, por exemplo: queimadores de gás (*flare*), válvulas corta-chama, válvulas de alívio de pressão, dentre outros. É importante que os sistemas de segurança sejam instalados em redundância, ou seja, deve-se prever a utilização de equipamentos reservas que sejam acionados em caso de falha do sistema principal. Como orientação, o Quadro 1 possui os principais componentes de segurança, seus requisitos e recomendações.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 1- Requisitos técnicos e boas práticas dos principais sistemas de segurança em plantas de biogás.

| Equipamentos | Descrição | Requisitos Técnicos | Boas práticas de operação e manutenção |
|----------------------------|--|---|--|
| Flare | O biogás retido no biodigestor é encaminhado ao <i>flare</i> para realizar a sua combustão em caso de anormalidades no sistema, de elevada pressão dentro do biodigestor/reator e quando o biogás não está sendo utilizado energeticamente e precisa ser descartado de forma adequada. | <ul style="list-style-type: none"> • O <i>flare</i> deve ser instalado considerando alguns fatores como a posição do vento e distância mínima do reator de 15 metros. • Deve possuir um sistema que proporcione um centelhamento automático, ser dotado de baterias ou gerador dedicado. • Deve ser construído de forma a propiciar o acesso de oxigênio do ar para uma combustão adequada do biogás. • Deve-se garantir uma relação estequiométrica de ar/biogás adequada para evitar que a chama se apague com a ação de intempéries. • É importante que seja dotado de válvula corta – chama para impedir o retorno do fogo ao sistema. • Dimensionamento do sistema com vazão de combustão mínima adequada à magnitude do projeto. • O ideal é que a luminosidade da chama seja de cor amarelo claro. • Ser constituído de material resistente a corrosão (aço inox). • Ser construído de tal forma que não permita o acúmulo de água em seu interior. • A ponta do <i>flare</i> deve ficar em uma altura acima de 3 metros após instalada. • Verificar a necessidade de instalação de sistemas contra descargas atmosféricas, para a prevenção de acidentes conforme a orientação de um profissional capacitado. • Devem ser incluídas placas de aviso de segurança e sinalização adequada no local de instalação. | <p>Recomenda-se verificar regularmente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A carga da bateria para ignição e/ou funcionamento adequado do gerador dedicado. • A base construtiva de concreto quanto a existência de rachaduras. • A existência de corrosão da estrutura. • O funcionamento correto do ignitor. • A funcionalidade da válvula de bloqueio de biogás. <p>Manutenções recomendadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpeza mensal do painel solar (caso seja por sistema de baterias). • Limpeza mensal dos eletrodos. • Troca dos eletrodos a cada 12 meses. |
| Válvula Corta Chama | A válvula tem por objetivo impedir que a chama gerada no local de combustão retorne ao processo, causando | <ul style="list-style-type: none"> • A válvula corta - chama precisa possuir proteção anti – denotação. • Deve ser dotado de estrutura como malha metálica e abafador para reduzir a pressão da chama. | <ul style="list-style-type: none"> • Recomenda-se substituir a válvula corta-chama a cada 12 meses, pois não são passíveis de recondicionamento ou manutenção. <p>Recomenda-se verificar regularmente:</p> |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | |
|--|--|--|--|
| | <p>combustão no interior do gasômetro/biodigestores .</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ser instalada a distância (do <i>flare</i>) mínima de 20 a 50 vezes o diâmetro da tubulação. • A direção da chama deve ser unidirecional. • A pressão de operação deve ser de 0,8 bar a 1,6 bar em instalação vertical. Em caso de instalação horizontal, deve possuir dreno para líquido e a válvula precisa ser à prova d'água (ABNT, 2019). | <ul style="list-style-type: none"> • O fluxo reverso de gás. • A possível existência de vazamento externo. • A funcionalidade da válvula sempre que houver um grande retrocesso de gás. • Pode-se utilizar esponja e sabão neutro para verificar se há vazamento. • Fazer limpeza da válvula, pois pode ficar obstruída por poeira e/ou resíduo oleoso, que possam ter entrado dentro da válvula. |
| <p>Válvula de Alívio de pressão</p> | <p>O sistema de alívio é utilizado em sistemas pressurizados, evitando que a sobre pressão cause explosão ou danos aos equipamentos.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A válvula de alívio de pressão deve ser instalada em diferença de nível de água correspondente a pressão do biogás no interior do reator. • Em caso de sobre pressão, não deve ocorrer perda de água durante o período de expulsão da pressão. • Deve ser calibrada para abrir e fechar quando atingir um nível de pressão pré-estabelecido; • Em caso de falhas, deve-se emitir alerta de sobre pressão do sistema. • Deve ser construído de material resistente a corrosão e ação do clima. • Devem ser incluídas placas de aviso de segurança e sinalização adequada no local de instalação. | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar regularmente se o líquido selante (água) está completo, para evitar perda de gás e/ou formação de ambiente propício à explosão. • A manutenção deve ser realizada por empresa especializada e com certificado de qualidade. • Recomenda-se instalar uma sonda de nível de água com alarme, para evitar perdas de biogás por falta de água. |

3.1.2 Avaliação dos riscos

A segurança em plantas de biogás depende do desempenho e operação adequada dos equipamentos de segurança, e para isso, alguns desafios tecnológicos precisam ser vencidos para a otimização destes sistemas.

Fatores como equipamentos suscetíveis a corrosão, falta de equipamentos para arranjos específicos como *flares* para plantas de pequeno porte ou válvulas de segurança para baixa pressão, bem como falta de informações técnicas sobre os equipamentos e falta de mão de obra qualificada para assistência técnica, gera incertezas e dúvidas quanto às questões de segurança de plantas de biogás.

Sistemas de biodigestão do tipo lagoa coberta operam frequentemente em baixas pressões (cerca de 10 a 15 mmH₂O), a falta de válvulas de segurança para operar nestas condições dificulta a implantação de sistemas mais seguros e que tenham condições de preservar a integridade dos biodigestores. Da mesma forma, a falta de confiabilidade destes sistemas dificulta a operação, sendo que a existência e o não funcionamento correto podem acarretar problemas de ancoragem em biodigestores, danificando sua estrutura. Outro fator de atenção é a corrosão destas estruturas, causadas pela ação do sulfeto de hidrogênio e da umidade, que podem comprometer sua capacidade operacional, reduzindo também a sua confiabilidade.

A falta de mão de obra especializada também é um desafio para válvulas de segurança e *flares*. A assistência técnica deste tipo de equipamento em plantas de biogás deve ser frequente e assertiva, para garantir a operação segura das unidades, ou seja, as empresas fornecedoras devem reforçar seus serviços de pós-venda.

As válvulas antichama são responsáveis por controlar o retorno da chama em tubulações ou equipamentos, ou seja, sua presença nas plantas é fundamental para reduzir o risco de acidente. Para que tenham operação segura e adequada, é importante que os fornecedores disponibilizem requisitos mínimos de segurança na instalação adequada e operação destes componentes. Outro fator é que estes devem possuir estrutura adequada para as condições operacionais de plantas de biogás, devendo ser desenvolvidos especialmente para este tipo de aplicação.

Os *flares* devem estar presentes em plantas de biogás para a administração segura do biogás gerado na unidade. Para isso, é preciso que eles tenham acendimento automático, ou sistema que permita que o biogás não seja eliminado de forma incorreta ao meio ambiente, sem ser queimado. Outro ponto crucial é que o mesmo seja construído de materiais resistentes à corrosão de H₂S.

Outro fator é a falta de *flares* no mercado que atendam a demanda de plantas de pequeno porte; o que prejudica a elaboração de projetos para este tipo de arranjo. Vale ressaltar que, a maior parte das plantas instaladas no Brasil hoje são de pequeno porte, sendo necessário o desenvolvimento de mercado para atender esta demanda. Por fim, a falta de informações técnicas detalhadas para o dimensionamento destes dispositivos pode também prejudicar a elaboração e funcionamento adequado deste sistema na planta de biogás.

O Quadro 2 e a Figura 5 apresentam os possíveis riscos, referentes à equipamentos de segurança de plantas de biogás, avaliados pelos especialistas do setor.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 2- Desafios para sistemas de segurança de plantas de biogás no mercado nacional, segundo especialistas.

| Código | Desafios/riscos | Descrição dos desafios/riscos | Probabilidade | Impacto | Severidade | Classificação final |
|--------|---|--|---------------|---------|------------|---------------------|
| RS01 | Falta de acendimento automático (<i>Flare</i>). | Falta de acendimento automático (ignição da chama) em <i>flares</i> devido à inexistência de sistemas de baterias ou geradores dedicados. | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RS02 | Corrosão do <i>flare</i> . | Corrosão do <i>flare</i> devido à ação do sulfeto de hidrogênio (<i>flare</i> construído com material não resistente ao H ₂ S e umidade). | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RS03 | Necessidade de tratamento de biogás para uso no <i>flare</i> . | Necessidade de tratamento (remoção de H ₂ S e umidade) do biogás antes de destiná-lo ao <i>flare</i> , devido a possibilidade de corrosão do equipamento e de seus componentes. | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RS04 | Falta de <i>flares</i> para plantas de pequeno porte. | Falta de <i>flares</i> para unidades de produção de biogás de pequeno porte. | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RS05 | Falta de requisitos mínimos de segurança (válvulas antichama). | Falta de requisitos mínimos de segurança como válvula antichama e sistema de redundância no funcionamento do centelhamento de <i>flares</i> . | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RS06 | Falta de mão de obra (<i>flares</i>). | Falta de mão de obra nacional especializada para manutenção dos <i>flares</i> . | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RS07 | Falta de informações técnicas (<i>flares</i>). | Falta de informações técnicas em catálogos de <i>flares</i> que auxiliem os profissionais no dimensionamento adequado para cada aplicação. | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RS08 | Falta de materiais construtivos alternativos (<i>flares</i>). | Falta de <i>flares</i> construídos com materiais alternativos que sejam de baixo custo. | 0,8 | 0,4 | 0,32 | Alto |
| RS09 | Falta de mão de obra (válvulas de segurança). | Falta de mão de obra nacional especializada para manutenção de válvulas de segurança do biodigestor. | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RS010 | Falta de válvulas de segurança para baixa pressão. | Falta de válvulas de segurança e sobre pressão que trabalhem com baixa pressão (mbar). | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RS11 | Falta de confiabilidade (válvulas de segurança). | Falta de confiabilidade das válvulas de segurança quanto à sua construção e operação. | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RS12 | Falta de válvulas de segurança resistentes à corrosão. | Falta de válvulas de segurança e sobre pressão construídas com materiais resistentes à ação do H ₂ S. | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | | |
|---------|-------|---------------|-----------------------|--------------------------|
| Impacto | Alto | | RS01, RS06 RS07, RS08 | RS02, RS03 RS04, RS05 |
| | Médio | | RS12 | RS09, RS10 RS11 |
| | Baixo | | | |
| | | Baixa | Média | Alta |
| | | Probabilidade | | |

Figura 5 - Matriz de desafios/riscos para sistemas de segurança de plantas de biogás no mercado nacional.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

3.1.3 Recomendações de ação para os riscos avaliados

As principais ações de mitigação para os desafios tecnológicos de equipamentos de segurança podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Mitigação dos desafios para equipamentos de segurança.

| Prioridade Alta - Sugestões de ações de curto prazo | | |
|---|---|---|
| Código | Desafios/riscos | Ações para mitigação |
| RS01 | Falta de acendimento automático (<i>Flare</i>). | <ul style="list-style-type: none"> Priorizar sistemas que possuam ignitor eletrônico alimentado por placa solar, bateria ou gerador. Instalar sistema de monitoramento da chama a partir de termopar, que constitui segurança adicional e possibilita programar seu acendimento remoto e automático, no caso da chama apagar. |
| RS02 | Corrosão do <i>flare</i> . | <ul style="list-style-type: none"> Utilizar <i>flares</i> construídos com materiais resistentes à corrosão. Reduzir a concentração de sulfeto de hidrogênio antes da destinação ao <i>flare</i>. |
| RS03 | Necessidade de tratamento de biogás para uso no <i>flare</i> . | <ul style="list-style-type: none"> Reduzir a concentração de H₂S do biogás antes da queima no <i>flare</i>, para evitar danos às estruturas nas proximidades da planta e reduzir a poluição ambiental. Empregar tecnologias de baixo custo na remoção de H₂S (como injeção de ar no biodigestor), caso o biogás não seja aproveitado e precise ser queimado em <i>flare</i>. Remover a umidade do biogás para impedir a condensação de água no equipamento, evitando obstruções. |
| RS04 | Falta de <i>flares</i> para plantas de pequeno porte. | <ul style="list-style-type: none"> Desenvolver tecnologia nacional condizente com a realidade do país para suprir este gargalo tecnológico, podendo ser empregadas medidas de tropicalização de equipamentos para aceleração da solução. |
| RS05 | Falta de requisitos mínimos de segurança (válvulas antichama). | <ul style="list-style-type: none"> Desenvolver, em conjunto com as partes interessadas, normas técnicas para requisitos mínimos de segurança para válvulas antichama utilizadas em plantas de biogás. |
| RS06 | Falta de mão de obra (<i>flares</i>). | <ul style="list-style-type: none"> Capacitar a mão de obra para serviços de assistência técnica e operação deste equipamento em plantas de biogás. |
| RS07 | Falta de informações técnicas (<i>flares</i>). | <ul style="list-style-type: none"> Disponibilizar, por parte do fornecedor, informações técnicas necessárias para o uso de forma correta do equipamento em projetos. Alinhado com a capacitação de fornecedores para garantir a operação adequada do equipamento. |
| RS08 | Falta de materiais construtivos alternativos (<i>flares</i>). | <ul style="list-style-type: none"> Desenvolver tecnologia resistente às condições ambientais e de operação e com materiais alternativos que possam reduzir o custo de investimento destes equipamentos (gargalo tecnológico). |
| RS09 | Falta de mão de obra (válvulas de segurança). | <ul style="list-style-type: none"> Capacitar a mão de obra para serviços de assistência técnica e operação deste equipamento em plantas de biogás. |
| RS010 | Falta de válvulas de segurança para baixa pressão. | <ul style="list-style-type: none"> Desenvolver tecnologia nacional condizente com a realidade do país para suprir este gargalo tecnológico, podendo ser empregadas medidas de tropicalização de equipamentos para aceleração da solução. |
| RS11 | Falta de confiabilidade (válvulas de segurança). | <ul style="list-style-type: none"> Desenvolver tecnologia nacional condizente com a realidade do país para suprir este gargalo tecnológico, podendo ser empregadas medidas de tropicalização de equipamentos para aceleração da solução. |
| Prioridade Média - Ações de médio prazo | | |
| Código | Desafios/riscos | Ações para mitigação |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | |
|-------------|--|---|
| RS12 | Falta de válvulas de segurança resistentes à corrosão. | <ul style="list-style-type: none">• Desenvolver tecnologia resistente às condições ambientais e de operação e com materiais alternativos que possam reduzir o custo de investimento destes equipamentos (gargalo tecnológico).• Utilizar tecnologia de injeção de ar no biodigestor para redução da concentração de H₂S no biogás e aumento da vida útil destes equipamentos. |
|-------------|--|---|

3.2 Dessulfurização de biogás

A dessulfurização de biogás é uma etapa importante para garantir que o sulfeto de hidrogênio seja removido do biogás, de modo a manter a integridade das estruturas metálicas, tubulações e equipamentos em plantas de biogás, tendo em conta que o H₂S é extremamente corrosivo e tóxico.

Atualmente, existem diversas tecnologias empregadas para a redução do sulfeto de hidrogênio no biogás, sendo aplicadas durante ou após o processo de biodigestão (Figura 6).

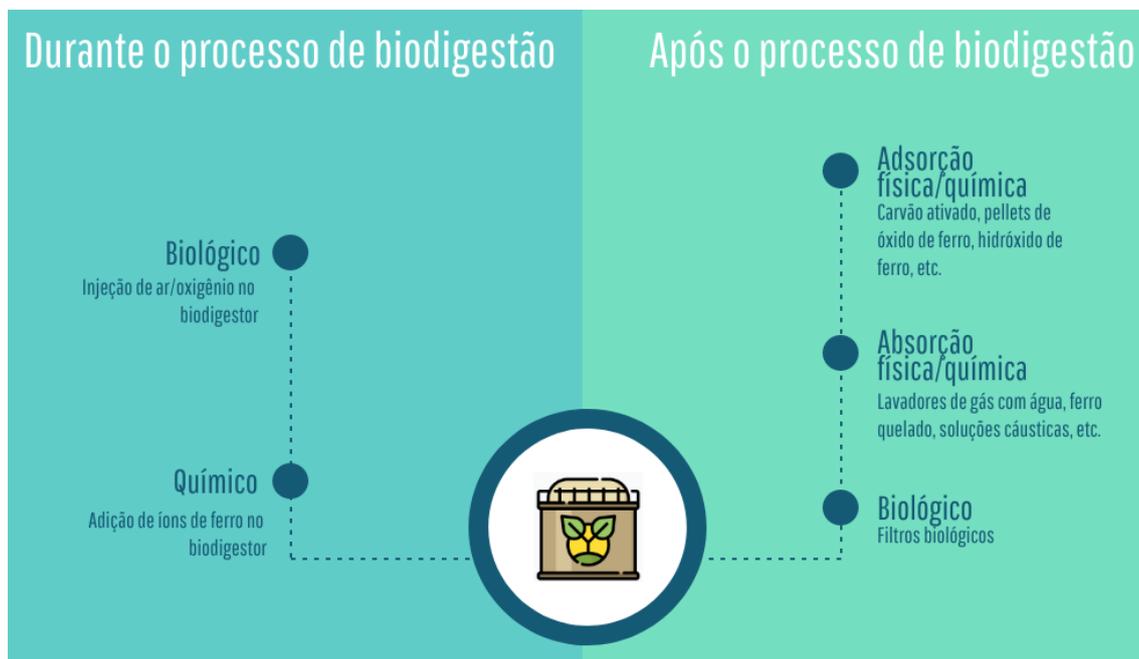


Figura 6 - Principais tecnologias para dessulfurização do biogás.

O relatório “Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano”, emitido em 2019, realizado em campo com 58 unidades produtoras de biogás no sul do Brasil, apontou que 57% das plantas possuem algum tipo de sistema de dessulfurização. As principais tecnologias utilizadas por elas incluem: dessulfurização biológica por injeção de ar no biodigestor (58%), absorção (12%) e adsorção (6%).

3.2.1 Requisitos e boas práticas para equipamentos de dessulfurização de biogás

As tecnologias e equipamentos de dessulfurização devem apresentar eficiência adequada, condizente com as etapas posteriores ao processo, para que não sejam afetadas pela ação do sulfeto de hidrogênio. Para isso, alguns requisitos e boas práticas devem ser empregadas na operação e manutenção destes sistemas. O Quadro 4 apresenta alguns dos requisitos técnicos e boas práticas para as principais tecnologias de dessulfurização de biogás.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 4 - Requisitos técnicos e boas práticas das principais tecnologias de dessulfurização de biogás.

| Etapa | Processo | Descrição | Requisitos técnicos e boas práticas |
|-----------------------------------|--|---|--|
| Durante o processo de biodigestão | <p>Biológico: Injeção de ar/oxigênio no biodigestor.</p> | <p>Consiste na injeção de ar ou oxigênio em pequenas quantidades no biodigestor. A técnica propicia o desenvolvimento de microrganismos sulfuroxidantes que reduzem o sulfeto de hidrogênio a enxofre elementar, diminuindo a concentração final de H₂S no biogás.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Para determinação do requisito mínimo de ar/oxigênio a ser inserido no biodigestor é importante considerar: a concentração de H₂S no biogás, a vazão de biogás e a demanda estequiométrica para conversão biológica (1,5 mol de oxigênio para 1 mol de H₂S). De forma geral, a orientação é que se tenha entre 2 e 6% de O₂ para que a reação aconteça. • Boas práticas indicam que a injeção de ar/oxigênio seja realizada na cúpula do biodigestor para evitar uma possível inibição do processo anaeróbio. • É necessário tomar medidas de segurança para evitar a sobredosagem do ar, pois cerca de 6 a 12% de ar no biogás pode tornar a mistura explosiva. • A dosagem de ar/oxigênio deve acompanhar as variações de alimentação do sistema de biodigestão, da produção de biogás e da concentração do H₂S. • O oxigênio e nitrogênio residual presente no biogás após a dessulfurização por injeção de ar, deve atender aos requisitos do uso posterior do biogás e das tecnologias empregadas. • A injeção de ar propicia o desenvolvimento de enxofre elementar, que pode ficar depositado na estrutura do biodigestor, reduzindo o volume útil e podendo causando o entupimento de tubulações. Desta forma, recomenda-se que sejam feitas inspeções regulares para averiguar a necessidade de antecipar a limpeza do biodigestor e/ou que sejam adotadas rotinas de agitação da biomassa no interior do biodigestor. • Recomenda-se análises periódicas ou em linha da qualidade do gás para que se necessários o volume inserido de ar seja ajustado/corrigido • Boas práticas indicam que a inserção de ar seja feita apenas após a estabilização do processo de biodigestão. • Boas práticas orientam que sejam criados meios de suporte na estrutura interna do biodigestor, para propiciar o desenvolvimento das bactérias e maximizar a dessulfurização. • Devido a variabilidade da concentração de H₂S, recomenda-se que o sistema seja automatizado para que se possa ter uma eficiência garantida ao fim do processo. |
| | <p>Químico: Adição de íons férricos no biodigestor</p> | <p>Técnica que visa a adição de sais férricos no tanque de alimentação do biodigestor juntamente com o substrato,</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A demanda de íons de ferro a ser adicionada ao biodigestor, depende da vazão de substrato, vazão de biogás, concentração de H₂S, dentre outros parâmetros. • Deve-se utilizar um fator de sobredosagem devido à presença de outros compostos que podem consumir os íons férricos adicionados: Recomenda-se um fator de sobredosagem entre 2 e 5, a depender do substrato e do íon de ferro adicionado. |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|---|
| | | <p>buscando precipitar sulfeto de ferro (FeS) insolúvel e reduzir a concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A recirculação do biogás pode ser utilizada para propiciar a transferência do H₂S da fase gasosa para a fase líquida, potencializando o processo de dessulfurização. • Existe a possibilidade de que o sulfeto de ferro fique acumulado no biodigestor. Assim, recomenda-se inspeções regulares para avaliação da necessidade de gestão do lodo. • Recomenda-se avaliar a quantidade de ferro no digestato, pois dependendo da aplicação final, pode se tornar um problema. • Avaliar a viabilidade do processo já que a técnica pode requerer um alto volume de reagente, podendo implicar em alto custo de operação. Esta técnica é eficiente para altas concentrações de sulfeto de hidrogênio, não sendo recomendado a adoção do processo para sistemas com concentração inicial de H₂S igual ou inferior a 150 ppm. |
| Após o processo de biodigestão | Adsorção física/química | <p>O processo de adsorção ocorre a partir da adesão de moléculas de H₂S na superfície de um componente sólido denominado adsorvente, que retém o poluente através de forças intermoleculares e/ou reações químicas. Exemplos: Adsorção em carvão ativado, <i>pellets</i> de óxido de ferro ou hidróxido de ferro.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A determinação da quantidade de adsorvente necessária para dessulfurização do biogás deve ser calculada a partir da capacidade de carga do adsorvente, da quantidade de sulfeto de hidrogênio que se deseja remover, da vazão de biogás e do tempo de operação da coluna. • O tempo de permanência do biogás na coluna também deve ser analisado para que o processo de tratamento seja otimizado. • Alguns tipos de adsorventes permitem que o biogás esteja com concentração mais elevada de umidade, porém, é importante que a umidade esteja abaixo do ponto de saturação para evitar a condensação na coluna, podendo bloquear os poros do adsorvente e reduzir, assim, a eficiência do sistema. • Avaliar a viabilidade de sistemas de adsorção quanto à vazão de biogás a ser tratada e o teor de H₂S a ser removido, já que a técnica, muitas vezes, implica no descarte do adsorvente utilizado sem a possibilidade ou alto custo de regeneração. • Recomenda-se adotar o uso de carvão ativado impregnado ou dopado com substâncias que realizam a oxidação do H₂S sem a presença de oxigênio, especialmente para biogás a ser destinado à produção de biometano. • Para colunas que operam com <i>pellets</i> de óxido de ferro ou hidróxido de ferro é preciso atentar-se ao processo de regeneração que libera energia, podendo propiciar a ignição do material. Em outras palavras, a regeneração deve ocorrer de forma controlada para evitar acidentes. • A regeneração dos <i>pellets</i> deve ser avaliada durante a elaboração do projeto, já que possui uma perda na capacidade de adsorção, reduzindo a vida útil do adsorvente e a eficiência do sistema. |
| | Absorção física/química | <p>O H₂S pode ser removido do biogás a partir do processo de</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Em colunas de absorção que necessitam de solubilidade otimizada do H₂S na solução, como por exemplo em lavadores de gás com água, é importante controlar |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | |
|------------------|--|--|---|
| | | <p>absorção física e química. Na absorção física, o H₂S é transferido para o meio líquido constituído de água ou solventes. Na absorção química, a solubilidade do H₂S é aumentada a partir da adição de compostos químicos que irão reagir com H₂S dissolvido. Exemplos de sistemas que operam com o princípio de absorção: Lavadores de gás com água, ferro quelado, soluções cáusticas, aminas, dentre outros.</p> | <p>a temperatura, a pressão e a razão líquido/gás, para que a transferência do meio gasoso para o meio líquido seja o mais eficiente possível.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em lavadores de gás com água regenerados com adição de ar, recomenda-se que a concentração de entrada do H₂S seja inferior a 500 ppm, para evitar obstruções e incrustações no sistema regenerativo e formação de grandes quantidades de ácido sulfúrico. • Em lavadores de gás com soluções cáusticas, recomenda-se controlar o pH da solução e/ou adicionar um oxidante para ajustar a seletividade ao H₂S e reduzir o consumo de produtos químicos. • Por questões econômicas, em lavadores de gás onde o solvente não é regenerável e tem um custo elevado, recomenda-se controlar a concentração de H₂S no biogás tratado em cerca de 50 a 100 ppm, e realizar um polimento com outras tecnologias, como carvão ativado. • Recomenda-se o uso de soluções cáusticas para dessulfurização de biogás com alta concentração de H₂S (acima de 1000 ppm) e flutuação constante deste componente. |
| <p>Biológico</p> | | <p>O mesmo princípio de redução de H₂S durante o processo de biodigestão por rota biológica pode ser utilizado posteriormente ao biodigestor a partir de filtros biológicos. As bactérias são mantidas em colunas onde são inseridos nutrientes e oxigênio para seu desenvolvimento, e o biogás é suplementado na coluna, gerando a redução do sulfeto de hidrogênio da corrente de gás.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O desempenho estável de operação de filtros biológicos, depende do controle de parâmetros básicos de processo como umidade, pH, nutrientes e temperatura. • A umidade é essencial em filtros biológicos, porém, o excesso de água pode reduzir a eficiência do sistema, formando zonas anaeróbias no leito de reação. Recomenda-se adicionar ar saturado de água, ou uma irrigação periódica do filtro, para compensar a perda de umidade ocorrida no processo de tratamento do gás. A umidade dentro de filtros biológicos deve permanecer adequada para que o processo não sofra grandes interferências. Recomenda-se que a umidade seja mantida entre 20 e 60%. • A mudança do potencial hidrogeniônico (pH) afeta consideravelmente a operação do filtro. Os produtos de reações intermediárias formadas no leito geram alterações de pH em operações em longo prazo. O pH também deve ser controlado, sendo o ideal entre 6 e 8. • A temperatura do sistema deve permanecer relativamente constante para um bom funcionamento do filtro biológico. Recomenda-se controlar a temperatura do biogás de entrada, pois, à medida que a temperatura aumenta no sistema, a taxa metabólica aumenta, e a sorção do H₂S diminui. Em temperaturas muito elevadas pode ocorrer a interrupção do crescimento de microrganismos. Por isso, é importante manter uma temperatura entre 35 e 37°C. • É necessário suplementar os nutrientes adequados para o desenvolvimento dos microrganismos, como nitrogênio, fósforo e oligoelementos, podendo ser fornecidos |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | em conjunto com o sistema de umidificação da coluna, ser suplementado na forma de fertilizante comercial ou a partir de efluente disponível na planta de biogás. |
|--|--|--|--|

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Os sistemas de dessulfurização devem atender as necessidades do arranjo tecnológico proposto, por isso a escolha da tecnologia mais adequada para cada planta de biogás deve estar pautada em diversos fatores como: concentração inicial de H₂S, concentração desejada de H₂S após o sistema de tratamento, vazão de biogás, aplicação energética do biogás, dentre outros. A combinação de diferentes rotas tecnológicas de dessulfurização, pode ser uma alternativa relevante do ponto de vista técnico e econômico.

É importante avaliar a viabilidade de aplicação das tecnologias, pois, alguns sistemas podem se tornar inviáveis financeiramente em baixas vazões de gás. Tecnologias que empregam alta pressão e controle de temperatura exigem alto consumo de energia, os quais resultarão em altos custos de operação.

Ademais, altas concentrações de sulfeto de hidrogênio podem encarecer algumas formas de tratamento, inclusive as que utilizam reagentes, adsorventes que não possuem regeneração, ou regeneração de alto custo. Nestes casos, recomenda-se a utilização de técnicas que são utilizadas como medidas de primeiro tratamento (geralmente ainda no biodigestor) para reduzir a concentração de H₂S e a utilização de técnica secundária como forma de polimento do gás.

Os sistemas de dessulfurização devem entregar eficiência condizente com a aplicação final do biogás ou com a demanda da próxima etapa do arranjo. As recomendações para concentração máxima de H₂S nas diferentes aplicações podem ser observadas no Quadro 5. Vale ressaltar que estes limites têm relação direta com a capacidade de operação dos equipamentos e/ou exigências da legislação quanto à qualidade, porém, não estão atrelados a padrões de emissão de gases.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 5 - Recomendações de concentração máxima de H₂S no biogás após a saída de sistemas de dessulfurização em função da tecnologia ou aplicação posterior do biogás.

| Aplicação | Boas práticas | Uso final | Concentração máxima* (mg/m ³) |
|-------------------------|--|--|---|
| Energia térmica | A queima do sulfeto de hidrogênio, presente no biogás, pode propiciar a formação de dióxido de enxofre que, quando eliminado em chaminés, pode acarretar na corrosão de estruturas e de equipamentos metálicos no local. Outro fator é que na presença de umidade o dióxido de enxofre pode ser convertido a ácido sulfúrico, que pode causar danos à estrutura de caldeiras e de tubulações. Desta forma, recomenda-se a remoção do sulfeto de hidrogênio antes do processo de geração de energia térmica, para manter a integridade das estruturas e redução da poluição do ar. Além do mais, recomenda-se que a concentração de H ₂ S no biogás destinado a fogões, siga o padrão estabelecido pela ANP para biometano, já que a concentração determinada em legislação é adequada para uso em instalações residenciais, industriais e comerciais. | Fogões: | 10 |
| | | Caldeiras: | 1.300 |
| Energia Elétrica | Da mesma forma como as caldeiras, os motogeradores também podem sofrer danos causados pela presença de H ₂ S no biogás. Os motogeradores fornecidos atualmente no mercado possuem especificações bem definidas quanto à concentração de H ₂ S. Já as microturbinas possuem uma tolerância maior ao sulfeto de hidrogênio. | Motogeradores: | 270 |
| | | Microturbinas: | 6.900 |
| Biometano | A concentração de H ₂ S no biometano proveniente de resíduos agrossilvopastoris é definido pela Resolução ANP n°8/2015 e o biometano de estações de tratamento de esgoto e aterro sanitário é definido pela Resolução ANP n°685/2017. | Uso veicular, em instalações residenciais, industriais e comerciais: | 10 |

*Os valores para energia térmica e elétrica são apenas recomendações, determinados a partir de especificações de equipamentos e da experiência em campo. Porém, os valores podem variar, para mais ou para menos, segundo exigências de cada fornecedor e níveis de emissão de gases. Para biometano os valores de concentração são estabelecidos por Resoluções da ANP.

3.2.2 Avaliação dos riscos

Apesar dos princípios de funcionamento das tecnologias de dessulfurização já serem validados, alguns equipamentos fornecidos no mercado nacional ainda geram desafios tecnológicos em plantas de biogás.

Fatores como falta de automação, baixa confiabilidade do sistema, e falta de mão de obra especializada para assistência técnica, colocam em dúvida o funcionamento adequado e a eficiência dos sistemas, impactando o processo de aproveitamento do biogás.

A inserção de ar no biodigestor para redução da concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás vem sendo bastante difundida no país, em função do baixo custo de investimento e operação. Assim como a digestão anaeróbia, o método de adição de ar também opera a partir de processos biológicos, gerando grandes incertezas quanto à sua eficiência. A automação deste tipo de sistema já existe no mercado, porém, isto eleva o preço da solução, gerando custos de investimentos equiparáveis com outras tecnologias de dessulfurização.

A automação deste tipo de sistema se faz necessária tanto para garantir a eficiência do sistema como para uma operação segura e adequada, já que existe um limite de oxigênio que pode ser inserido no sistema para evitar riscos de explosões e danos ao processo anaeróbio. A confiabilidade deste tipo de sistema também está atrelada ao bom desempenho do biodigestor. Os microrganismos responsáveis pela dessulfurização também necessitam de condições adequadas para seu desenvolvimento, o que inclui controle de temperatura, nutrientes, pH, dentre outros.

Os sistemas de dessulfurização possuem, muitas vezes, operações complexas que exigem um grau especializado de conhecimento para uma adequada manutenção e operação. É imprescindível que os fornecedores e prestadores de serviços dominem a tecnologia que fornecem ao mercado e que o operador da planta tenha todas as instruções necessárias para o bom desempenho do sistema. Desta forma, é necessário que os profissionais sejam capacitados para atuar com estes sistemas e que os fornecedores ofereçam o serviço de assistência técnica no pós-venda.

Os sistemas de dessulfurização com carvão ativado são caracterizados pela não regeneração do carvão no local de uso, já que, para isso, são necessárias tecnologias secundárias. Com o aumento no uso desta técnica é importante que se desenvolva um mercado capaz de atender a demanda completa de serviço, incluindo a disponibilização do sistema, dos consumíveis (por exemplo, carvão ativado) e de sua logística reversa, sendo por meio da regeneração ou destinação final.

Além do mais, a falta de informações técnicas sobre os consumíveis pode prejudicar o dimensionamento adequado dos sistemas de adsorção. Por isso, é imprescindível que os fornecedores submetam os adsorventes a testes de eficiência e de capacidade de adsorção, para que o sistema seja dimensionado e opere adequadamente.

Por fim, a falta de confiabilidade dos sistemas de dessulfurização por adsorção podem estar atrelados a diversos fatores. Assim, é importante que os sistemas fornecidos no mercado tenham especificações técnicas bem definidas, alinhadas com a realidade de plantas nacionais e que garantam eficiência nas condições de operação propostas. O Quadro 6 e a Figura 7 apresentam alguns desafios, referentes à equipamentos de dessulfurização de biogás, listados por especialistas do setor.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 6 - Desafios para dessulfurização de biogás no mercado nacional segundo especialistas.

| Código | Desafios/risco | Descrição dos desafios/risco | Probabilidade | Impacto | Severidade | Classificação final |
|--------|--|--|---------------|---------|------------|---------------------|
| RD01 | Falta de automação (inserção de ar no biodigestor) | Falta de automação para controle adequado de inserção de ar e monitoramento da qualidade do biogás no tratamento biológico por inserção de ar no biodigestor. | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RD02 | Baixa confiabilidade (inserção de ar no biodigestor) | Baixa confiabilidade do sistema de inserção de ar devido à alta variabilidade da eficiência. (Tratamento biológico - inserção de ar no biodigestor). | 0,8 | 0,4 | 0,32 | Alto |
| RD03 | Falta de mão de obra (inserção de ar no biodigestor) | Falta de mão de obra especializada para assistência técnica do sistema. (Tratamento biológico - injeção de ar no biodigestor). | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RD04 | Falta de regeneração de carvão ativado (Adsorção) | Falta de sistema de regeneração de carvão ativado para reutilização. (Adsorção em carvão ativado). | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RD05 | Falta de serviço completo (Adsorção) | Falta de fornecimento de serviço completo para adsorção em carvão ativado: venda, regeneração, reposição e destinação final do adsorvente. (Adsorção em carvão ativado). | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RD06 | Falta de mão de obra (Adsorção) | Falta de mão de obra especializada para assistência técnica do sistema. (Adsorção em carvão ativado). | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RD07 | Falta de informações técnicas (Adsorção) | Falta de informações técnicas sobre o carvão ativado, dificultando o dimensionamento dos sistemas. (Adsorção em carvão ativado). | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RD08 | Falta de confiabilidade (adsorção) | Falta de confiabilidade da qualidade do carvão ativado. (Adsorção em carvão ativado). | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |

| | | | | |
|---------|-------|--------------|--------------|------|
| Impacto | Alto | RD03 RD06 | | RD01 |
| | Médio | | RD04 RD07 | RD02 |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | | |
|--|-------|---------------|-------|--------------|
| | Baixo | | | RD05 RD08 |
| | | Baixa | Média | Alta |
| | | Probabilidade | | |

Figura 7 - Matriz de desafios/riscos para sistemas de dessulfurização de biogás no mercado nacional.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

3.2.3 Recomendações de ação para os riscos avaliados

As principais ações de mitigação para os desafios tecnológicos de equipamentos de dessulfurização são observados no Quadro 7.

Quadro 7 - Mitigação dos desafios para equipamentos de dessulfurização de biogás.

| Prioridade Alta - Sugestão de ações em curto prazo | | |
|--|--|--|
| Código | Desafios/riscos | Ações para mitigação |
| RD01 | Falta de monitoramento e automação (inserção de ar no biodigestor) | <ul style="list-style-type: none">Realizar controle recorrente das condições de operação do biodigestor;Realizar monitoramento do processo de inserção para que ele seja realizado de forma adequada;Implementar sensores no biodigestor para coleta de informações que subsidiem a tomada de decisão.Adicionar alarmes e dispositivos de interrupção de operação e para situações em que condições são excedidas para manutenção da segurança de operação do sistema e da qualidade final do biogás. |
| RD02 | Baixa confiabilidade (inserção de ar no biodigestor) | <ul style="list-style-type: none">Aumentar a confiabilidade dos sistemas de inserção de ar por meio de sistemas automatizados que acompanham as variações necessárias, visando a produção e qualidade do biogás. |
| Prioridade Média - Sugestões de ações em médio prazo | | |
| RD03 | Falta de mão de obra (inserção de ar no biodigestor) | <ul style="list-style-type: none">Capacitar a mão de obra para serviços de assistência técnica e operação deste equipamento em plantas de biogás. |
| RD04 | Falta de regeneração de carvão ativado (Adsorção) | <ul style="list-style-type: none">Desenvolver um mercado capaz de absorver a demanda de carvão a ser regenerado ou que empresas fornecedoras de carvão ativado façam a logística reversa do mesmo. |
| RD05 | Falta de serviço completo (Adsorção) | <ul style="list-style-type: none">Desenvolver um mercado fornecedor da tecnologia de adsorção que atenda todas as etapas necessárias, incluindo instalação, comissionamento, fornecimento de carvão e regeneração/destinação final. |
| RD06 | Falta de mão de obra (Adsorção) | <ul style="list-style-type: none">Capacitar a mão de obra para serviços de assistência técnica e operação dos equipamentos em plantas de biogás. |
| RD07 | Falta de informações técnicas (Adsorção) | <ul style="list-style-type: none">Disponibilizar, por parte do fornecedor, informações técnicas necessárias para que projetos sejam elaborados com mais exatidão, já que cada fornecedor possui suas próprias especificações. |
| RD08 | Falta de confiabilidade (adsorção) | <ul style="list-style-type: none">Submeter o carvão ativado a ensaios de eficiência e capacidade de adsorção, para que os sistemas possam ser projetados com maior precisão. |

3.3 Desumidificação de biogás

O biogás é, naturalmente, saturado de água, em função das condições em que é gerado. Parte da umidade pode condensar em tubulações, devendo ser removida por sistemas de purga e/ou, ainda, ter sua concentração reduzida a partir de diferentes tecnologias, que são empregadas a depender das especificidades da aplicação final do biogás. As principais rotas tecnológicas para remoção de umidade do biogás utilizadas atualmente são: Condensação, Absorção e Adsorção.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

A remoção de umidade do biogás é importante pois, na presença de outros compostos como sulfeto de hidrogênio e amônia, produtos secundários podem ser formados (como ácido sulfúrico), causando corrosão de estruturas metálicas, de tubulações e danificando equipamentos. Além do mais, a remoção da umidade também contribui para a melhora na qualidade do gás, sendo que, para diferentes aplicações, são necessários variados graus de concentração de umidade no biogás ou biometano.

No levantamento apresentado no relatório “Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano”, publicado em 2019, 62% das unidades produtoras de biogás entrevistadas possuíam algum tipo de sistema de desumidificação de biogás; destes, 89% utilizavam a tecnologia de condensação para remoção de água.

3.3.1 Requisitos e boas práticas para equipamentos de desumidificação de biogás

Devido à relevância desta etapa no tratamento do biogás, é importante seu bom desempenho e eficiência para atendimento das demandas da planta. Neste sentido, alguns requisitos para as tecnologias de desumidificação devem ser adotadas, e boas práticas podem ser empregadas, para melhoramento destes sistemas. O Quadro 8 destaca os requisitos para as diferentes tecnologias de desumidificação e as boas práticas de operação e manutenção destes sistemas.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 8 - Requisitos técnicos e boas práticas dos principais sistemas de desumidificação de biogás.

| Sistema | Descrição | Requisitos técnicos e boas práticas |
|--------------------|---|---|
| Condensação | O processo de condensação consiste em reduzir a temperatura do biogás, fazendo com que a umidade presente condense e seja removida, a partir de purga nos condensadores. A eficiência deste sistema se relaciona com a temperatura a que o gás é submetido e com a pressão de trabalho. | <ul style="list-style-type: none">• É atualmente o processo de desumidificação mais empregado e mais simples disponível no mercado.• É necessário controlar a temperatura e a pressão de trabalho para evitar congelamento da água nos trocadores de calor.• Sistemas que operam com gás comprimido são mais eficientes na remoção de umidade. |
| Absorção | A absorção também pode ser utilizada para remoção de umidade do biogás. Utilizam-se colunas de absorção contendo soluções que possuem afinidade com a água. Estas soluções são regeneradas a partir da elevação da temperatura. | <ul style="list-style-type: none">• Possibilidade de remover, simultaneamente, particulados, não sendo necessário, neste caso, tratamento prévio para remoção do mesmo.• Podem ser utilizadas diversas soluções, tais como cloreto de cálcio, cloreto de lítio e glicol. O mais comumente utilizado é o trietilenoglicol, por ser financeiramente mais acessível.• O consumo de energia para regeneração do solvente pode ser elevado, já que é necessário que o líquido seja aquecido a temperaturas de até 200°C.• Possui alto custo operacional e de investimento. Por isso, recomenda-se que seja empregado para tratamento de gás com uma vazão superior a 500 m³/hora, para ser possível a viabilização do sistema. |
| Adsorção | São utilizadas colunas preenchidas com adsorventes que possuem afinidade com a água. O gás é injetado na base da coluna, em condições de pressão controlada, e a água fica aderida na superfície do adsorvente, sendo eliminada na base da coluna. O gás seco sai pelo topo da coluna e pode ser destinado a outros processos. A regeneração é geralmente realizada a partir de modulação da pressão. | <ul style="list-style-type: none">• Devido às condições de operação, podem ter alta eficiência na remoção de umidade, podendo atingir pontos de orvalho⁴ de até -45°C.• Necessário que o sistema opere com pressão elevada (cerca de 6 a 10 bar).• Recomenda-se a operação de colunas em paralelo, para que, enquanto uma estiver em operação, a outra possa estar sendo regenerada. |

⁴ Ponto de orvalho é dado pela temperatura que o gás precisa ser resfriado para que a condensação da água seja iniciada.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Da mesma forma como os sistemas de dessulfurização, os desumidificadores necessitam entregar eficiência adequada para aplicações posteriores ao biogás. Neste sentido, o Quadro 9 indica a recomendação de limites máximos de umidade para cada aplicação do biogás/biometano.

Quadro 9 - Recomendações de concentração máxima de umidade no biogás após a saída de sistemas de desumidificação em função da tecnologia ou aplicação posterior do biogás.

| Aplicação | Descrição | Uso final | Umidade |
|-------------------------|--|--|--|
| Energia térmica | O excesso de umidade no biogás pode reduzir sua qualidade. Desta forma, recomenda-se, sempre, remover parte da umidade para que o biogás possa ser mais bem aproveitado nesta aplicação energética. | Fogões: | A umidade relativa deve ser inferior ao ponto de orvalho da temperatura do solo. * |
| | | Caldeiras: | ≤ 60% ** |
| Energia Elétrica | A umidade também deve ser removida do biogás para sua utilização na geração de energia elétrica. Na presença de outros compostos (como H ₂ S) forma-se ácido sulfúrico que pode danificar os motogeradores. | Motogeradores: | 50% a 80% * |
| | | Microturbinas: 50% a 80% | O gás de alimentação precisa estar com uma temperatura no mínimo 15°C acima do ponto de orvalho. ** |
| Biometano | A concentração de umidade no biometano proveniente de resíduos agrossilvopastoris é definida pela Resolução ANP n°8/2015 e no biometano de estações de tratamento de esgoto e aterro sanitário é definida pela Resolução ANP n°685/2017. | Uso veicular, em instalações residenciais, industriais e comerciais: | Ponto de orvalho por região: *** Norte e nordeste: -39°C Centro oeste, sudeste e sul: -45°C |

Fonte: *PROBIOGÁS, 2015; ** consulta a fornecedores; ***Resoluções ANP n°8/2015 e ANP n°685/2017.

3.3.2 Avaliação dos riscos

A desumidificação é uma etapa importante em plantas de biogás, já que boa parte das aplicações necessita de um gás seco para utilização. Apesar disso, alguns desafios tecnológicos ainda precisam ser superados para melhorar a confiabilidade e eficiência destes sistemas.

Segundo especialistas do setor, alguns pontos são importantes a serem solucionados, tais como falta de informações técnicas e de profissionais capacitados para manutenção destes equipamentos, baixa eficiência científica e falta de automação nos processos.

Os sistemas de desumidificação precisam ter suas informações técnicas e requisitos de operação bem definidos para que os responsáveis por projetar estes sistemas tenham o arcabouço necessário para seu dimensionamento e garantia, visando atender as necessidades do arranjo. Ainda, além de fornecer equipamentos de desumidificação adequados, é importante que tenham profissionais capacitados para prestar assistência técnica, fator primordial para manter a operacionalidade da planta.

Um dos grandes desafios destes equipamentos é a baixa eficiência ou a falta de garantia de eficiência pelos fornecedores, o que torna o arranjo incerto, podendo prejudicar etapas posteriores da unidade produtora de biogás. Dessa forma, a realização de ensaios de qualidade e/ou certificação são formas seguras de demonstrar a confiabilidade destes equipamentos no mercado nacional.

Sistemas de desumidificação possuem grande demanda de energia para arrefecimento do gás e de substâncias refrigerantes, impactando significativamente no custo de operação. Desta forma, os sistemas de remoção de umidade devem possuir boa eficiência elétrica, gerando maior sustentabilidade financeira à planta de biogás. Outro fator determinante nesse cenário é a automação destes sistemas, que também pode contribuir no desempenho do processo de remoção de umidade e no consumo de energia destes equipamentos, facilitando a operação.

Os sistemas de desumidificação, muitas vezes, são instalados antes de sistemas de dessulfurização, e, por isso, precisam ser constituídos de material resistente à ação de sulfeto de hidrogênio, o que pode encarecer o custo de aquisição destes equipamentos. Desta forma, é importante o desenvolvimento de equipamentos com materiais alternativos tornando-os mais acessíveis a plantas de biogás.

Os desafios elencados pelos profissionais, e o resultado da avaliação do painel de especialistas quanto à probabilidade e impacto de ocorrência dos mesmos, podem ser observados no Quadro 10 e Figura 8.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Quadro 10 - Desafios para desumidificação de biogás no mercado nacional segundo especialistas.

| Código | Desafios/riscos | Descrição dos desafios/riscos | Probabilidade | Impacto | Severidade | Classificação final |
|-------------|--|--|---------------|---------|------------|---------------------|
| RU01 | Baixa eficiência elétrica. | Equipamentos de desumidificação com baixa eficiência elétrica. | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RU02 | Falta de informações técnicas. | Falta de informações técnicas como capacidade de remoção de umidade e consumo energético dos sistemas de desumidificação. | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RU03 | Falta de automação. | Falta de automação dos equipamentos de desumidificação. | 0,4 | 0,4 | 0,16 | Médio |
| RU04 | Falta de profissionais capacitados. | Falta de profissionais capacitados para assistência técnica nos equipamentos de desumidificação. | 0,8 | 0,8 | 0,64 | Alto |
| RU05 | Falta de ensaios de qualidade ou certificação. | Falta de ensaios de qualidade ou certificação nos equipamentos de desumidificação. | 0,8 | 0,4 | 0,32 | Alto |
| RU06 | Falta de equipamentos de materiais alternativos. | Falta de equipamentos de desumidificação construídos em materiais alternativos ao aço inox, contribuindo para a redução de custos. | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |
| RU07 | Baixa eficiência. | Baixa eficiência de remoção de umidade dos equipamentos de desumidificação. | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Alto |

| | | | | |
|----------------|-------|-------------|-------------|----------------------|
| Impacto | Alto | RU01 | RU05 | RU02 RU04 |
| | Médio | | RU03 | RU06 RU07 |
| | Baixo | | | |

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

| | | | |
|--|---------------|-------|------|
| | Baixa | Média | Alta |
| | Probabilidade | | |

Figura 8 - Matriz de desafios/riscos para sistemas de desumidificação de biogás no mercado nacional.

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

3.3.3 Recomendações de ação para os riscos avaliados

O Quadro 11 apresenta as recomendações de ação para mitigação dos desafios para equipamentos de desumidificação de plantas de biogás.

Quadro 11 - Mitigação dos desafios para equipamentos de desumidificação de biogás.

| Prioridade Alta - Sugestões de ações em curto prazo | | |
|--|--|--|
| Código | Desafios/riscos | Ações para mitigação |
| RU02 | Falta de informações técnicas. | <ul style="list-style-type: none">Disponibilizar, por parte do fornecedor, informações técnicas necessárias para que um projeto seja elaborado com exatidão, considerando que cada fornecedor possui suas próprias especificações. |
| RU04 | Falta de profissionais capacitados. | <ul style="list-style-type: none">Capacitar a mão de obra para serviços de assistência técnica e operação dos equipamentos em plantas de biogás. |
| RU05 | Falta de ensaios de qualidade ou certificação. | <ul style="list-style-type: none">Realizar ensaios de qualidade e certificação de equipamentos de desumidificação, objetivando fornecer confiabilidade ao cliente e estabelecer suas condições ideais de operação. |
| RU06 | Falta de equipamentos de materiais alternativos. | <ul style="list-style-type: none">Desenvolver tecnologia resistente às condições ambientais e de operação e com materiais alternativos que possam reduzir o custo de investimento destes equipamentos (gargalo tecnológico). |
| RU07 | Baixa eficiência. | <ul style="list-style-type: none">Realizar ensaios de qualidade,Investir em automaçãoAprimorar tecnologias existentes. |
| Prioridade Média - Ações de médio prazo | | |
| RU01 | Baixa eficiência elétrica. | <ul style="list-style-type: none">Automatizar os sistemas, de modo a auxiliar no controle da variação de temperatura e na otimização do consumo de energia para arrefecimento do sistema. |
| RU03 | Falta de automação. | <ul style="list-style-type: none">Aprimorar os sistemas atuais para comportar automação de seus processos. A automação é fundamental neste tipo de sistema para controle da eficiência. |

4. Considerações finais

O sucesso de uma planta de biogás está atrelado à sincronidade de eficiência e desempenho de todas as etapas, processos e equipamentos envolvidos. Nesta visão, os equipamentos fornecidos devem trazer confiabilidade à operação. Portanto, é necessário que as tecnologias amadureçam, e possibilitem a existência de garantias quanto à eficiência de funcionamento.

Os principais desafios analisados pelos profissionais do setor estão relacionados justamente com a falta de confiabilidade e de garantia de eficiência dos sistemas, além de falta de informações técnicas e de mão de obra especializada.

Neste sentido, os desafios tecnológicos precisam ser vencidos para que haja maior uniformidade dos equipamentos fornecidos no mercado, de modo a permitir que se atinja padrões de qualidade e segurança nos equipamentos de segurança, dessulfurização e desumidificação de biogás e que o amadurecimento tecnológico contribua para a estruturação de normas técnicas para o setor.

5. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP Nº 8, de 30.1.2015, Dou 2 de fevereiro de 2015.** Aplica-se ao biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP nº685 de 29 de junho de 2017.** Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 16852 de 08/2019. **Corta-chamas — Requisitos de desempenho, métodos de ensaio e limites de aplicação.** 60 p.

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (PROBIOGÁS). **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás** / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Oliver Jende ... [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto** / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Bruno Silveira ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - BIOGÁS (CIBIOGÁS). **Nota Técnica: Nº 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020.** Foz do Iguaçu, Março de 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (Brasil); UNIDO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CIBIOGÁS, CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano.** 2019. MCTI. Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (Brasil); UNIDO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Tecnologias de Tratamento de Biogás e Produção de Biometano. Aula 1 Tecnologia de Tratamento e Produção de Biometano.** 2020. MCTI. Brasília-DF. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (Brasil); UNIDO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CIBIOGÁS, Centro Internacional de Energias Renováveis. **Roadmap Tecnológico do**

Recomendações para equipamentos de tratamento e de segurança de plantas de biogás – Guia técnico

Biogás do Projeto GEF Biogás Brasil. 2021. MCTI. Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

SEADI, T. A.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KÖTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. **Biogas Handbook.** University of Southern Denmark Esbjerg: Esbjerg, 2008. 126p.



ABiogás
Associação Brasileira do Biogás



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Biogás
BRASIL