



Guia prático para projetos de biogás



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; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Guia prático para projetos de biogás.** 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:

Guia prático para projetos de biogás

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
Marcelo Bortoli - UTFPR
Marcia Hino – CIBiogás
Natalí Nunes – UNIDO | CIBiogás
Nicolas Berhorst– UNIDO | CIBiogás

Coordenação:

Felipe Souza Marques – UNIDO | CIBiogás

Editoração:

Nicole Mattiello

Data de publicação: agosto, 2022

O68p Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Guia prático para projetos de biogás / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ; Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022.
79 p.:il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-67-0

1. Biogás – Brasil. 2. Biogás – Agroindústria – Brasil. 3. Biogás - Plantas. 4. Biogás - Segurança. 5. Biomassa. I. Freddo, Alessandra. II. Navarro, Karina C.. III. Carmona, Larissa S.. IV. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. V. UNIDO. VI. Centro Internacional de Energias Renováveis. 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. Projetos para plantas de biogás	7
2.1 Gestão da Biomassa	10
2.1.1 Tipo e disponibilidade do substrato.....	11
2.1.2 Características físico-químicas do substrato e potencial de produção de biogás	12
2.1.3 Transporte e armazenamento	12
2.1.4 Pré-tratamento e alimentação do biodigestor	13
2.1.5 Boas práticas e recomendações.....	13
2.1.6 Conteúdos complementares	15
2.2 Digestão Anaeróbia	16
2.2.1 Escolha da tecnologia de biodigestão adequada	16
2.2.2 Definição de parâmetros operacionais.....	17
2.2.3 Dimensionamento do biodigestor.....	17
2.2.4 Boas práticas e recomendações.....	18
2.2.5 Conteúdos Complementares	20
2.3 Armazenamento, tratamento e/ou purificação de biogás.....	21
2.3.1 Volume e vazão de biogás.....	21
2.3.2 Armazenamento de biogás	22
2.3.3 Determinação das tecnologias de tratamento e purificação de biogás	22
2.3.4 Boas práticas e recomendações.....	23
2.3.5 Conteúdos Complementares	24
2.4 Aplicação do biogás e biometano	25
2.4.1 Energia térmica.....	25
2.4.1.1 Boas práticas e recomendações	26
2.4.1.2 Conteúdos Complementares	26
2.4.2 Energia elétrica	26
2.4.2.1 Boas práticas e recomendações.....	27
2.4.2.2 Conteúdos Complementares	28
2.4.3 Biometano.....	29
2.4.3.1 Boas práticas e recomendações.....	29
2.4.3.2 Conteúdos Complementares	30
2.5 Gestão do digestato.....	31
2.5.1 Armazenamento do digestato	31
2.5.2 Manejo do digestato.....	32
2.5.3 Aplicação ou disposição final do digestato.....	32
2.5.4 Boas práticas e recomendações.....	32
2.5.5 Conteúdos Complementares	34
3. Considerações finais	34
4. Referências bibliográficas	35

Resumo/Abstract

PORTUGUÊS

Atualmente, o desenvolvimento de projetos para plantas de biogás a nível nacional carece de orientações práticas, baseadas na experiência de casos de sucesso e suportada por dados criteriosamente analisados por pesquisadores do setor, visto que a busca por segurança e sustentabilidade energética têm aumentado e muitas plantas têm sofrido com o baixo desempenho operacional e com a falta de segurança. Novas plantas de biogás precisam ser desenvolvidas de tal forma que o empreendimento tenha sustentabilidade técnica e financeira. Desta forma, o projeto da planta precisa ser elaborado a partir da análise detalhada de todas as etapas de produção de biogás. Neste cenário, o presente guia busca contribuir com informações para melhoria na qualidade dos projetos de biogás, auxiliando investidores, tomadores de decisão e operadores de plantas de biogás no levantamento de informações e análise das fases do processo de produção de biogás. A partir disso, é necessário que as recomendações sejam discutidas entre os atores do setor, para que sejam aprimoradas a partir das necessidades dos projetos nacionais.

Palavras-chave: Plantas de biogás, gestão da biomassa, digestão anaeróbia, armazenamento de biogás, aplicações do biogás.

ENGLISH

Currently, the development of projects for biogas plants at national level lacks practical guidelines, based on the experience of successful cases, and supported by data carefully analyzed by researchers in the sector, since the search for energy security and sustainability has increased and many plants have suffered from low operational performance and lack of security. New biogas plants need to be developed in such a way that the venture has technical and financial sustainability. Thus, the design of the plant needs to be elaborated from the detailed analysis of all the stages of biogas production. In this scenario, this guide aims to contribute with information to improve the quality of biogas projects, helping investors, decision makers and operators of biogas plants in the gathering of information and analysis of the phases of biogas production process. From this, it is necessary that the recommendations are discussed between the actors of the sector, so that they can be improved based on the needs of national projects.

Keywords: Biogas plants, biomass management, anaerobic digestion, biogas storage, biogas applications.

Impactos

O número de novas plantas de biogás vem crescendo consideravelmente nos últimos anos no Brasil. Segundo o CIBiogás (2021), apenas no ano de 2020, foram identificadas 148 novas plantas no país, resultando em um crescimento de 22% em relação ao ano de 2019.

A instalação de novas unidades produtoras de biogás necessita do desenvolvimento de projetos complexos e dimensionados de acordo para que o empreendimento tenha sustentabilidade técnica e financeira. Por essa razão, um projeto precisa ser elaborado a partir da análise detalhada de todas as etapas de produção de biogás em uma planta. Além disso, é necessário que os projetos de biogás sejam estruturados e desenvolvidos por profissionais capacitados, que auxiliem no processo de tomada de decisão.

A partir do presente guia espera-se contribuir com informações para melhoria na qualidade dos projetos de biogás, auxiliando investidores, tomadores de decisão e operadores de plantas de biogás no levantamento de informações e análise das fases do processo de produção de biogás, embasados nos fundamentos da digestão anaeróbia e da aplicação energética do biogás.

1. Introdução

A escassez de combustíveis fósseis, a crise do petróleo e as mudanças climáticas, têm alterado o cenário dos combustíveis fósseis e as energias renováveis tornaram-se foco de estudo e de desenvolvimento de projetos. O biogás é considerado uma fonte de energia limpa que vem ganhando força e conquistando espaço na matriz energética, com diversas aplicações, entre elas, a energia térmica, a energia elétrica e o biometano.

Para que as aplicações do biogás se tornem técnica e economicamente viáveis, é necessário que os projetos sejam elaborados e pautados em valores tangíveis e que todo o processo operacional seja compatível com a finalidade da planta. Entretanto, para que isso ocorra, e para que a projeção definida no modelo de negócio do arranjo seja alcançada, é necessário que todos os dimensionamentos iniciais e, principalmente, do sistema de biodigestão e dos usos energéticos do biogás, sejam realizados com base no levantamento de requisitos técnicos e operacionais.

Recomendações técnicas e dimensionamentos bem definidos, propiciam que os resultados esperados sejam alcançados. Esse cenário gera confiança e segurança de investimentos destinados a esse tipo de empreendimento.

Sendo assim, este guia visa orientar ao estabelecimento de requisitos mínimos para que, mesmo considerando as particularidades de cada planta, preceitos técnicos sejam adotados, reduzindo a probabilidade de subdimensionamento ou superdimensionamento de projetos de geração e aproveitamento energético de biogás.

2. Projetos para plantas de biogás

Plantas de biogás são, comumente, projetadas para direcionar resíduos ao tratamento e à estabilização e, ao mesmo tempo, gerar subprodutos (biogás e digestato) que proporcionem aproveitamento energético e recuperação de nutrientes, possibilitando retorno ao investimento, quando este for de interesse.

Guia prático para projetos de biogás

Um projeto de biogás pode apresentar diversas configurações e finalidades, dependendo do modelo de negócios e do arranjo tecnológico proposto. Para que o projeto da planta seja realizado de forma adequada é importante que ele passe por três fases principais: a **definição do modelo de negócio e estudo de viabilidade técnica e econômica (1)**; o **planejamento e execução da obra (2)** e o **comissionamento e operação da planta (3)**.

FASES QUE COMPÕEM UM PROJETO DE BIOGÁS



Fase 1

Definição do modelo de negócio e estudo de viabilidade técnica e econômica

A modelagem de negócio é uma ferramenta utilizada para compreensão do negócio por completo. Investir em uma planta de biogás e implementá-la envolve análises complexas e detalhadas. A modelagem negocial permite entender todos os elementos e fases envolvidas no projeto. Nessa etapa são avaliados: a proposta de valor do projeto; a forma de realização e implementação do projeto (incluindo recursos, atividades e parceiros); o público para quem o projeto será implementado; o público consumidor dos combustíveis gerados (biogás e/ou biometano) e do digestato produzido; a forma de relacionamento com eles e o valor a ser investido no empreendimento, incluindo estruturas de custos e de receitas. Além do mais, um estudo de viabilidade técnica e financeira permite que o arranjo proposto tenha condições técnicas adequadas e que o projeto possa alcançar sustentabilidade, garantindo o sucesso do negócio.

Fase 2

Planejamento e execução da obra

Planejamento da obra: esta fase consiste em pontuar todas as atividades que serão desenvolvidas no projeto, podendo ter o suporte de uma tabela ou estrutura analítica, fluxograma, ou algum método que permita identificar, facilmente, as etapas do projeto e as demandas a serem atendidas em cada uma delas. O tempo médio de cada atividade também é definido nesta fase, bem como a identificação de dependências entre as etapas do projeto, facilitando o processo de logística e de aquisição de materiais, podendo resultar em ganho de tempo na fase de execução da obra.

Execução da obra: A construção pode ser iniciada assim que todas as licenças para a implantação da planta de biogás sejam concedidas e o financiamento aprovado. O gerenciamento e supervisão da construção é fundamental para garantir a execução das atividades segundo o que foi planejado, evitando assim conflitos e atrasos.

A supervisão pela equipe de engenharia é necessária para garantir que a construção esteja de acordo com o projeto e que os canteiros de obras sejam adequados quanto à proteção e segurança dos trabalhadores. O local da instalação deve contar com estrutura temporária (eletricidade, saneamento, acomodações, etc.) e local adequado para recepção e armazenamento de materiais e equipamentos.



Fase 3

Comissionamento e operação

Comissionamento: Após a conclusão das fases anteriores e antes do início da operação da planta de biogás, verificações operacionais devem ser realizadas para certificar que todos os equipamentos foram instalados corretamente. Nesta fase, insere-se a biomassa e faz-se a instalação da geomembrana superior, em biodigestores modelo lagoa coberta. Feito o recobrimento, são realizados testes nos sistemas de agitação e aquecimento. Terminada a verificação, o processo de digestão é considerado iniciado. Após o comissionamento e a obtenção do desempenho esperado da planta, pode-se dar início à sua operação oficial.

Operação: A operação inclui tarefas diárias como: coordenação da logística de recepção e armazenamento de biomassa; operação, monitoramento e controle de processos da digestão anaeróbia, operação, monitoramento e controle de tratamento e utilização do digestato; operação, monitoramento e controle de tecnologias de tratamento e armazenamento, purificação e aplicação energética do biogás e/ou biometano, bem como operação, monitoramento e controle de todos os equipamentos de segurança da planta.

Manutenção e otimização: As plantas são equipadas com diversos equipamentos que devem ser mantidos funcionais durante todo o ciclo de vida do projeto. Manutenções preventivas devem ser realizadas para evitar paradas não previstas do sistema. A otimização é realizada a partir de resultados de desempenho obtidos da planta, sendo possível a realização de modificações para melhoria contínua dos processos.

Guia prático para projetos de biogás

Há uma diversidade de combinações de equipamentos, processos e técnicas que podem ser aplicadas para otimização de uma planta e criação de um projeto de biogás. A escolha do arranjo físico está diretamente associada à necessidade de cada uma das fases do projeto, dos equipamentos utilizados e sua funcionalidade e desempenho, bem como o retorno do investimento.

Além do mais, a idealização de uma planta de biogás é dada por diversos estudos e projetos técnicos, os quais necessitam ser cuidadosamente elaborados e detalhados. Cada planta de biogás possui especificidades que podem variar em função do arranjo proposto, precisando serem detalhadas no projeto para minimizar riscos e perdas.

De forma geral, as plantas de biogás apresentam um processo básico semelhante, e a escolha de fatores e parâmetros adequados para essas etapas são fundamentais. Assim, uma planta de biogás contempla: **a gestão da biomassa, a digestão anaeróbia, o armazenamento, tratamento e/ou purificação do biogás, a aplicação do biogás e biometano e a gestão do digestato.**



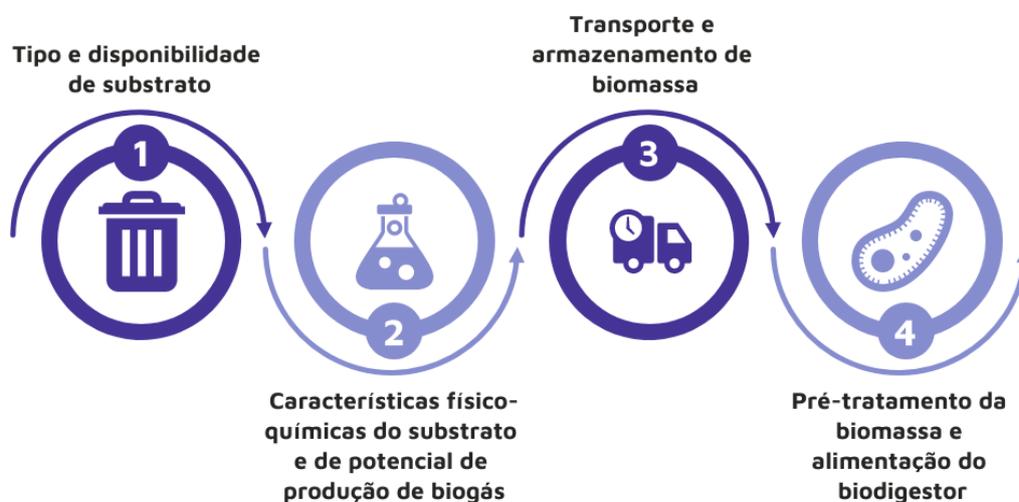
01 Gestão da Biomassa

A biomassa ou substrato é a matéria-prima utilizada para produção e aproveitamento do biogás como fonte energética, podendo ser proveniente de resíduos orgânicos das mais diferentes fontes.

Para arranjos de usinas de biogás, é importante definir a cadeia de suprimento da biomassa ainda na etapa de planejamento e concepção do projeto. Além do mais, conhecer

o substrato de interesse, as formas de produção e de manejo, estimar sua composição físico-química e o potencial de produção de biogás em laboratório é primordial para subsidiar estudos de viabilidade condizentes com a realidade do projeto e para posterior dimensionamento e gestão de produtividade nas unidades geradoras de biogás.

De forma geral, as informações necessárias (pontos chave) sobre a biomassa a serem levantadas e/ou definidas para projetos de biogás dizem respeito à/ao:



Tipo e disponibilidade do substrato

O tipo de biomassa utilizada e a sua disponibilidade precisam ser detalhadamente planejados para que não impacte na operação da planta, visto que toda planta de biogás necessita de uma rotina de alimentação pré-estabelecida para que o processo ocorra adequadamente. A variabilidade da qualidade e do tipo de substrato utilizado também pode afetar as condições operacionais da planta, uma vez que as bactérias anaeróbias são sensíveis e não se adaptam rapidamente às mudanças de ambiente e substrato. Por isso, alguns questionamentos precisam ser feitos:

-
- Que tipo de substrato será utilizado e quais são suas características?
 - Qual a origem do substrato? (fonte própria ou de terceiros)
 - Qual a sazonalidade e a frequência de recepção do substrato?
 - Qual a quantidade de substrato disponível diariamente?
 - Os substratos, quando houver mais de um, são passíveis de codigestão?
 - Como será o manejo dos substratos e as instalações físicas do local (piso, cobertura, canaletas, entre outros)?
 - No manejo da atividade, existe o contato com substâncias potencialmente inibidoras, como desinfetantes, antibióticos, entre outros?
-

Características físico-químicas do substrato e potencial de produção de biogás

A determinação dos parâmetros físico-químicos da biomassa é importante para a escolha do biodigestor e para seu dimensionamento, além de auxiliar na determinação das condições operacionais.

É importante que sejam realizados ensaios laboratoriais do potencial de produção de biogás a partir da biomassa (PBM) ainda na etapa de elaboração do projeto, pois isso pode influenciar na quantidade e na qualidade do biogás produzido.

Não realizar ensaios laboratoriais do substrato que será utilizado na planta, adotando referências bibliográficas para estimar o potencial, pode impactar diretamente o projeto. Isto porque pode-se produzir um volume menor de biogás na prática e superestimar os equipamentos para tratamento e aplicação energética do biogás, causando impacto direto nos custos e na viabilidade da planta.

Em contrapartida, é interessante realizar o monitoramento periódico até ser identificada a estabilidade do processo. Posterior a isso, a planta poderá adotar rotinas de análises em espaços maiores de tempo, ou quando for inserido um novo substrato ou houver mudança no processo e instalações. Sobre as características do substrato, é importante prestar atenção e responder sempre aos seguintes questionamentos:

- Qual a característica do substrato em termos de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), rendimento de biogás, conteúdo de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), enxofre, dentre outros parâmetros físico-químicos?
- Qual a possível variação destes fatores ao longo do tempo? A produção de resíduos sofre alguma influência da sazonalidade, ou das instalações e do manejo, alterando estes parâmetros?
- Qual o tempo ótimo, em dias, de produção de biogás do substrato, de acordo com a curva cinética obtida através da análise de potencial de produção de biogás?

Transporte e armazenamento

Caso a biomassa não seja disponibilizada junto à usina para produção de biogás, é necessário analisar a viabilidade técnica e econômica, envolvendo a logística para transporte desse substrato, durante a fase de concepção do projeto. Por isso, um estudo territorial, identificando possíveis fontes de disponibilização de substrato, é de suma importância para situações em que forem preciso eventuais suplementações ao sistema de biodigestão.

Outro fator a se analisar é o armazenamento. A área de armazenamento é onde o substrato permanece estocado por um período pré-definido, de acordo com sua coleta e/ou recebimento (que podem variar de horas a dias). Caso o resíduo não seja produzido ou recebido com frequência na planta, é importante que se tenha um sistema de armazenamento dimensionado para que a usina não interrompa sua produção por falta de substrato ou para que o sistema não sofra com a variação na alimentação. Este sistema deve ser projetado para evitar a perda de propriedades do substrato que poderiam ser

aproveitadas para a produção de biogás. Algumas perguntas precisam ser feitas e esclarecidas:

-
- Qual a distância de coleta do substrato até o local da planta?
 - Quanto tempo leva para transportar o substrato até a planta?
 - Qual a periodicidade do transporte?
 - Qual a área e o volume necessários para o armazenamento do substrato de modo que a operação se mantenha contínua na planta?
 - Quais as medidas que precisam ser tomadas, durante o armazenamento do substrato, para a preservação de suas características?
-

Pré-tratamento e alimentação do biodigestor

O pré-tratamento da biomassa diz respeito ao processo de condicioná-la, favorecendo a biodigestão. Muitas vezes, medidas simples de pré-tratamento físico, como decantação, extrusão, trituração e/ou peneiramento, já são suficientes para tornar o substrato adequado ao processo. Porém, para substratos mais complexos, como os lignocelulósicos, são necessários tratamentos químicos, físicos, enzimáticos, entre outros para potencializar a degradação anaeróbia e incrementar a produção de biogás. O pré-tratamento da biomassa influencia o fluxo e a eficiência da digestão anaeróbia, ou seja, pode aumentar a biodegradabilidade do substrato, potencializando a produção de biogás.

Em caso de substratos líquidos ou diluídos, pode-se adotar um tanque de homogeneização, antecedendo a entrada do biodigestor, visando a equalização da carga orgânica, ou algum parâmetro que seja necessária uma correção (por exemplo: pH). Pontos importantes para o pré-tratamento e para a alimentação do biodigestor:

-
- Qual a distância do sistema de armazenamento e da alimentação do biodigestor? Essa distância pode interferir nos aspectos operacionais da planta?
 - Quais as características do substrato utilizado e necessidade de pré-tratamentos?
 - Qual o impacto relacionado à consumíveis (produtos e energia) com pré-tratamento da biomassa nos custos de operação?
 - Como será feita a alimentação do sistema de biodigestão? Se forem utilizados equipamentos para alimentação, será necessário redundância de sistema¹ caso haja problemas de operação com o alimentador principal?
 - Será necessário realizar ajustes nas características físico-químicas da biomassa?
-

Boas práticas e recomendações

Tipo e disponibilidade de substrato:

- Determinar o tipo ou combinação de substratos que serão utilizados na planta, tais como resíduos agropecuários, resíduos agroindustriais, resíduos
-

¹ A redundância de equipamentos consiste na implementação de pelo menos dois equipamentos com a mesma finalidade, com o intuito de garantir que, caso um apresente problemas de funcionamento e seja necessária a manutenção, o equipamento auxiliar possa operar normalmente, sem causar interrupção de operação do sistema.

- sólidos urbanos, de estações de tratamento de esgoto e demais resíduos orgânicos passíveis de tratamento biológico via digestão anaeróbia.
- Verificar, a médio e longo prazo, a disponibilidade e a periodicidade de recebimento dos substratos utilizados, de modo a não interferir na operação da planta. Caso não sejam produzidos de forma contínua, é importante que sejam previstas outras fontes de biomassa para suplementar a demanda ou até mesmo estratégias de armazenamento.
 - Determinar o volume e a disponibilidade diária de substrato por meio de análise quantitativa, com aferição do volume *in loco* e com, pelo menos, três medições.
 - Realizar estudos de diversificação de biomassas a serem processadas na mesma planta, contemplando sua disponibilidade e a distância entre os pontos de coleta e entrega. Essa recomendação é válida para os casos em que há a intenção de aumentar a produção da planta.
 - Determinar a origem dos substratos quanto ao fornecedor. Se a biomassa é gerada na planta de biogás, o seu controle é facilmente garantido. Porém, caso ela seja proveniente de terceiros, o controle de qualidade da biomassa deve ser realizado regularmente (conforme o recebimento da biomassa), sendo importante firmar um acordo de disponibilidade e garantia de qualidade do material recebido, adicionalmente poderá ser implementado um programa de sensibilização ambiental para capacitação relacionada aos cuidados com o substrato. O primeiro passo é realizar o controle visual da matéria prima. Em seguida, deve-se registrar todos os dados (fornecedor, data, quantidade, tipo de substrato, processos de geração e qualidade). Caso haja algum problema quanto à qualidade do substrato, o registro de controle da origem pode auxiliar na identificação da fonte.

Características físico-químicas e necessidade de pré-tratamento:

- Analisar os parâmetros físico-químicos do substrato a ser utilizado e seu potencial de produção de biogás por meio de análises laboratoriais, pois, muitas vezes, valores de literatura podem variar a depender das condições de geração e manejo da biomassa, e isto pode impactar nos resultados da produção de biogás e no seu aproveitamento energético.
 - Realizar pré-tratamento ou, até mesmo, a separação de compostos que podem ser prejudiciais ao processo de biodigestão, dependendo da composição da biomassa utilizada. Também pode ser necessária a adição de diluente, a fim de tornar a mistura bombeável, em casos de sistemas de rota úmida.
 - Verificar a fonte do diluente utilizado e sua disponibilidade;
 - Realizar análises e monitoramento da biomassa para que a biodigestão não seja inibida e para que os patógenos sejam eliminados (antes ou após o sistema de biodigestão) visando uma destinação segura do digestato. Essa boa prática se aplica à biomassa com propensão de patógenos ou de contaminação.
 - Utilizar processos de sanitização em substratos com risco biológico, como carcaças de animais, antes da sua inserção no processo de biodigestão.
 - Analisar as características do substrato para determinação da melhor opção de pré-tratamento. Essa etapa apoiará na potencialização da produção de biogás e ainda contribuirá com o aumento da vida útil do biodigestor.
-

Transporte, armazenamento e alimentação do biodigestor:

- Projetar a área de armazenamento para atender a flexibilidade e a variação de características da biomassa, incluindo a alteração da quantidade e da consistência, quando necessário.
 - Arquitetar a estrutura para evitar perdas das propriedades desejáveis do substrato (como sólidos voláteis) no processo de digestão anaeróbia, o que reduziria o potencial de produção de biogás.
 - Armazenar a biomassa em tanques, lagoas ou silos, a depender de suas propriedades. É importante que os sistemas de armazenamento sejam impermeáveis para evitar percolação e contaminação do solo, e ou influências de águas pluviais.
 - Incluir no projeto, quando necessário, tanque de homogeneização para amortecimento de carga orgânica e alimentação do biodigestor, pois alguns substratos, principalmente os que são gerados no mesmo local da planta, podem não precisar ser armazenados, uma vez que são recebidos e produzidos diariamente.
 - Garantir o fornecimento estável e contínuo de biomassa para a planta, sendo ela de qualidade e em quantidade adequada, respeitando a rotina de alimentação estabelecida.
 - Instalar locais de armazenamento da biomassa próximas ao sistema de biodigestão, pois grandes deslocamentos na planta para alimentação do biodigestor podem implicar em aumento nos custos operacionais (em caso de resíduos não bombeáveis ou armazenados em silos, por exemplo).
-

Conteúdos complementares

Conteúdos complementares para auxílio na elaboração do projeto e suporte no processo de tomada de decisão.

- ***Memorial de cálculos para gestão da biomassa - Anexo I***
- ***Racional para escolha da tecnologia de pré-tratamento da biomassa - Anexo II***

02 Digestão Anaeróbia

Digestão anaeróbia é o processo de degradação da matéria orgânica que ocorre nos biodigestores, na ausência de oxigênio. O processo é realizado por diferentes grupos de microrganismos, e tem, como resultado, o biogás e o digestato.

Para que o sistema de biodigestão possa ser otimizado, é importante conhecer, ainda na fase de planejamento, e antes da decisão do arranjo final da planta de biogás, o maior número de variáveis envolvidas no processo.

Partindo do princípio de que o biodigestor é o elemento principal de todo projeto de biogás, de onde provém a fonte energética (biogás) e nutrientes (digestato), é fundamental garantir o bom desempenho desta etapa para que os objetivos estabelecidos pelo projeto sejam alcançados.

Diante disso, vários requisitos relacionados, principalmente, com o planejamento e o dimensionamento dos sistemas que compõem o projeto, devem ser considerados e ponderados.



Escolha da tecnologia de biodigestão adequada

O projeto de uma planta de biogás parte, basicamente, da quantidade e do tipo de biomassa que será utilizada (ponto central). Estas informações, juntamente com atributos da matéria-prima, como sua característica físico-química, permitem a definição da tecnologia de biodigestão adequada para o projeto. A quantidade de biomassa disponível orienta o volume do sistema de biodigestão e o volume de biogás possível de ser produzido.

Cada substrato possui especificidades que precisam ser avaliadas e analisadas para a escolha da melhor opção de tecnologia de biodigestão para o projeto. Os parâmetros: sólidos totais, sólidos voláteis e carga orgânica volumétrica da biomassa, trazem informações valiosas para a escolha do biodigestor, sendo importante considerá-los no processo de tomada de decisão. Algumas perguntas norteadoras nesta etapa são:

-
- Qual o teor de sólidos totais da biomassa a ser utilizada?
 - Qual o teor de sólidos voláteis da biomassa?
 - A forma de operação da planta: será por digestão úmida, seca ou combinação de ambas, contínua, semicontínua e/ou batelada?
 - Qual a necessidade de diluição da biomassa para que ela seja adequada à tecnologia escolhida?
-

Definição de parâmetros operacionais e de monitoramento

Parâmetros operacionais de um biodigestor dizem respeito às suas condições de funcionamento. Devem ser definidos, nessa etapa, a temperatura de operação do sistema, a rotina e o tipo de agitação (mecânica, hidráulica ou pneumática), a vazão de alimentação, pontos de acesso ao interior do biodigestor e a determinação de gestão de lodo, equipamentos de monitoramento (transmissor de pressão, pHmetro de processo, sensor de nível, medidores de vazão de biomassa e biogás).

Em relação aos parâmetros operacionais alguns questionamentos devem estar claros na estruturação do projeto:

-
- Qual será a vazão de alimentação do biodigestor?
 - Será realizado o controle de temperatura do sistema? Se sim, em qual faixa de temperatura será realizada a operação?
 - Será utilizado sistema de agitação? Se sim, qual será a rotina de agitação do sistema?
-

Dimensionamento do biodigestor

Após a seleção do modelo do biodigestor do projeto, é necessário realizar o seu dimensionamento, obtendo o volume a partir da carga orgânica volumétrica, vazão de substrato e sua concentração de sólidos voláteis. As dimensões do biodigestor devem seguir regras de engenharia específicas para cada tipo de tecnologia e seguir proporções adequadas para o favorecimento do processo de biodigestão. Também devem ser propostos componentes adequados ao modelo de biodigestor, tais como agitadores, sistemas de aquecimento e de alimentação.

Assim, o projeto deve ser delineado com base nas respostas às perguntas:

-
- Qual o volume disponível de substrato para o processo de biodigestão?
 - Qual o tempo de retenção do substrato no biodigestor?
-

- *Quais componentes serão utilizados no biodigestor? (Sistema de aquecimento, agitação, dentre outros)*
 - *Qual o tipo de sistema de agitação para o biodigestor escolhido? (Agitação hidráulica, mecânica ou pneumática).*
 - *Qual o sistema de aquecimento para o biodigestor adotado? (Aquecimento interno com tubulações ou bombeamento da biomassa para aquecimento externo)*
 - *Qual a fonte de calor?*
-

Boas práticas e recomendações

Escolha da tecnologia de biodigestão mais adequada:

- Determinar o modelo de biodigestor tendo em vista o teor de sólidos totais (ST) do substrato e a carga orgânica volumétrica (COV) tolerada por cada tecnologia.
- Avaliar a necessidade de diluição do substrato (para sistemas rota úmida). Essa prática pode ser necessária para que o substrato atinja a concentração de sólidos desejada na alimentação do biodigestor e para tornar a mistura bombeável. Os líquidos utilizados para diluição da biomassa podem ser dejetos líquidos brutos, digestato, água de processo, água potável ou algum outro diluente. A vantagem do uso de digestato para diluição é a redução do consumo de um novo volume de diluente e inoculação dos microrganismos do biodigestor. Este fator é importante principalmente quando a biomassa passa por processo de sanitização, já que o processo elimina microrganismos que podem auxiliar no processo de biodigestão. Entretanto, o uso excessivo de digestato pode provocar o acúmulo de nutrientes no biodigestor podendo inibir o processo. Da mesma forma, se água de lavagem for utilizada para a diluição, é importante atentar-se à presença de compostos, como detergentes e desinfetantes, que podem inibir a ação das bactérias. De forma geral, o uso de água potável deve ser diminuído ou evitado devido a custos mais altos, a limitações de disponibilidade e a redução de sustentabilidade do processo.
- Atentar-se aos modelos de biodigestores mais utilizados para biomassas específicas. No Brasil, alguns substratos são comumente empregados em biodigestores específicos. Por exemplo, para substratos provenientes de resíduos da pecuária, o modelo mais comum é o biodigestor lagoa coberta (BLC) ou biodigestores de lagoa coberta com mistura completa. Já os efluentes industriais, com alta carga orgânica e baixa concentração de sólidos totais, e o esgoto sanitário geralmente são direcionados a reatores modelo UASB. Esta não é uma regra de aplicação, sendo que os substratos podem passar por diferentes processos, codigestões e pré-tratamentos, podendo ser aplicados nos mais diversos tipos de biodigestores.

Definição de parâmetros operacionais e de monitoramento:

- Considerar a instalação de sistemas de aquecimento para controle de temperatura. Nesse caso, é necessário um projeto eficiente de trocadores de calor para manutenção da temperatura no nível desejado, que considere a área de superfície de contato do trocador de calor, o volume do digestor e a velocidade de resfriamento dos trocadores de calor.
-

- Atentar para biodigestores operados em temperaturas mesofílicas (aproximadamente 40°C), onde a temperatura do fluido do trocador de calor pode ser mantida entre 65°C a 70°C, a depender das condições ambientes.
- A homogeneidade do substrato é importante para a estabilidade do processo de biodigestão. Grandes flutuações na composição do substrato fornecido ao biodigestor fazem com que os microrganismos precisem se adaptar às mudanças de condições, resultando em menores rendimentos de gás. Parafraçando, é importante o fornecimento estável e constante das propriedades da biomassa por períodos longos para que o sistema de digestão opere adequadamente.
- Avaliar a temperatura de entrada da biomassa no biodigestor, principalmente quando a biomassa passou pelo processo de sanitização ou, até mesmo, durante o inverno. A diferença de temperatura da biomassa na entrada com a temperatura interna no biodigestor pode perturbar os microrganismos, causando perda de rendimento na produção de biogás.
- Realizar a gestão periódica do lodo. A gestão é recomendada para evitar o acúmulo de sólidos fixos no fundo do reator e, conseqüentemente, a redução do seu volume útil. A redução do volume útil do biodigestor resultará em menor TRH e gerará condições de sobrecarga do reator.
- Instalar a tubulação de gás o mais alto possível dentro do biodigestor. A formação de espuma ou camadas de sobrenadantes podem indicar um desequilíbrio do sistema, provavelmente decorrente do tipo de biomassa fornecido, e podem causar entupimento das tubulações de gás.
- Determinar a frequência e o tempo de agitação da biomassa no biodigestor a partir da experiência e do conhecimento do substrato, obtidos por meio do monitoramento contínuo de desempenho do biodigestor.

Dimensionamento do biodigestor:

- Considerar as características do sistema de agitação no dimensionamento do biodigestor. O volume de biodigestão pode ser obtido a partir de diferentes formas e dimensões. A dimensão do biodigestor implica nas condições de agitação do sistema, uma vez que sistemas mais compactos ou com diâmetros menores são mais facilmente agitados, enquanto biodigestores de grandes dimensões necessitam de sistemas mais robustos de agitação para a efetiva homogeneização, e evitar, assim, a sedimentação de compostos da biomassa no sistema.
 - Avaliar a necessidade de instalação de tubulações para remoção de sólidos que possam vir a se acumular dentro do biodigestor.
 - Atentar para a possibilidade de biodigestores com alturas superiores a 10 metros apresentarem problemas de agitação devido às limitações dos agitadores. A estanqueidade de condições estruturais deve ser comumente observada.
 - Realizar a instalação da tubulação de saída do biogás no nível mais elevado que o digestato, de maneira que ele não entre na tubulação do gás. Caso haja tendência de formação de espuma durante a biodigestão, a distância da tubulação e do efluente deve ser ainda maior, sendo prevista ainda na fase de elaboração do projeto.
 - Adequar as dimensões dos biodigestores às regras já consolidadas de engenharia, para garantir o *design* adequado do sistema de biodigestão.
-

Conteúdos Complementares

Conteúdos complementares para auxílio em projetos de digestão anaeróbia.

- ***Método para seleção do biodigestor - Anexo III***
- ***Cálculo do teor de diluição ou recirculação - Anexo IV***
- ***Memorial de cálculo para dimensionamento de BLC - Anexo V***
- ***Plano de monitoramento do biodigestor - Anexo VI***
- ***Parâmetros para avaliação do desempenho do biodigestor - Anexo VII***

03 Biogás: Armazenamento, tratamento e/ou purificação

Após a produção de biogás, é importante verificar as etapas subsequentes de condicionamento e utilização do biogás. A depender da aplicação final do biogás, os componentes necessários no arranjo podem variar com base no biodigestor escolhido, porém, de forma geral, é necessário avaliar as seguintes especificações e processos:



Volume e vazão de biogás

A determinação do volume e da vazão de biogás a ser produzida e utilizada na planta é fundamental para o dimensionamento das etapas de armazenamento, tratamento e aplicação. Se no projeto forem consideradas estimativas de potencial de produção de biogás obtidas a partir de dados da literatura, é importante alertar que os valores podem sofrer variações. Isso ocorre porque, mesmo a fonte de biomassa sendo de mesma origem, diversos fatores, como a sazonalidade e as práticas de manejo, podem afetar suas propriedades, modificando o volume de produção de biogás.

A recomendação é que a determinação do potencial de produção de biogás do substrato seja realizada em laboratório, a partir de uma amostra coletada em campo. Esta medida é importante, pois afeta a capacidade produtiva da unidade, reduzindo as chances de super ou subdimensionamento da planta.

Outro fator relevante é que ensaios laboratoriais de potencial apresentam o potencial máximo da biomassa na produção de biogás, em condições controladas e otimizadas. Como esta condição dificilmente é conseguida em escala real, deve-se aplicar um fator de segurança na estimativa do potencial, a depender do tipo de tecnologia de biodigestão utilizada. **Para biodigestores de lagoa coberta (BLC) recomenda-se um fator de segurança de 60% e para biodigestores CSTR, um fator de 80%. Ou seja, a partir do resultado obtido no laboratório esse fator deverá ser aplicado.**

Dessa forma, para a estimativa do potencial de produção de biogás do projeto, algumas informações precisam ser levantadas:

-
- Qual o potencial máximo de produção de biogás da biomassa a ser utilizada na planta?
 - Qual a tecnologia de biodigestão a ser utilizada no projeto?
 - Qual o volume de biomassa que será utilizado na planta por dia? e por ano?
 - Qual o teor de metano do biogás?
-

Armazenamento de biogás

Após a produção, o biogás precisa ser armazenado antes de ser destinado ao seu uso final. O biogás pode ser armazenado no gasômetro na cúpula do biodigestor e/ou em gasômetros secundários. O gasômetro da cúpula do biodigestor deve ser considerado um sistema temporário de armazenamento, sendo a adoção de gasômetro complementar utilizado em casos em que se faz necessária a garantia de tempo hábil para utilização do biogás, incluindo interrupções para manutenção de equipamentos.

O biometano produzido após o tratamento e purificação de biogás, também deve ser armazenado para posterior utilização. Desta forma, tanto para o biogás quanto para o biometano, existem tecnologias de armazenamento com diferentes pressões e materiais construtivos, cuja adequabilidade depende, principalmente, da aplicação posterior do gás, seja o tratamento ou o uso final. A seguir são levantados alguns requisitos de projeto para armazenamento do biogás e biometano.

-
- Qual o volume de armazenamento de biogás necessário para o projeto?
 - Qual o tipo de armazenamento será utilizado?
 - Qual a finalidade de uso do gás?
 - Qual será a pressão de operação do sistema de armazenamento?
 - Que tipo de material será o mais adequado para o gasômetro?
 - Qual a estrutura civil necessária para instalar o gasômetro com segurança?
-

Determinação das tecnologias de tratamento e purificação de biogás

O **tratamento de biogás** consiste na remoção de impurezas e contaminantes, geralmente encontradas em pequenas concentrações na mistura gasosa, como o sulfeto de hidrogênio, amônia, umidade, siloxanos², dentre outros. Já, a **purificação** corresponde à remoção de dióxido de carbono do biogás, com o objetivo de aumentar o teor de metano na mistura gasosa e, assim, obter o biometano.

A escolha da tecnologia para tratamento e para purificação de biogás irá depender da aplicação final do gás e da sua composição inicial. Este processo é realizado com o objetivo de atingir as concentrações desejadas dos compostos de interesse presentes no gás final.

De forma geral, para a aplicação do biogás na forma de energia térmica e elétrica, o tratamento de biogás é suficiente para atender às especificações de uso do gás. Porém,

² Para biogás produzido a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Esgoto Sanitário.

quando se destina o biogás para geração de biometano, é imprescindível a etapa de tratamento, seguida pela purificação. Em alguns casos, o tratamento pode ser realizado em conjunto com a etapa de purificação, simplificando o processo. Sobre o tratamento e a purificação de biogás é importante considerar:

-
- Qual a aplicação final desejada para o biogás?
 - Quais os contaminantes e suas concentrações na mistura gasosa?
 - Qual a vazão de biogás a ser tratada / purificada?
 - Qual a disponibilidade de fornecedores e assistência técnica para os sistemas?
 - Com que frequência será preciso realizar a troca de consumíveis e/ou manutenção do sistema?
-

Boas práticas e recomendações

Volume e vazão de biogás:

- Estimar o volume e a vazão de biogás, uma vez que esses fatores influenciam diretamente no aproveitamento energético do biogás na planta. Como a aplicação energética, muitas vezes, está condicionada aos custos evitados ou à entrada de recursos para o projeto, a estimativa deste parâmetro é fundamental para que o projeto tenha sua sustentabilidade financeira garantida.
- Avaliar o potencial de produção de biogás para misturas de substratos em diferentes proporções, com o objetivo de determinar a condição ideal de alimentação e o potencial real de produção de biogás da planta. Essa prática se aplica quando há codigestão de substratos no projeto, uma vez que a combinação da proporção de cada um interfere diretamente no volume de biogás gerado.

Armazenamento de biogás:

- Estruturar o sistema de armazenamento com sistemas de segurança que permitam a eliminação de gás em caso de sobrepressão. Da mesma forma, precisam possuir dispositivos que impeçam o retorno do biogás para a linha.
 - Selecionar sistemas de armazenamento constituídos de material resistente à ação de intempéries e à tração.
 - Instalar o gasômetro em local livre de elementos pontiagudos e de forma inclinada para favorecer a eliminação da água condensada no sistema de armazenamento. Na extremidade mais baixa da área de instalação, devem ser instalados sistemas para drenagem do condensado (as conhecidas purgas).
 - Ancorar o gasômetro de forma a não sofrer deslocamentos que possam prejudicar as conexões e que sejam adequados a possíveis variações de volume de gás.
 - Dosar a saída de biogás em gasômetros de cúpula do biodigestor, para que ele não seja esvaziado a ponto de acumular água em sua superfície, evitando danos à sua estrutura e ao processo.
 - Definir a área de instalação do gasômetro de forma que fontes de ignição não estejam próximas à estrutura e que as condições de segurança para armazenamento de combustíveis gasosos sejam mantidas.
-

Determinação das tecnologias de tratamento e/ou purificação de biogás:

- Avaliar a aplicação final do biogás e a composição necessária para, então, determinar a tecnologia de tratamento e de purificação mais adequada ao projeto.
 - O tratamento de biogás geralmente é instalado antes do processo de purificação. Isto porque alguns sistemas de purificação exigem uma redução na concentração de sulfeto de hidrogênio e/ou umidade para sua operação. Contudo, alguns sistemas de purificação não necessitam de tratamento prévio de biogás. Por isso, a escolha das tecnologias de tratamento deve ser pautada nas exigências técnicas de operação dos sistemas subsequentes (seja a própria aplicação do biogás ou a de purificação).
 - Observar que algumas tecnologias de tratamento para remoção de sulfeto de hidrogênio são mais recomendadas como medida inicial de redução da concentração do H₂S, ou seja, devem ser empregadas em plantas com alta concentração de sulfeto de hidrogênio (acima de 1000 ppm). Estas tecnologias são: Adição de ar/oxigênio no biodigestor ou adição de íons de ferro no biodigestor.
 - Ter em mente que algumas tecnologias, como a adsorção em carvão ativado, são mais recomendadas como tratamento complementar ou polimento do biogás na remoção de H₂S. Isto porque o alto consumo de reagentes ou adsorventes podem encarecer a operação da planta, exigindo substituição frequente.
 - Empregar a remoção de umidade para a melhoria da qualidade do gás e para atender às exigências de utilização. Algumas medidas contribuem para a redução da umidade, tais como purgadores e tubulações projetadas para facilitar a condensação. Existem diversas tecnologias disponíveis no mercado para remoção da umidade, por isso, é importante avaliar se a tecnologia escolhida atende a eficiência necessária para a aplicação final do gás.
 - Analisar diversos fatores na escolha do sistema de purificação. Várias tecnologias de purificação de biogás que possuem seu processo e eficiência validados estão disponíveis no mercado. A escolha do sistema de purificação deve ser feita analisando fatores como a vazão a ser purificada, as tecnologias que antecedem esta etapa, os fornecedores disponíveis, a mão de obra para manutenção do sistema, a disponibilidade de consumíveis no local da instalação (água e energia elétrica por exemplo), o local disponível para a instalação do sistema, os custos de investimento e operação, dentre outros.
-

Conteúdos Complementares

Conteúdos complementares para auxílio na etapa de armazenamento, tratamento e purificação do biogás.

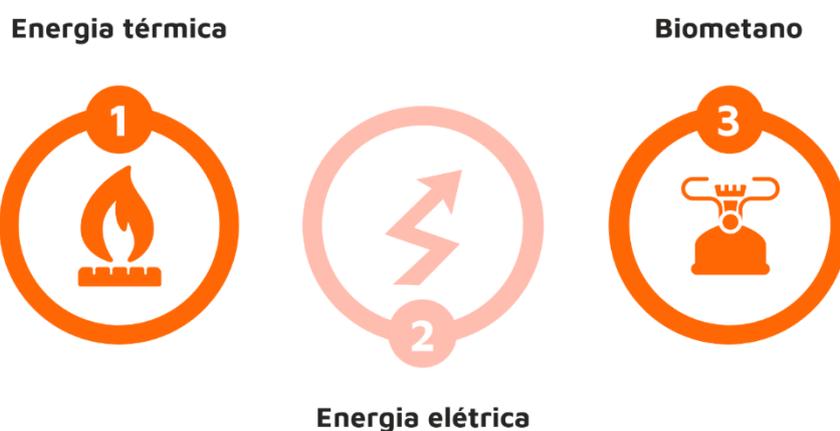
- ***Parâmetros para o dimensionamento do sistema de armazenamento de biogás - Anexo VIII.***

- **Tecnologia de purificação de biogás e parâmetros para auxiliar na tomada de decisão - Anexo IX.**

04 Aplicação do biogás e biometano

O biogás pode ser utilizado para os mais diversos fins energéticos, podendo, ainda, ser tratado e purificado para a produção de biometano, destinando o gás para aplicações que exigem um grau maior de qualidade, permitindo sua intercambialidade com o gás natural.

A aplicação do biogás deve estar relacionada com a viabilidade técnica e financeira projetada e definida no modelo de negócio inicial do arranjo. A escolha da aplicação do biogás se faz a partir da determinação da demanda da planta, da viabilidade do negócio e das oportunidades de fornecimento para terceiros. De forma geral, os projetos de plantas de biogás utilizam o biogás para as seguintes finalidades:



Energia térmica

A energia térmica pode ser amplamente utilizada em diversas escalas, tanto em maior quanto em menor porte, e nos setores industriais, rurais e residenciais. A energia térmica pode ser utilizada tanto para suprimento das demandas da propriedade rural, no aquecimento de animais ou secagem de grãos, aquecimento do biodigestor bem como para finalidades residenciais. De qualquer modo, o emprego dessa tecnologia demanda de uma série de informações para seu dimensionamento, e se faz importante a definição de requisitos, a fim de potencializar a geração de energia térmica.

Informações importantes a serem levantadas para projetos de geração de energia térmica a partir do biogás incluem:

- Qual o poder calorífico do biogás?
- Qual a composição e concentração dos compostos que compõem o biogás?
- Quais os equipamentos necessários para utilização da energia térmica?

- *Será necessário realizar adaptações para o uso do biogás na propriedade ou na indústria?*
 - *Será necessário realizar tratamento do biogás? Se sim, quais tecnologias de tratamento do biogás serão utilizadas?*
 - *O quanto será possível substituir os combustíveis convencionais por biogás?*
 - *Existe a possibilidade de disponibilizar a energia térmica para terceiros?*
 - *Será necessário realizar o aquecimento do biodigestor? Se sim, é vantajoso utilizar o biogás gerado para aquecimento?*
-

Boas práticas e recomendações

- Determinar e avaliar a composição química e o poder calorífico do biogás, para estipular o volume necessário ao atendimento da demanda energética da planta ou de terceiros. A composição química do biogás pode ser determinada a partir de análises laboratoriais ou no campo, com equipamentos específicos de medição. Já, o poder calorífico pode ser determinado a partir de termos de energia/volume ou energia/massa em condições específicas de temperatura e pressão.
 - Avaliar a substituição de combustíveis fósseis pela energia térmica gerada a partir do biogás. O uso do biogás como energia térmica é uma excelente alternativa para substituição de combustíveis fósseis e lenha, sendo de fácil uso e aplicação.
 - Considerar a necessidade de adaptações nos equipamentos utilizados para a queima do biogás e no transporte do biogás até onde será utilizado.
 - Direcionar o biogás para tratamento antes da sua destinação para geração de energia térmica. Isto porque a presença de umidade excessiva pode reduzir a qualidade do gás e a presença de sulfeto de hidrogênio em concentrações acima de 1000 ppm, podem danificar a estrutura dos equipamentos e causar corrosão. Além do mais, a queima de sulfeto de hidrogênio pode produzir dióxido de enxofre, que, além de poluente, é corrosivo e pode causar prejuízos à saúde.
-

Conteúdos Complementares

Conteúdos complementares para auxílio em projetos de biogás com aplicação em energia térmica.

- ***Equivalências energéticas do biogás para o aproveitamento térmico - Anexo X.***

Energia elétrica

Dentre as aplicações energéticas, a energia elétrica é uma das opções mais utilizadas no Brasil. Isso porque muitas das plantas são instaladas em locais onde há um alto consumo de energia elétrica, como indústrias, propriedades rurais, estações de

tratamento de esgoto e centrais de tratamento de resíduos sólidos urbanos. Além disso, a geração de energia elétrica a partir do biogás permite a geração firme e despachável, atendendo à demanda de locais onde a qualidade de distribuição de eletricidade é baixa.

As oportunidades de negócio para exploração da energia elétrica gerada a partir do biogás podem ser dadas por meio dos Ambientes de Contratação Regulada (ACR), Ambientes de Contratação Livre (ACL) e de geração isolada. No Ambiente de Contratação Livre, é permitida a comercialização de energia elétrica com o consumidor livre³ ou especial⁴, a partir de contratos bilaterais em livre negociação. Já, no Ambiente de Contratação Regulada, a comercialização é realizada em regime de leilões e em compra direta pela concessionária de geração distribuída, via chamada pública ou ainda, é permitida a inserção de geradores distribuídos, conectados diretamente à rede de distribuição, por meio do sistema de compensação de energia elétrica, regido pela Resolução Normativa nº 482/2012. Por fim, a opção de geração própria, ou geração isolada (*off grid*), não utiliza a rede da concessionária distribuidora de energia elétrica, sendo a atividade de distribuição de total responsabilidade do consumidor (MCTI et al., 2020).

Para que projetos de geração de energia elétrica a biogás estejam adequados, é necessário que alguns parâmetros e condições sejam bem definidas, incluindo o dimensionamento do grupo motogerador, definição de regime de operação, qualidade do biogás, eficiência elétrica do sistema, dentre outros. Em caso de adesão ao sistema de compensação é necessário realizar consulta de acesso, elaborar estudos de proteção e demais estudos solicitados pela distribuidora, caso necessário, arcar com obras de reforço na rede (neste caso, para projetos acima de 75 kW).

As informações importantes a serem levantadas para projetos de geração de energia elétrica, a partir do biogás, são:

-
- *Quais as características do biogás?*
 - *Qual o regime de operação?*
 - *Qual a eficiência elétrica da unidade geradora?*
 - *Qual será o modelo de negócios a ser empregado? (Ambiente de contratação livre, regulado ou geração isolada).*
-

Boas práticas e recomendações

- Dimensionar a geração de energia elétrica a partir do biogás levando em consideração as variáveis relacionadas ao biogás, o regime de operação da planta, as características técnicas do motogerador, o ponto de conexão com a rede elétrica, a concessionária envolvida e a mão de obra disponível para operação e manutenção.
 - Ter em mente que a principal informação a ser analisada no biogás com aplicação em energia elétrica é sua composição. O teor de metano interfere principalmente no seu poder calorífico e na presença de contaminantes que podem danificar os equipamentos.
 - Verificar, sempre, as especificações do gerador. As tecnologias disponíveis a nível nacional são os grupos motogeradores tipo ciclo Otto e as microturbinas. De forma geral, o requisito mínimo de metano no biogás
-

³ Consumidores livres: possuem demanda maior ou igual a 1,5 MW.

⁴ Consumidores especiais: que possuem demanda entre 0,5 MW e 1,5 MW.

destinado a motogeradores é de 55%, já para microturbinas o mínimo é de 35%. A variação desse teor pode acarretar a perda de eficiência e a perda de potência, impossibilitando a operação do equipamento.

- Obter garantia do fornecedor das capacidades de operação dos equipamentos. A eficiência da unidade geradora é muito importante para projetos que geram energia elétrica. Isto porque, ela é a base para o dimensionamento dos equipamentos e estudos de viabilidade técnica e financeira, realizados ainda na fase de planejamento. Por isso, a eficiência de operação dos equipamentos deve ser garantida pelo fornecedor, podendo ser incluído em contrato de fornecimento, com confirmação de dados técnicos no momento da entrega do equipamento, com laudo de comissionamento indicando potência, vazão e os fatores de conversão obtidos para o cenário real da planta.
 - Considerar o regime de operação no dimensionamento da unidade de geração. O tempo de operação em um dia (horas) e a vazão de biogás demandada pelo gerador irão determinar o volume de biogás necessário para a operação do sistema.
 - Na geração isolada, a potência do gerador é controlada localmente conforme a demanda e sem o suporte da rede de energia elétrica. Este modo de operação em projetos pode ser previsto como uma garantia de continuidade de fornecimento de energia elétrica em caso de falhas da rede elétrica ou em horários de custo de energia mais elevados.
 - Já, na geração distribuída (considerando sistema de compensação de energia elétrica), o gerador opera com uma potência em modo contínuo, estando conectado à rede elétrica. A potência de operação pode ser a de condição ótima para o gerador em relação ao rendimento e ao custo de manutenção, operando com o atendimento de critérios de padrão de qualidade de energia elétrica.
 - Definir as características necessárias do gerador, como por exemplo, rede trifásica ou monofásica, tensão, corrente máxima de entrada de serviço e instalação em alta ou baixa tensão, a partir do ponto de conexão com a rede.
-

Conteúdos Complementares

Conteúdos complementares para auxílio em projetos de biogás com aplicação em energia elétrica.

- ***Dimensionamento do grupo motogerador - Anexo XI***
- ***Cronograma de manutenção do grupo motogerador - Anexo XII***
- ***Etapas do procedimento de acesso para micro e minigeração distribuída a partir do biogás - Anexo XIII***

Quer saber mais? Acesse o Guia:
[Aplicações do Biogás para Geração de Energia Elétrica](#)

Biometano

O biometano é resultante do tratamento e da purificação do biogás. Para que seja considerado biometano, e seja equivalente ao gás natural, a mistura gasosa precisa atender aos padrões estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis nas Resoluções ANP 08/2015 e/ou 685/2017. Assim, um projeto que contemple o uso do biometano deve considerar, ainda na fase de planejamento, todas as etapas necessárias para que o gás atenda às especificações mencionadas.

De modo geral, os projetos que visam a produção de biometano atingem sua viabilidade econômica através da monetização da molécula. Do ponto de vista mercadológico e sob a ótica do produtor de biometano, as duas formas de monetizar a molécula são pelo autoconsumo e pela comercialização. O autoconsumo contempla o abastecimento da demanda interna do produtor, enquanto a comercialização permite atender às demandas externas. A escolha pela forma de monetização também impacta nas etapas subsequentes ao aproveitamento, pois, em alguns casos, é necessária a obtenção de autorização junto ao órgão regulamentador e/ou concessionárias de abastecimento local.

Questões importantes a serem levantadas em projetos com geração de biometano:

-
- *O biometano será utilizado para autoconsumo ou para a comercialização?*
 - *Existe rede de distribuição de gás próximo a planta de biogás?*
 - *Existem empresas terceiras que possam ter interesse na compra do biometano?*
 - *Existe mercado para o fornecimento de biometano em postos de combustíveis?*
 - *Qual a demanda interna por combustível veicular da unidade ou de substituição do gás natural?*
 - *Existe a possibilidade de transporte do biometano a partir de gasodutos virtuais ou injeção da rede de gasodutos?*
-

Boas práticas e recomendações

- Considerar autoconsumo como o atendimento da demanda interna da unidade, ou seja, a partir do abastecimento da frota cativa ou com destinação para produção de energia (térmica e/ou elétrica).
 - Ter o autoconsumo como principal benefício da geração de biometano. O autoconsumo geralmente é a primeira forma de avaliação da viabilidade financeira de projetos com aplicação em biometano, já que implica em menores investimentos que os necessários para comercialização.
 - Entender a extensão do conceito de comercialização. A comercialização de biometano abrange a possibilidade de injeção na rede de gasodutos de gás natural, de gasodutos dedicados e na venda a granel para terceiros (liquefeito ou comprimido).
 - Atender a requisitos de entidades reguladoras de comercialização de biometano. Para que o biometano possa ser comercializado, é necessário atender aos requisitos estabelecidos pela ANP e obter as permissões necessárias para este fim. O produtor de biometano, pessoa jurídica autorizada pela ANP a exercer a atividade de produção de biocombustíveis, somente poderá comercializar biometano com: (1) concessionária estadual de gás natural canalizado; (2) distribuidor de Gás Natural Comprimido (GNC)
-

a granel autorizado pela ANP; (3) distribuidor de Gás Natural Liquefeito (GNL) a granel autorizado pela ANP; (4) comercializador de gás natural registrado pela ANP; ou (5) consumidor final de gás natural, nos termos da legislação vigente (ANP, 2017).

- Garantir que o biometano gerado estará em conformidade com os regulamentos técnicos da ANP. O biometano, para fins de comercialização, obtido a partir de (1) resíduos sólidos urbanos ou resíduos de esgotamento sanitário e (2) produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais, deverá atender à especificação estabelecida no (1) Regulamento Técnico nº 1/2017, parte integrante da Resolução ANP 685/2017 e (2) Regulamento Técnico nº 1/2015, parte integrante da Resolução ANP 8/2015, respectivamente.
 - Atender aos requisitos da ABNT para disponibilização do biometano na rede de distribuição de gás canalizado. Para a injeção de biometano em redes de distribuição de gás canalizado, é importante seguir os requisitos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 16837-1:2020 - “Injeção de biometano em redes de distribuição de gás canalizado - Parte 1: Requisitos”.
 - Estar em conformidade com as legislações que incidem na produção e comercialização de biometano. Para que o biometano seja injetado em redes de gás natural é preciso avaliar a legislação federal e estadual e verificar a permissão das concessionárias de distribuição.
 - Avaliar a viabilidade financeira do transporte de biometano. Outro fator a ser considerado em projetos de biometano é o transporte do gás. O biometano pode ser transportado em gasodutos virtuais, na forma comprimida e liquefeita. Esta forma de transporte deve ser considerada em um projeto quando o transporte do biometano se fizer vantajoso financeiramente frente a outras fontes de energia. Atentar para o fato de o transporte do biometano, via modal rodoviário, só ser interessante quando o preço do gás for atrativo para o consumidor final.
 - Realizar a análise de viabilidade financeira considerando a emissão e comercialização de CBIOs. Outro recurso que pode auxiliar na viabilidade de projetos de biometano é a geração de receita a partir da venda de Créditos de Descarbonização (CBIOs), criado no programa Renovabio.
-

Conteúdos Complementares

Conteúdos complementares para auxílio em projetos de biogás com aplicação em biometano.

- ***Requisitos para injeção de biometano na rede de distribuição de gás natural - Anexo XIV***

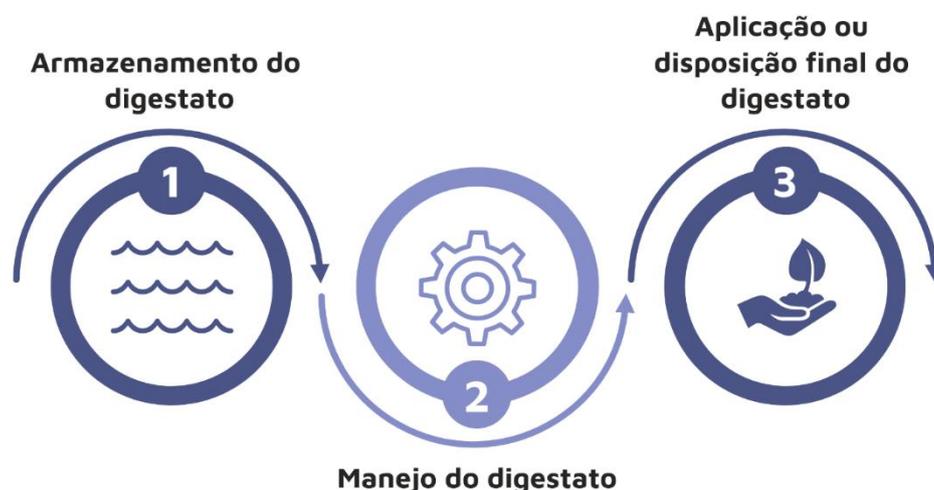
Quer saber mais?

Acesse o [Guia Biometano: biocombustível verde](#)

05 Gestão do digestato

O digestato é um produto, resultante da digestão anaeróbia, com potencial agrônômico, podendo ser utilizado como um condicionador de solos, impactando em resultados positivos ao contribuir para a melhoria nutricional do solo e para o desenvolvimento de cultivos agrícolas.

Muito embora o digestato seja um composto benéfico, é preciso seguir algumas recomendações e realizar estudos para certificar a qualidade do material e do solo, uma vez que, quando disposto em excesso, pode saturar o meio e apresentar resultados contrários ao esperado, causando deterioração do solo. Com isso, alguns pontos devem ser considerados:



Armazenamento do digestato

Após a saída do biodigestor, o digestato deve ser armazenado para, posteriormente, passar por tratamento complementar para disposição final ou para que possa ser destinado como condicionador de solo. O armazenamento é, geralmente, realizado em lagoas, que precisam ser dimensionadas para suportar o volume de digestato gerado, e o aumento de volume em períodos chuvosos. Além do mais, a lagoa de digestato também pode ser coberta com gasômetro para recuperação do biogás excedente, gerado após o processo de biodigestão.

As principais questões relacionadas ao armazenamento do digestato são:

-
- *Por quanto tempo o digestato será armazenado para posterior destinação final?*
 - *Na perspectiva de recuperação remanescente de biogás, a cobertura da lagoa de digestato com gasômetro pode ser uma alternativa atrativa para o projeto?*
-

Manejo do digestato

O manejo do digestato tem o objetivo de deixá-lo em condições de fácil transporte, de melhorar sua qualidade ou, até mesmo, de tratá-lo para disposição final em corpos hídricos. Para que o digestato possa ser direcionado a corpos hídricos é necessário que passe por processos de tratamento e estabilização para atender as exigências legais de lançamento.

A escolha da melhor tecnologia para o manejo do digestato depende da aplicação final desejada, das condições locais e dos equipamentos disponíveis.

As questões que demandam reflexão sobre o manejo do digestato são:

-
- *É importante, para o projeto, separar a fração sólida da líquida?*
 - *O digestato será transportado para outras localidades?*
 - *Há excesso de calor na planta que poderia ser aproveitado para secagem da fração sólida?*
-

Aplicação ou disposição final do digestato

A sua aplicação pode ser dada em diversas culturas para condicionamento do solo como fertilizante orgânico. Porém, é importante ressaltar que o digestato só pode ser considerado um biofertilizante se suas características forem compatíveis com a Instrução Normativa MAPA nº61 de 2020, que estabelece regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.

Complementarmente, o digestato só pode ser destinado a corpos hídricos, se atender a legislação de disposição final de efluentes mediante outorga de lançamento emitida por órgãos responsáveis.

As questões relativas à aplicação e disposição final do digestato incluem:

-
- *Existe área disponível para aplicação do digestato?*
 - *A área disponível irá utilizar todo o digestato disponível na planta?*
 - *Será possível comercializar para terceiros?*
 - *Será necessário dispor o digestato tratado em corpos hídricos?*
 - *Quais os recursos hídricos localizados próximos à planta de biogás?*
 - *O corpo hídrico se enquadra em uma classe que permite a disposição de efluentes?*
 - *Qual a vazão de efluente passível de disposição em corpos hídricos?*
 - *Quais as características do solo que irá receber o digestato? Qual cultura será cultivada?*
-

Boas práticas e recomendações

Armazenamento do digestato

- Analisar a viabilidade de lagoas cobertas para armazenamento do digestato. O digestato ao sair do biodigestor pode ser armazenado em lagoas cobertas
-

com membranas para que se possa recuperar o biogás gerado após o processo, incrementando a produção de biogás e reduzindo, ainda mais, a emissão de gases do efeito estufa (para essa ação recomenda-se um estudo para avaliar a concentração de matéria orgânica no digestato, nem sempre essa prática possui viabilidade, de forma geral não é adotada).

- Projetar o sistema de armazenamento para suportar o volume de operação da planta por período pré-estabelecido, o qual deve ser condizente com o uso do digestato e com a capacidade de tratamento do efluente na planta.
- Utilizar material impermeável na constituição da lagoa de digestato para evitar a percolação e contaminação do solo.
- Não armazenar o digestato por longos períodos na lagoa, a fim de não comprometer suas propriedades fertilizantes (caso seja utilizado para este fim) pela degradação e pela volatilização de compostos e para que não haja a formação de lagoas facultativas que possam propiciar o desenvolvimento de coberturas vegetais que demandem manutenção frequente.
- Dimensionar a lagoa de digestato não coberta por gasômetro para suportar os volumes de chuva, evitando transbordamentos.

Manejo do digestato

- Analisar a melhor forma de disposição do digestato para o projeto, incluindo as tecnologias de tratamento e condicionamento do digestato necessárias.
- Verificar a viabilidade financeira do deslocamento do digestato para outras localidades. Muitas vezes a separação das frações sólida e líquida podem colaborar com o transporte, a partir da redução de volume.
- Realizar a análise do digestato considerando os macrominerais nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) antes da aplicação.

Aplicação ou disposição final do digestato

- Realizar análise do tipo e da estrutura do solo (arenoso, argiloso) para definição do melhor tipo de adubação (mecanizada ou manual).
 - Realizar análises laboratoriais do solo a cada 6 meses para verificação da saturação dos parâmetros NPK e de outros compostos, como zinco e cobre.
 - Determinar a metodologia de aplicação do digestato, considerando a periodicidade de aplicação, a quantidade a ser aplicada, a forma de aplicação manual ou com tanque aspersor, e o tipo de digestato, sólido ou líquido.
 - Determinar o período de aplicação, considerando a safra, o tipo de plantio e as condições climáticas.
 - Explorar as propriedades de adubação do digestato. Ele contribui para a melhora do teor de húmus do solo, e os nutrientes do digestato possuem os macrominerais em formato simples e de fácil absorção para as plantas, respondendo rapidamente aos efeitos da adubação.
 - Dar prioridade para a aplicação da fração sólida em culturas de longo ciclo. A fração sólida do digestato tem relação custo x benefício maior em termos de transportabilidade e é indicada para culturas com longos ciclos de crescimento.
 - Destinar a fração líquida do digestato para o tratamento de efluentes, para a disposição em corpos hídricos ou para utilização como fertilizante em culturas como milho, gramíneas e cereais.
-

- Consultar profissional habilitado para realização da aplicação do digestato. A recomendação agrônômica para aplicação do digestato deverá ser realizada por profissional habilitado, evitando saturação no solo.

Conteúdos Complementares

Conteúdos complementares para auxílio em projetos de gestão de digestato.

Cálculo da área de aplicação de digestato (Anexo XV)

Alguns formulários úteis para gestão de plantas de biogás incluem:

Formulário de Levantamento de Campo Geral (Anexo XVI)
Formulário de Levantamento de Campo Propriedade rural (Anexo XVII)
Registro de Manutenção (Anexo XVIII)
Registro de Inspeção (Anexo XIX)
Procedimentos de operação padrão (Anexo XX)

3. Considerações finais

Atualmente, o setor de produção e aproveitamento energético do biogás carece de orientações pautadas na experiência prática de projetos de sucesso e suportada por dados criteriosamente analisados por pesquisadores do setor, uma vez que a busca por segurança e sustentabilidade energética têm aumentado e muitas plantas têm sofrido com o baixo desempenho operacional e com a falta de segurança.

Muito embora existam peculiaridades em cada arranjo de biogás, é possível seguir recomendações e metodologias que sejam pertinentes, independentemente do tipo de aproveitamento, para evitar o super e subdimensionamento que refletem, diretamente, na eficiência do sistema e, conseqüentemente, no baixo rendimento energético, além de trazer insegurança financeira em relação aos retornos esperados previstos no modelo de negócio. Também é importante que os projetos sejam elaborados em consonância com as normas nacionais vigentes.

No entanto, tão importante quanto o desempenho operacional e o retorno financeiro, a falta de orientações claras sobre como dimensionar e como operar corretamente plantas de biogás, coloca em risco a vida e a segurança de operadores e prestadores de serviço. Por isso, este guia apresentou recomendações para orientar e nortear o setor quanto ao dimensionamento de projetos de biogás.

É importante que as recomendações propostas sejam discutidas entre os atores do setor de biogás, para que haja uma mobilização a fim de garantir que algumas lacunas sejam preenchidas e, em futuro próximo, refletir na melhoria de desempenho dos projetos de biogás.

4. Referências bibliográficas

AMARAL, A. C. DO; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. O Processo de Biodigestão. In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. DO (Eds.). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1. ed. Concórdia/SC: Sbera, 2019. p. 13–26.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) - **Resolução Normativa nº482**, de 17 de abril de 2012. Brasília, DF, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). **Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores**. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/central-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario-2018-fatores-convencoes.pdf>. Acesso em: 01.09.2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16837-1:2020 – Injeção de biometano em redes de distribuição de gás canalizado – Parte 1: Requisitos**. Elaborada: ABNT/CB – 009, 2020.

BADSHAH, M., LAM, D. M., LIU, J., MATTIASSON, B. **Use of an automatic methane potential test system for evaluating the biomethane potential of sugarcane bagasse after different treatments**. 2012. Bioresource Technology, 114, p.262 – 269, 2012.

BRASIL. ANP - Agência Nacional de Petróleo. **Resolução Normativa 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. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=345545>. Acesso em: 10.09.21.

BRASIL. ANP - Agência Nacional de Petróleo. **Resolução Normativa nº08, de 30 de Janeiro de 2015**. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280722>. Acesso em: 10.09.21.

BIOGASFERT. Programa de tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC. **Metodologia de Cálculo para Quantificação de Dejeito Animal e Biogás a partir de Plantéis de Suínos e Bovinos no Brasil**, 2018. Executores: EMBRAPA, Itaipu Binacional, Fundação Parque Tecnológico de Itaipu FPTI, Centro Internacional de Energias Renováveis CIBiogás.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 001/2021 – **Panorama do Biogás no Brasil 2020**. Foz do Iguaçu, março de 2021.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Porto Alegre: Embrapa Suínos e Aves, 2002. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf> Acesso em: 02.09.2021.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para aplicação**. Fatma – SC, 2014. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/fertilizantes/recomendacao-da-dose-e-distribuicao-do-biofertilizante-de-suino/recomendacoes-tecnicas-para-aplicacao-de-fertilizantes-organicos-de-suinos-e-monitoramento-da-qualidade-do-solo-adubado>>. Acesso em: 02.09.2021

GROSBELLI, Andressa. **Análise da Produção de Biogás em diferentes sistemas e fases de produção de suínos no oeste do Paraná**, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, Paraná. Disponível em: <https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arg/files/PPGEA/Dissertacao_Andressa_C_Grosbelli.pdf>. Acesso em: 20.08.21.

ITAIPU. Usina Hidrelétrica de Itaipu. Convênio 4500030742 entre Itaipu Binacional e CIBiogás-ER. **“Produto 3.1 – Manual de uso do biogás como fonte de produção de energia elétrica”**. 2017.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R.L.R.; AMARAL, A.C. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do Biogás, Uso e Tratamento do Digestato**. Concórdia, SC. Ed Sbera, 212p. 2019.

KURNIAWAN, T. A.; LO, W. H.; CHAN, G. Y. S. **Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate**. Journal of Hazardous Materials, v. 129, n. 1–3, p. 80–100, 28 fev. 2006.

LI, W. et al. **Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption**. Desalination, v. 264, n. 1–2, p. 56–62, 15 dez. 2010.

LÓPEZ GONZÁLEZ L.M., PEREDA REYES, I., DEWULF, J., BUDDE, J., HEIERMANN, M., VERVAEREN, H. **Effect of liquid hot water pre-treatment on sugarcane press mud methane yield**. 2014. Bioresource Technology. 169, p.284–290, 2014.

MAGO, A. dal. **Avaliação de Biodigestores com o uso de Dejetos de Suínos, em Braço do Norte e em Concórdia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa MAPA N°61 de 16.11.2020**: Estabelece, em todo o território nacional, o Regulamento para enquadramento dos produtos cárneos e artesanais, necessário à concessão do selo ARTE. Publicado no DOU em 18 nov., 2020.

MARQUES, F. S.; PATUZZO, G. S.; GONZÁLEZ, R. H. A; LOPEZ, T. F. M. **Manual de transporte e armazenamento do biogás: Tecnologias para armazenamento do biogás**. 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (Brasil); UNIDO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CIBIOGÁS - ER. **Guia Prático: Aplicações do Biogás para Geração de Energia Elétrica**. 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. **Biometano: Biocombustível verde - Guia Técnico**. MCTI. Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

MÉZES, L.; BIRÓ, G.; SULYOK, E.; PETIS, M.; BORBÉLY, J.; TAMÁS, J. **Novel Approach on the basis of FOS/TAC method**. Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protectia Mediului, v. 17, ano 16, p. 713-718, 2011B.

NICOLOSO, Rodrigo; BARROS, Evandro; WUADEN, Camila; PIGOSSO, Adriana. **Uso do digestato como fertilizante**. Capítulo V. 2019. Embrapa. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197622/1/final9157.pdf>>. Acesso em: 23.08.21.

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

TALIA, L. **Biogas Plants: Design and Fabrication**. In: TABATABAEI, M.; GHANAVATI, H. Biogas – Fundamentals, process and operation. Biofuel and Biorefinery Technologies. Switzerland, 471p., 2018. ISBN 978-3-319-77335-3.

ZIEMIŃSKI, K., ROMANOWSKA I., KOWALSKA-WENTEL, M., CYRAN M. **Effects of hydrothermal pretreatment of sugar beet pulp for methane production**. 2014. Bioresource Technology. 166, p.187–193, 2014.

ANEXO I - MEMORIAL DE CÁLCULOS PARA GESTÃO DA BIOMASSA: QUANTIDADE NECESSÁRIA E VOLUME TOTAL DE ARMAZENAMENTO.

Quantidade total de biomassa a ser utilizada na digestão

A quantidade total de biomassa necessária para a planta (Q_b) é a demanda esperada de substrato em toneladas que deve ser adicionada ao biodigestor para produzir a energia necessária para o ano de operação. Q_b pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$Q_b = \frac{Q_{CH_4}}{PGY \cdot C_{CH_4} \cdot SV \cdot ST \cdot (1 - \mu)}$$

Onde:

Q_b : Quantidade de biomassa necessária ($t \cdot ano^{-1}$).

Q_{CH_4} : Quantidade de metano a ser produzida no ano ($Nm^3_{CH_4} \cdot ano^{-1}$).

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás ($\%CH_4$).

ST : Concentração inicial de sólidos totais do substrato (%).

SV : Concentração de sólidos voláteis referentes ao ST ($\%ST$).

μ : Perda de SV durante o processo de conversão (refere-se ao teor de sólidos voláteis que são degradados e/ou perdidos durante o processo) (%).

PGY : Potencial de produção de biogás ($Nm^3_{biogás} \cdot tSV^{-1}$).

Volume total de armazenamento necessário

As plantas de biogás que utilizam apenas culturas energéticas com uma colheita por ano são forçadas a possuir uma enorme área de armazenamento para garantia do fornecimento anual de biomassa. Já as plantas que utilizam múltiplos substratos ou biomassa produzida constantemente, são menos sujeitas à necessidade de grandes áreas de armazenamento. Por meio de dois parâmetros (tempo de permanência do digestato na planta e quantidade de substrato utilizado), é possível calcular o volume total de armazenamento necessário:

$$V_{armaz.} = \frac{Q_b}{\rho_{sub}} \cdot \frac{t_{sub}}{D} \cdot FS$$

Onde:

$V_{armaz.}$: Volume total de armazenamento requerido (m^3).

Q_b : Quantidade de substrato utilizado no ano ($t \cdot ano^{-1}$).

ρ_{sub} : Densidade do substrato ($t \cdot m^{-3}$).

t_{sub} : Tempo de armazenamento previsto: dias.

D : dias de produção da planta de biogás por ano: ($d \cdot ano^{-1}$).

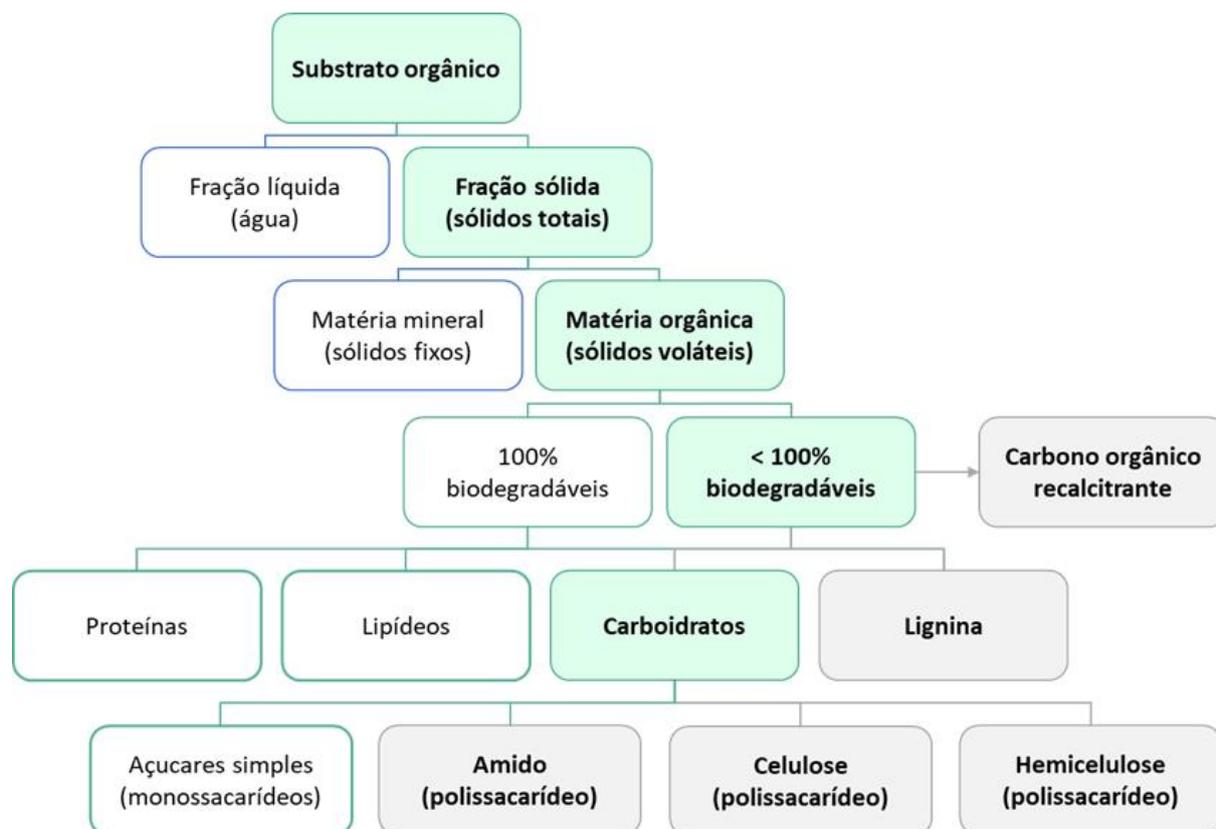
FS : Fator de segurança.

Fonte: Adaptado de Talia (2018).

ANEXO II – RACIONAL PARA ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE PRÉ TRATAMENTO DA BIOMASSA.

Nem toda fonte de biomassa é passível de degradação biológica e de produção de biogás. Isso ocorre, principalmente, devido à sua estrutura molecular e à falta de carbono orgânico biodisponível em sua composição. A composição macromolecular dos substratos utilizados na alimentação de biodigestores determina a necessidade, ou não, de pré-tratamento.

Macromoléculas, tais como a lignina e carboidratos complexos (amido, celulose e hemicelulose), são difíceis de serem assimilados pelos microrganismos anaeróbios e precisam passar por um processo de quebra estrutural, visando o aumento da sua biodegradabilidade.



Existem diversos processos de pré-tratamento e, dentre eles, destacam-se os processos **mecânicos**, os **térmicos**, os **químicos** e os **biológicos**, podendo ocorrer combinações entre eles. Para orientar a escolha do pré-tratamento mais adequado, levando em conta apenas a composição do substrato, estruturou-se a tabela abaixo.

Exemplos de substratos	Possíveis rotas de pré-tratamento	Fonte
<ul style="list-style-type: none"> Compostos orgânicos recalcitrantes. 	<u>Processos físico-químicos:</u> <ul style="list-style-type: none"> processos oxidativos avançados; radiação ultravioleta; entre outros. 	Kurniawan; Lo; Chan (2006) Li <i>et al.</i> (2010)
<ul style="list-style-type: none"> Gramíneas; Fração orgânica de RSU; Resíduos industriais mistos; Carcças de animais abatidos e não abatidos; Resíduos volumosos; Resíduos de frutas e hortaliças. 	<u>Processos mecânicos:</u> <ul style="list-style-type: none"> quebra ou trituração; extrusão. 	
<ul style="list-style-type: none"> Torta de filtro; Polpa de beterraba. 	<u>Processos térmicos:</u> <ul style="list-style-type: none"> <i>steam explosion</i> (autoclave ou reator encamisado); <i>liquid hot water</i> - LHW (painéis de pressão de escala industrial ou laboratorial); micro-ondas. 	López-González <i>et al.</i> (2014) Ziemiński <i>et al.</i> (2014)
<ul style="list-style-type: none"> Bagaço de cana de açúcar (ácido); Palha de arroz (alcalino); Palha de trigo; Microalgas (alcalino). 	<u>Processos químicos:</u> <ul style="list-style-type: none"> ácido (HCl, H₂SO₄, HNO₃); alcalino (NaOH, CaO, KOH). 	Badashah <i>et al.</i> (2012)

Recomendações para o pré-tratamento:

Guia prático para projetos de biogás

- O pré-tratamento da biomassa possibilita a utilização de novas gerações de substratos como os resíduos lignocelulósicos, incluindo palhas de milho e trigo, resíduos de frutas e hortaliças, microalgas e macrófitas.
- É primordial a realização de análise da composição macromolecular do substrato para definição do tipo de pré-tratamento mais adequado.
- Substratos compostos por lignina, celulose e hemicelulose, ou que tenham alto teor de carbono orgânico recalcitrante, são passíveis de pré-tratamento.

Pré-tratamento mecânico:

- Dimensão de partícula ideal para operação de biodigestores: de 1 a 2 mm.
- **Vantagens:** não geração de compostos inibidores, redução do diâmetro da partícula, remoção de impurezas, diminuição dos riscos de obstrução de bombas, desgaste de lâminas e sedimentação de impurezas no biodigestor, entre outros.
- **Desvantagens:** alta demanda energética e custos de manutenção.

Pré-tratamento térmico e termoquímico:

- Temperatura máxima adotada para o pré-tratamento térmico: entre 170°C e 190°C. Em temperaturas muito elevadas há a formação de compostos fenólicos, derivados da quebra da lignina, e de xilose, oriunda da quebra da hemicelulose. Ambos podem inibir a atividade microbológica.
- **Vantagens:** aumento da reatividade da fibra celulósica.
- **Desvantagens:** alta demanda energética para aquecimento do substrato a temperaturas acima de 100°C por longos períodos e risco de formação de compostos inibidores.

Pré-tratamento ácido:

- Associá-lo com temperaturas acima de 100°C;
- Atenção quanto à concentração dos ácidos sulfúrico (H_2SO_4) e nítrico (HNO_3). Em elevadas concentrações, podem induzir a formação de H_2S e N_2 , reduzindo a produção de metano (CH_4).
- **Vantagens:** Solubilização da hemicelulose.
- **Desvantagens:** Custo dos insumos ácidos, risco de formação de inibidores e problemas de corrosão.

Pré-tratamento alcalino:

- Associá-lo com baixas temperaturas ou com temperatura ambiente.
- Solubilização de parte da celulose e da hemicelulose; Inchaço da celulose; quebra da estrutura da lignina.
- **Desvantagens:** risco de formação de inibidores e alta concentração de substâncias alcalinas no reator (possível desequilíbrio da relação AI/AP - FOS/TAC).

Pré-tratamento biológico:

- **Vantagens:** demanda energética reduzida por ocorrer em baixas temperaturas; não requer adição de soluções químicas; degradação da lignina e redução da concentração de inibidores, compostos que passam a servir como alimento para os microrganismos responsáveis pelo pré-tratamento.
- **Desvantagem:** tempo de operação elevado.

ANEXO III – MÉTODO PARA SELEÇÃO DO BIODIGESTOR

Os principais parâmetros a serem analisados para a determinação da tecnologia de biodigestão mais adequada para o substrato que será utilizado no projeto são o teor de sólidos totais (ST), o teor de sólidos voláteis (SV) e a carga orgânica volumétrica (COV).

- O teor de sólidos totais (ST) é um parâmetro-chave a ser analisado, pois pode levar a diferentes critérios de seleção e concepção de tecnologia. Para a concepção de uma planta, é importante compreender não só os ST iniciais do substrato, mas também a sua degradabilidade e, conseqüentemente, os ST finais, após a digestão anaeróbia.
- O teor de sólidos voláteis (SV) representa a fração dos sólidos totais passíveis de degradação pelos microrganismos anaeróbios e que, conseqüentemente, serão convertidos em biogás.
- A carga orgânica volumétrica (COV) representa a quantidade de sólidos voláteis (kg) alimentados no sistema para cada metro cúbico do volume de digestão disponível por dia. A COV é, portanto, medida em $\text{kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.

O primeiro passo é determinar se o substrato será destinado a uma rota de digestão úmida, ou seja, com substrato bombeável, ou será enviado para a digestão seca com substratos empilháveis. A concentração de sólidos totais iniciais da biomassa auxilia na tomada de decisão da tecnologia de biodigestão que melhor se adequa ao projeto (Tabela 1a).

Tabela 1a: Critérios para escolha da tecnologia de biodigestão adequada.

Critério	Parâmetro	Classificação	Observação
Teor de matéria seca dos substratos	ST < 20%	digestão úmida	Substratos bombeáveis
	ST > 20%	digestão seca	Substratos empilháveis

Após a definição da rota tecnológica a ser adotada, define-se a tecnologia de biodigestão. Nesta etapa, analisam-se a concentração de sólidos totais e a carga orgânica volumétrica que serão fornecidas ao sistema (Tabela 1b).

Tabela 1b: Critérios para escolha da tecnologia de biodigestão adequada.

Tecnologia de biodigestão ¹	Concentração de sólidos totais (ST)	Carga orgânica volumétrica (COV)
UASB	ST < 300 mg.L ⁻¹	0,5 a 8,0 $\text{kgSV}_{\text{adc}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$
BLC	ST < 5%	0,3 a 0,5 $\text{kgSV}_{\text{adc}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$
CSTR	ST < 20%	1 a 4 $\text{kgSV}_{\text{adc}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$
<i>Dry digestion</i> (digestão seca)	ST > 20%	até 15 $\text{kgSV}_{\text{adc}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$

¹foram consideradas apenas tecnologias de biodigestão com relevância para o Brasil, segundo PROBIOGÁS (2015).

Fonte: Adaptado de KUNZ et. al. (2019).

Outro parâmetro que pode auxiliar na tomada de decisão quanto ao biodigestor mais adequado para um projeto é a concentração de sólidos finais na saída do biodigestor. A concentração de sólidos totais no digestato, na saída do biodigestor (ST') é calculado a partir de (TALIA, 2018):

$$ST' = \frac{ST'' - (ST'' \cdot SV \cdot PB \cdot \rho_{\text{biogás}})}{1 - (ST'' \cdot SV \cdot PB \cdot \rho_{\text{biogás}})}$$

Onde:

Guia prático para projetos de biogás

ST' = Concentração final de sólidos totais depois da biodigestão (%)

ST'' = Concentração de sólidos totais antes da biodigestão (%)

SV = Concentração de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais (%ST)

PB = Potencial de produção de biogás ($\text{Nm}^3_{\text{biogás}} \cdot \text{tSV}^{-1}$)

$\rho_{\text{biogás}}$ = Peso específico do biogás calculado por aproximação, utilizando a seguinte fórmula:

$$\rho_{\text{biogás}} = CCH4 \cdot \rho_{CH4} + (1 - CCH4) \cdot \rho_{CO2}$$

Onde:

CCH4 = Porcentagem de metano no biogás

ρ_{CH4} = Peso específico do metano

ρ_{CO2} = Peso específico do dióxido de carbono

Como mencionado anteriormente, o valor calculado é um valor estimado, pois o biogás contém outros elementos, em pequenas quantidades (H_2S , H_2 , O_2 , N etc.), que podem modificar ligeiramente o resultado final. Os sólidos totais de saída do biodigestor são ligeiramente inferiores aos sólidos totais de entrada graças à proporção de sólidos voláteis que são digeridos no biodigestor. De forma simplificada, sólidos totais finais (ST') com concentrações inferiores a 2% indicam a escolha de um biodigestor do tipo lagoa coberta ou UASB enquanto ST' maiores conduzem a escolha de um CSTR (TALIA, 2018).

O Quadro 1 apresenta pontos importantes a serem analisados para a escolha do biodigestor mais adequado para o projeto.

Quadro 1: Pontos importantes para escolha do sistema de biodigestão

Tecnologia	Pontos-chave	Opções
Sistema de alimentação	Tipo de biodigestor e de matéria-prima para alimentação	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentação descontínua para biodigestores de batelada. - Alimentação contínua ou semicontínua para fluxo em pistão/digestores CSTR. - Sistema de alimentação sólido ou líquido, dependendo do conteúdo da matéria seca do substrato.
Temperatura do reator	Risco para patógenos*	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura mesofílicas quando não há risco de patógenos. - Temperaturas termofílicas quando houver risco de patógenos (ex.: lixo orgânico doméstico).
Número de fases	Composição de substratos, risco de acidificação	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de uma fase quando não há risco de acidificação. - Sistema de duas fases para substratos com um elevado teor de açúcar, amido, proteínas ou de difícil degradação.
Sistema de agitação	Matéria-prima seca para alimentação	<ul style="list-style-type: none"> - Agitadores mecânicos para alta concentração de sólidos no biodigestor. - Sistemas de agitação mecânica, hidráulica ou pneumática para baixa concentração de sólidos no biodigestor.

*A utilização do processo de tratamento térmico (ex.: pasteurização) pode ser uma alternativa.

Fonte: AMARAL, KUNZ & STEINMETZ (2019).

ANEXO IV - CÁLCULO DO TEOR DE DILUIÇÃO OU RECIRCULAÇÃO

Para que a concentração de sólidos totais (ST) necessários para a alimentação do biodigestor seja atingida, é necessário que se faça a diluição do substrato, podendo ser realizado a partir de novos líquidos adicionados ao sistema, ou a partir da recirculação de digestato líquido do biodigestor. Para calcular a quantidade de líquido necessário para diluição da biomassa (QL) é utilizada a seguinte fórmula:

$$QL = QS \cdot \frac{(ST' - STD)}{(STD - STL)}$$

Onde:

QL = Quantidade de líquido a ser adicionado para diluição (m³.dia⁻¹)

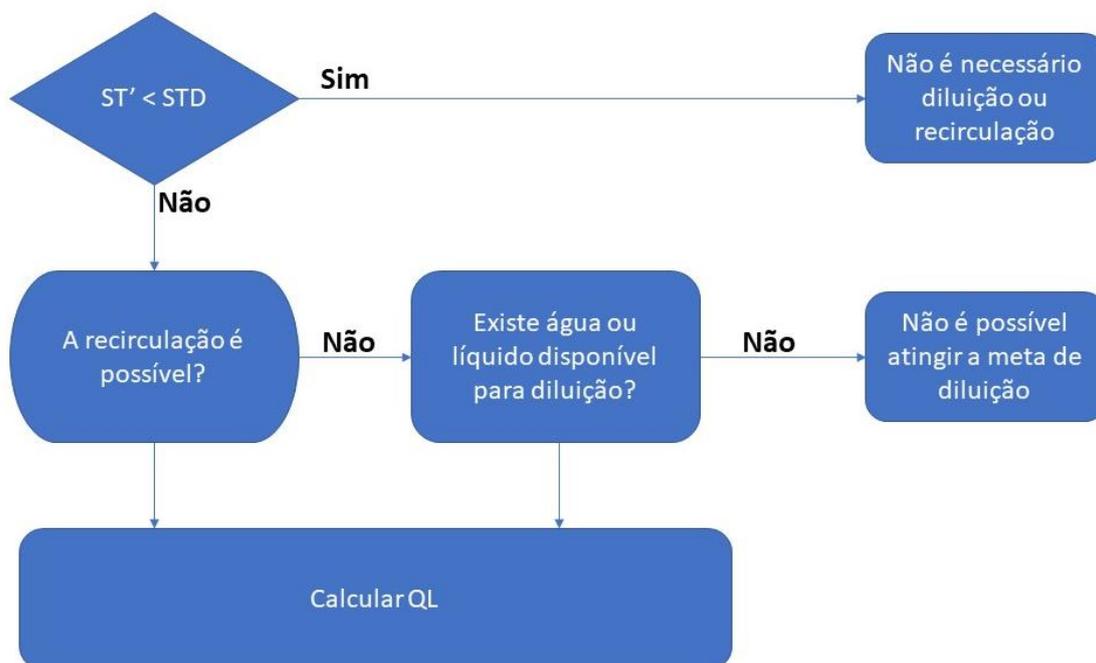
STL = Quantidade de sólidos totais presentes no líquido adicionado para diluição

QS = Quantidade de substrato adicionado no biodigestor (m³.dia⁻¹)

ST' = Concentração de sólidos totais do substrato após a biodigestão (Fórmula de cálculo apresentada no anexo III)

STD = Meta de sólidos totais para alimentação do biodigestor

O fluxograma para análise da necessidade de diluição é dado por:



Fonte: Adaptado de Talia (2018).

ANEXO V – MEMORIAL DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTOR LAGOA COBERTA (BLC)

Cálculos para dimensionamento de BLC	
Parâmetro	Equação
<p>VAZÃO DE SUBSTRATO (Q):</p> <p>Dejetos animais: volume diário de dejetos animal produzido, calculado utilizando a fórmula ao lado.</p> <p>Efluente industrial: vazão de efluente produzido diariamente.</p>	$Q = PDM \times NM$ <p>Q – Dejetos produzidos diariamente (m³.d⁻¹) PDM – Produção de dejetos por matriz ou animal (m³.animal⁻¹.d⁻¹) NM – Número de matrizes ou número de animais</p>
<p>CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA (COV): quantidade de matéria orgânica alimentada diariamente no reator, expressa em termos de DQO, ou sólidos voláteis (SV), por unidade de volume de reator.</p>	$COV = \frac{S_0 \times Q}{V_{BLC}}$ <p>Para calcular o Volume do BLC use:</p> $V_{BLC} = \frac{S_0 \times Q}{COV}$ <p>COV – Carga orgânica volumétrica (kg_{SV}vadic.m⁻³.d⁻¹) S₀ – Concentração de sólidos voláteis no substrato (kg.m⁻³) Q – Vazão (m³.d⁻¹) V_{BLC} – Volume do BLC (m³)</p>
<p>TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA (TRH): tempo em dias, de permanência de líquido no interior do reator.</p>	$TRH = \frac{V_{BLC}}{Q}$ <p>TRH – Tempo de retenção hidráulica (d) V – Volume do reator (m³) Q – Vazão (m³.d⁻¹)</p>
<p>ACÚMULO DE SÓLIDOS FIXOS (AcSF): volume anual de lodo (sólidos fixos e biomassa) que se acumula no fundo do biodigestor.</p>	$AcSF = (SF_{substrato} - SF_{digestato}) \times Q$ <p>AcSF – Acúmulo de sólidos fixos (kg.d⁻¹) SF_{substrato} – Teor de sólidos fixos no substrato (kg.m⁻³) SF_{digestato} – Teor de sólidos fixos no digestato (kg.m⁻³) Q – Vazão (m³.d⁻¹)</p>

Fonte: KUNZ *et al.* (2019).

IMPORTANTE:

- Este modelo de biodigestor suporta baixas concentrações de sólidos, podendo tolerar até 3% de sólidos totais (massa/volume).
- Recomenda-se dimensionar o BLC usando como critério a COV, pois, deste modo, evitam-se condições de sobrecarga ou subcarga do reator (ver Tabela 1b - Anexo III)
- Recomenda-se realizar ensaio laboratorial do substrato para estimativa da concentração de sólidos voláteis, cujo valor é necessário para o cálculo do volume do reator.
- Particularidades a serem respeitadas: relação mínima de comprimento x largura de 2:1; profundidade de 3 a 4,5 m; inclinação do talude de cerca de 45°, podendo variar em função do tipo de solo.

ANEXO VI - PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E PLANO DE MONITORAMENTO DO BIODIGESTOR

Orientação de uso: No campo observação, escrever quais parâmetros não atendem os limites de referências da tabela.

Dia	ENTRADA					OBS	SAÍDA				
	Vazão	T (°C)	ST (g/L)	SV (g/L)	NAT (mg/L)		ST (g/L)	SV (g/L)	pH	AI/AP (mgAc/mgCaCO ₃)	OBS
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											
09											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											

28											
29											
30											
31											

ANEXO VII – PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BIODIGESTOR

Substrato Suínos – Biodigestor Lagoa Coberta			
Parâmetro	Limites		Referências
	Mínimo	Máximo	
T (°C)	35	37	Amaral <i>et al.</i> , (2019)
ST (g/L)	16,0	56,6	Mago (2009)
SV (g/L)	24,58	31,30	Biogasfert (2018)
NAT (mg/L)	1660	3710	Silva (1996) apud Diesel <i>et al.</i> (2002)

Digestato Suínos – Biodigestor Lagoa Coberta			
Parâmetro	Limites		Referências
	Mínimo	Máximo	
ST (g/L)	27	38,5	Nicoloso <i>et al.</i> , (2019)
SV (g/L)	13,0	40,4	Mago (2009)
pH	7,42	7,83	Grosbelli (2018)
AI/AP (mgAc/mgCaCO ₃)	0,3	0,4	Mézes <i>et al.</i> (2011) apud Kunz (2019)

Características do Reator		
Relação AI/AP ⁵	Característica	Referência
> 0,4	Reator em Sobrecarga	Mézes <i>et al.</i> (2011) apud Kunz (2019)
0,3 - 0,4	Faixa Ótima	
< 0,3	Reator em Subcarga	

⁵ Também conhecida como FOS/TAC ratio

ANEXO VIII - PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO PARA SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE BIOGÁS

Dimensionamento de gasômetros para armazenamento

O gasômetro deve ser dimensionado para armazenar a produção de biogás de pelo menos um dia. Deve, também, ser projetado para que o biogás não seja enviado com frequência para o *flare*, para a queima do gás excedente, e que não seja esvaziado ao ponto de sua estrutura impedir a entrada e saída de gás. O volume do gasômetro deve ser projetado a partir do consumo e da geração de biogás em período de não utilização, segundo as seguintes equações:

$$V_{consumo} = Q_{consumo} \cdot t_{operação}$$

$$V_{geração} = Q_{geração} \cdot t_{paralisação}$$

Onde:

$V_{consumo}$ = Volume do gasômetro para armazenamento do biogás para consumo (m^3).

$V_{geração}$ = Volume do gasômetro para armazenamento do biogás gerado (m^3).

$Q_{consumo}$ = Vazão necessária para suprimento do consumo de biogás ($m^3 \cdot hora^{-1}$).

$Q_{geração}$ = Produção de biogás no biodigestor ($m^3/hora$).

$t_{operação}$ = Tempo de operação da unidade consumidora de biogás (horas).

$t_{paralisação}$ = Tempo de paralisação, sem consumo do biogás (horas).

O maior valor entre as equações de consumo e geração indicam o volume necessário do gasômetro. Recomenda-se o acréscimo de um fator de segurança de 10 a 20% no volume calculado para o gasômetro.

Fonte: Adaptado de Marques *et al.* (2017)

ANEXO IX - INFORMAÇÕES SOBRE PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PARA OBTENÇÃO DE BIOMETANO

Processos de purificação do biogás: Remoção de Dióxido de Carbono - CO₂

O dióxido de carbono é um gás incolor, inodoro e não inflamável à pressão e temperatura ambiente que, juntamente com o gás metano e demais gases traços, compõem o biogás. Sua remoção se faz necessária para obtenção de biometano, pois se trata de um gás inerte cuja presença na mistura gasosa reduz o poder calorífico do biogás.

PRINCÍPIO	DESCRIÇÃO
Absorção	Transferência de massa de uma fase gasosa (biogás) para uma fase líquida (solução absorvente), devido à <u>solubilidade</u> no líquido do componente a ser removido do biogás e à <u>diferença de concentração</u> entre as fases.
Adsorção	Transferência de massa, devido à <u>diferença de concentração</u> , de uma fase gasosa (biogás) para a superfície de um material sólido, no qual o componente a ser removido tem afinidade. A substância adsorvida é denominada adsorvato e o material sólido é denominado adsorvente. As moléculas do gás aderem na superfície do material adsorvente devido às forças intermoleculares.
Filtração (membranas)	Separação dos componentes de uma mistura gasosa (biogás) por meio de membranas com <u>permeabilidade seletiva</u> a um dos componentes da mistura (CO ₂). Parte do gás permeia (atravessa) a membrana, enquanto o restante segue na direção do fluxo de alimentação. Deste modo, o gás que sobra torna-se mais concentrado (CH ₄).
Resfriamento	Redução da temperatura e/ou aumento da pressão ao ponto de liquefazer os constituintes da fase gasosa (biogás), de acordo com sua <u>temperatura de condensação</u> . Temperaturas de condensação à pressão atmosférica de constituintes do biogás (pressão de 1 atm): Metano (CH₄) = - 161,48°C Dióxido de Carbono (CO₂) = - 78,15°C.

Guia prático para projetos de biogás

Tecnologia		<i>Water Scrubbing</i>	PSA	Membranas	Crioseparação
Princípio		Absorção	Adsorção	Filtração	Resfriamento
Necessidade de regeneração		Sim	Sim	Não	Não
Necessidade de pré-tratamento do biogás	H ₂ S	Permite concentrações moderadas. Parte pode ser removida durante a purificação.	Permite apenas baixas concentrações. Necessário tratamento anterior à etapa de purificação.	Permite baixas concentrações. Parte sairá com o gás purificado.	Permite concentrações moderadas, sendo removido no primeiro estágio de refrigeração.
	O ₂ , N ₂ e H ₂	Não são removidos durante o processo.	O ₂ e N ₂ podem ser parcialmente removidos. H ₂ permanece no fluxo de gás após a purificação.	Parte é removida com o CO ₂ e parte sai junto com o fluxo de gás.	Não são removidos durante o processo.
	VOC	Permite concentrações moderadas. Parte pode ser removida durante o processo de purificação.	Necessária uma etapa de tratamento antes da purificação.	Permite concentrações moderadas. Parte pode ser removida durante o processo de purificação.	Permite concentrações moderadas e altas, sendo removido no primeiro estágio de refrigeração.
	NH ₃	Necessário remoção antes da etapa de purificação.	Necessário remoção antes da etapa de purificação.	Necessário remoção antes da etapa de purificação.	Permite concentrações moderadas e altas, sendo removida no primeiro estágio de refrigeração.
Pressão de trabalho (bar)		5 - 9	4 - 8	10 - 20	10 - 30
Energia consumida (kWh/Nm ³ biometano)		0,20 - 0,30	0,20 - 0,30	0,20 - 0,30	0,42 - 0,63
Eficiência		>97% CH ₄	95 - 98% CH ₄	92 - 96% CH ₄	90 - 98% CH ₄
Perda de Metano		1%	1 - 1,5%	0,50%	-

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

ANEXO X - EQUIVALÊNCIAS ENERGÉTICAS DO BIOGÁS PARA APROVEITAMENTO TÉRMICO

Para a utilização do biogás como fonte de geração de energia térmica é importante levar em consideração a composição do gás e o seu poder calorífico.

- A composição química diz respeito aos compostos presentes no biogás e suas concentrações. O metano é o principal componente de interesse, graças ao seu poder calorífico, ou seja, quanto maior o teor de metano, melhor a qualidade do biogás em aspectos energéticos.
- O poder calorífico corresponde à quantidade de calor possível de ser gerada pelo biogás, a partir de sua combustão completa, ou seja, é a energia contida em um determinado volume.

Para calcular o potencial energético do biogás é necessário determinar seu poder calorífico, com base na mistura gasosa. Em média, o poder calorífico inferior do biogás é de cerca de 4.200 kcal.kg⁻¹ (com concentração de 60% de metano). A tabela 1 apresenta algumas das equivalências energéticas do biogás, a partir do seu poder calorífico inferior.

Tabela 1 - Equivalência energética do biogás para diferentes fontes de combustíveis.

Produto	Densidade (kg.m ⁻³)	Poder calorífico inferior (kcal.kg ⁻¹)	1 m ³ de biogás equivale a:*
Óleo diesel	840	10.100	0,5 litros de diesel
GLP	550	11.100	0,0007 m ³ de GLP
Etanol Anidro	790	6.750	0,8 litros de Etanol Anidro
Gasolina C	750	9.400	0,6 litros de Gasolina C
Lenha seca (12% umidade)	780	3.680	1,2 kg de lenha seca
Madeira verde	1.210	2.500	1,7 kg de madeira verde

Fonte: Adaptado de ANP (2018)

*Considerando um PCI de 4.200 kcal/kg para o biogás com composição de 60% de metano e densidade de 1,024 kg/m³.

Importante!

O poder calorífico do biogás de referência pode ser utilizado no dimensionamento inicial do projeto, ou quando a qualidade do biogás ainda não é conhecida. Porém, recomenda-se realizar as análises de potencial de produção de biogás e de metano e utilizar os cálculos indicados por normas, para uma maior confiabilidade dos resultados e dimensionamento adequado para o projeto.

ANEXO XI - DIMENSIONAMENTO DOS MOTORES DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Para o dimensionamento do potencial de produção de energia elétrica em grupos motogeradores a biogás devem ser realizadas as seguintes ações:

- Identificar a produção diária de biogás;
- Identificar as características do biogás ou utilizar o valor padrão para PCI;
- Identificar o regime de operação quanto à GI ou GD, e as horas de operação diária;
- Identificar as características do ponto de conexão, como: tensão (Volts), corrente (Ampères) ou potência (kW);
- Identificar o grupo gerador adequado e o rendimento compatível para a faixa de potência e regime de operação, de acordo com a vazão de biogás.
- Calcular a energia a ser gerada diariamente e avaliar a adequabilidade e viabilidade do grupo gerador para a atividade.

Cálculos para Dimensionamento de Grupo Motogerador	
Parâmetro	Equação
Cálculo de potência monofásica	$P = V \cdot I$ <p>onde: <i>P</i> – Potência ativa em quilowatts (kW) <i>V</i> – Tensão em Volts (V) <i>I</i> – Corrente em Ampères (A)</p>
Cálculo de potência trifásica	$P = \frac{V \cdot I \cdot \sqrt{3}}{1000}$ <p>Onde: <i>P</i> – Potência ativa em quilowatts (kW) <i>V</i> – Tensão entre fases em Volts (V) <i>I</i> – Corrente em Ampères (A)</p>
Cálculo de vazão de biogás	$Q_h = \frac{V_d}{t_{op}}$ <p>Onde: <i>Q_h</i> – Vazão de biogás (m³/h) <i>V_d</i> – Volume diário de biogás (m³) <i>t_{op}</i> – Horas de operação (h)</p>
Cálculo de estimativa de geração de energia elétrica (PCI padrão)	$E_d = V_d \cdot F_c$ <p>Onde: <i>E_d</i> – Energia produzida por dia de operação (kWh) <i>V_d</i> – Volume diário de biogás (m³) <i>F_c</i> – Fator de conversão (kWh.m⁻³)</p> <p>A mesma equação pode ser utilizada para GD e GI, sendo necessário escolher o <i>F_c</i> adequado na Tabela 1 de acordo com o regime de operação.</p>
Cálculo de estimativa de geração de	$E_d = \frac{V_d \cdot PCI_{kWh} \cdot \eta}{100}$

energia elétrica (rendimento (η) e PCI conhecido)

Onde:

E_d – Energia produzida por dia de operação (kWh)

V_d – Volume diário de biogás (m^3)

PCI_{kwh} – Poder Calorífico Inferior em kWh ($kWh \cdot m^{-3}$)

η – Rendimento da máquina (%)

A mesma equação pode ser utilizada para GD e GI, sendo necessário escolher o rendimento adequado na Tabela 1 de acordo com o regime de operação.

$$1 Wh = 3.600 J$$

O rendimento da energia do biogás em comparação com a energia elétrica (poder calorífico).

Fatores de conversão energética do rendimento para energia em Joules

$$1 cal = 4,186 J$$

$$1 W = 1 \frac{J}{s}$$

Fonte: Adaptado de ITAIPU (2017).

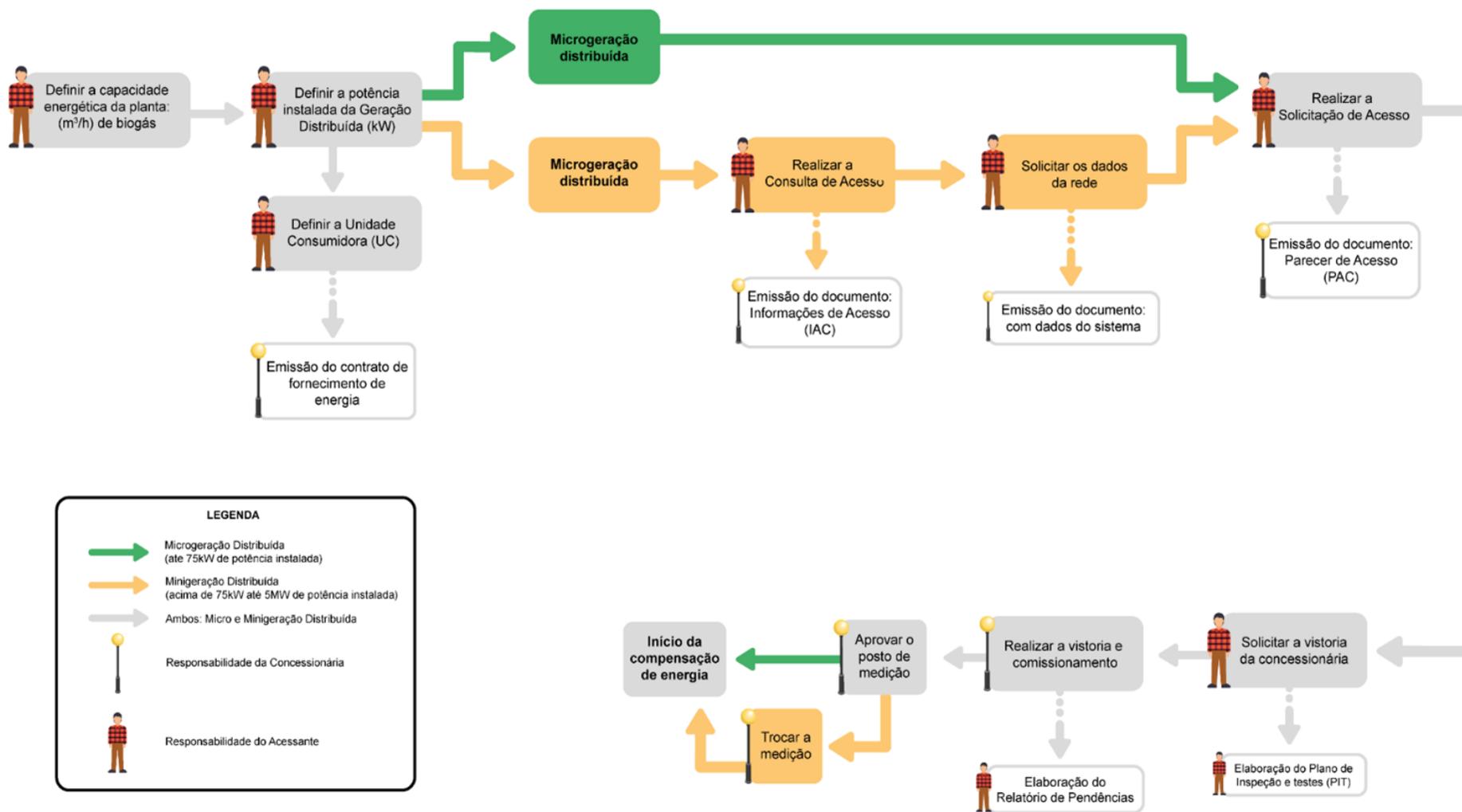
ANEXO XII - CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO DE GRUPO MOTOGERADOR

Cronograma de Manutenção de Grupo Moto gerador							
Atividade	Periodicidade						
	Diária	300h	500h	1000h	1500h	2000h	4800h
Nível de água	X						
Nível de óleo	X						
Nível líquido radiador	X						
Qualidade do biogás	X						
Sistema de dessulfurização	X						
Controle da pressão do óleo		X					
Temperatura do líquido de arrefecimento		X					
Nível de carga da bateria		X					
Sistema de filtragem de ar		X					
Verificação de vazamento	X						
Cabos de ignição		X	X				
Troca de filtro de óleo lubrificante			X				
Troca de óleo lubrificante			X				
Verificação das correias e tensionador			X				
Verificação das correias de bomba de água			X				
Limpeza das baterias			X				
Troca do jogo de velas de ignição				X			
Troca dos filtros de ar				X			
Inspecionamento dos sistemas de proteção do motor				X			

Guia prático para projetos de biogás

Limpeza do filtro centrífugo óleo lubrificante				X			
Verificação de mangueiras				X			
Verificação de correias do ventilador				X			
Sensor de pressão do óleo				X			
Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento				X			
Inspeção da colmeia do radiador					X		
Condições das correias					X		
Condição de aperto de parafuso em geral	X						
Condição de isolamento e ressecamento dos chicotes elétricos					X		
Verificação de tubos, mangueiras e conexões	X				X		
Inspeção das abraçadeiras reguláveis	X					X	
Regulagem de folga de válvulas						X	
Reparo da turbina						X	
Troca de cabos de vela						X	
Troca do fluido de arrefecimento						X	
Verificação da válvula termostática						X	
Limpeza do sistema de arrefecimento							X
Manutenções preventivas: vibração, termografia de painéis e cabos, testes de isolamento.							X

ANEXO XIII - ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE ACESSO PARA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DO BIOGÁS



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

ANEXO XIV - REQUISITOS PARA INJEÇÃO DE BIOMETANO NA REDE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

A injeção de biometano em redes de distribuição de gás canalizado é disposta na norma ABNT - NBR 16837-1:2020 - Parte 1: Requisitos. Outras normas que também definem requisitos são a Resolução ANP 08/2015 – Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, ou a que vier substituí-la; e a Resolução ANP 685/2017 - 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 as instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado em todo o território nacional.

Importante!

Antes de iniciar um projeto de injeção de biometano na rede de gás canalizado ou a construção de redes de gás, é necessário consultar a legislação vigente, tanto em esfera estadual (concessionários estaduais de distribuição) quanto em esfera federal (ANP)

Os requisitos para injeção de biometano devem seguir os critérios:

- **Características do biometano:** De acordo com a ABNT NBR 16837-1:2020, as características do biometano devem estar de acordo com os critérios descritos nas Resoluções ANP 08/2015 e 685/2017, sendo apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Características do biometano segundo as Resoluções ANP 08/2015 e 685/2017

Parâmetro	Unid	Limites			Método		
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste Sudeste Sul	NBR	ASTM	ISO
Poder Calorífico Superior	kJ/m^3	34000 a 38400	35000 a 43000		15213	3588	6976
	kWh/m^3	9,47 a 10,67	9,72 a 11,94				
Índice de Wobbe	kJ/m^3	40500 a 45000	46500 a 53500		15213		6976
Metano mín.	% mol.	90	90	90	14903	1945	6974
Etano (3)	% mol.	anotar	anotar	anotar	14903	1945	6974
Propano (3)	% mol.	anotar	anotar	anotar	14903	1945	6974
Butanos e mais pesados (3)	% mol.	anotar	anotar	anotar	14903	1945	6974
Oxigênio máx.	% mol.	0,8	0,8	0,8	14903	1945	6974
CO_2 máx.	% mol.	0,3	0,3	0,3	14903	1945	6974
$\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2$ máx.	% mol.	10	10	10	14903	1945	6974
Enxofre total máx. (4,5)	mg/m^3	70	70	70	1563	5504	6326-3 6326-5 19739
Gás Sulfídrico	mg/m^3	10	10	10	1563	4084-07 4468	6326-3 19739

máx.						5504 6228	
Ponto de orvalho de água a 1 atm., máx. (6)	°C	-39	-39	-45	1576	5454	6327 10101-2 10101-3 11541
Ponto de orvalho de hidrocarbonetos (7,8)	°C	15	15	0	16338	-	23874
Siloxanos totais	mgSi/m ³	0,3	0,3	0,3	16560 16561	-	-
Siloxanos Clorados	mg (Cl/m ³)	5,0	5,0	5,0	-	-	1911
Siloxanos Fluorados	mg (F/m ³)	5,0	5,0	5,0	Método NF X43-304		15713

Fonte: adaptado das Resoluções ANP 08/2015 e 685/2017 apud ABNT NBR 16837-1:2020

- **Odoração e enxofre:** de acordo com a ABNT 16837-1:2020, a concentração de enxofre total na rede de distribuição deve atender às legislações vigentes. Contudo, considera-se uma concentração segura 1% de enxofre, sendo essa porcentagem percebida por uma pessoa com sensibilidade olfativa normal. O enxofre total deve atender os requisitos das legislações e normas ABNT NBR 15631, ou ISO 6326- 1, ou ISO 19739, ou ASTM-D 5504.

- **Odorante (a base de enxofre):** segundo a ABNT NBR 16837-1:2020, os odorantes devem atender os requisitos das ABNT NBR 15614, ABNT NBR 15616, ABNT NBR 15631 ou ISO 19739.

Existem alguns odorantes disponíveis no mercado brasileiro:

- Etil mercaptana (EM) ou Scentinel A;
- Spotleak 1009 (**Arkema**) ou Scentinel E (**QuantiQ**)
- Spotleak 1005 (**Arkema**) ou Scentinel TB (**QuantiQ**)

- **Amostragem:** segundo a NBR 16837-1:2020, a amostragem deve seguir os requisitos da ISO 10715, para garantia de uma coleta representativa do gás a ser utilizada, basicamente, para análises cromatográficas de hidrocarbonetos, gases inertes e alguns compostos de enxofre. Para análises específicas, como total de silício, orgânicos voláteis, halogenados e metais pesados, devem ser utilizados procedimentos de amostragem dispostos nas ABNT NBR 16560, ABNT NBR 16561 e ABNT NBR 16562.

- **Condições de operação:** de acordo com a ABNT NBR 16837-1:2020, recomenda-se que as condições de operação apresentem, no mínimo, as seguintes informações sobre o fornecimento do biometano:

- variáveis operacionais: vazão, pressão, temperatura e suas unidades;
- medidas de controle e métodos: padrões normativos ou equivalentes, protocolo específico e procedimentos internos que garantam a qualidade do produto final;
- comunicação: sinal para a sala de controle central ou outra instalação específica;
- condições para alertas e alarmes relacionados ao fornecimento do biometano (ABNT, 2020).

- **Medições:** de acordo com a ABNT NBR 16837-1:2020, todas as medições dos parâmetros relevantes mencionados na Tabela 1 devem ser registradas, processadas e disponibilizadas pelo produtor, atendendo à periodicidade mínima, exigida pelas regulamentações vigentes.

- **Autorização do controle de qualidade do biometano:** a injeção de biometano na rede depende da aprovação do controle de qualidade do biometano, para mistura com o gás natural na rede coletora. Essa aprovação está descrita na resolução ANP 685/2017, capítulo 5, artigo 6, que deve ser submetido à ANP por meio da protocolização, conforme segue:

I - Requerimento firmado pelo representante legal do produtor;

II - Procuração com poderes para representação do Produtor de Biometano perante a ANP;

III - Licenciamento ambiental para atividade de produção, comercialização e distribuição de biometano;

IV - Cópia do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ) do Produtor de Biometano;

V - Análise de risco, comprovação do cumprimento das recomendações e gerenciamento de barreiras implementadas, conforme o Regulamento Técnico nº 1/2017.

Guia prático para projetos de biogás

A injeção e comercialização de biometano só devem ocorrer após a aprovação do controle de qualidade ser publicada no Diário Oficial da União, devendo ser mantida sua qualidade durante todo o período de operação (ANP, 2017).

ANEXO XV - CÁLCULO DA DOSAGEM DE DIGESTATO POR ÁREA DE APLICAÇÃO

O cálculo da dosagem de aplicação de biofertilizante para culturas agrícolas é definido pela Embrapa Suínos e Aves (2014), e deve considerar os seguintes aspectos:

- Análise do solo: considerar as características e o tipo de solo;
- Demanda de nutrientes: principalmente os macronutrientes N, P, K da cultura a ser adubada, normalmente em kg/ha;
- Potencial de nutrientes do biofertilizante: É recomendado realizar a análise do biofertilizante para verificação do potencial dos macronutrientes reais a serem aplicados no solo, principalmente para evitar qualquer tipo de nutriente que não seja aconselhável para cultura. Os macronutrientes são calculados em kg/m³.
- Fator de eficiência agrônômica do biofertilizante: fator de conversão do macronutriente, visto que pode ocorrer volatilização, dependendo do manejo adotado. Normalmente esses valores são tabelados. Ainda, de acordo com a Embrapa (2014), o cálculo da dosagem é descrito de acordo com a fórmula a seguir:

$$D = \frac{DN}{\frac{PB \cdot EA}{100}}$$

Onde:

D: dosagem

DN: demanda de nutriente

PB: potencial do biofertilizante

EA: eficiência agrônômica do macronutriente

Com base na fórmula apresentada, segue um exemplo de cálculo de dosagem para aplicação da cultura do milho, conforme apresentado pela Embrapa Suínos e Aves (2014).

Análise de solo: MOS: 3%; clas. text.: 2; P:25 ppm (MA); K:200 ppm (MA)

Demanda de nutrientes: N:190 kg/ha; P₂O₅:165 kg/ha; K₂O: 110 kg/ha

Dejeto líquido de suíno: 2,83 kg N/m³; 2,37 kg P₂O₅/m³; 1,50 kg K₂O/m³

Eficiência agrônômica de jeto líquido de suíno: N:80%; P:100%; K:100%

Dose base N: 190 / (2,83 x 80/100) = 83,9 m³/ha

Dose base P: 165 / (2,37 x 100/100) = 69,6 m³/ha

Dose base K: 110 / (1,50 x 100/100) = 73,3 m³/ha

ANEXO XVI - PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE CAMPO GERAL

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO A CAMPO					
LOCAL					
Localização:				Coordenadas:	
Contato/Telefone:					
Nome do responsável pela unidade:					
Área Total (ha)					
Área agricultável para disponibilização do biofertilizante (ha)					
RESÍDUOS/BIOMASSA					
Tipo de Resíduo/biomassa	Qtidade (dia)	Qtidade (semana)	Qtidade (mês)	Total Kg	

Guia prático para projetos de biogás

Observações:				
CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS/BIOMASSA				
Características:				
Observações:				
INSTALAÇÕES DA ÁREA DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS				
Qual o tipo de instalação usado?				
A instalação possui cobertura?		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
A instalação possui piso impermeabilizado?		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Possui lagoa para armazenamento do digestato?		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Lagoa está dimensionada corretamente?		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Área disponível p/Biodigestor?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	Área disponível para lagoa?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Possui canaletas para condução de biomassa? Se viável			<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Os beirais da instalação estão adequados?			<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Método de Limpeza da instalação:				
Periodicidade de limpeza:		Vezes/dia		

Guia prático para projetos de biogás

São efetuadas manutenções preventivas nos equipamentos hidráulicos?	() Sim	() Não
Consumo de água		m ³ /mês
Consumo de energia elétrica		kWh/mês

Responsáveis:	Data:
---------------	-------

ANEXO XVII - PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE CAMPO PARA PROPRIEDADES RURAIS

FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO A CAMPO - PROPRIEDADE RURAL						
LOCAL						
Localização:				Coordenadas:		
Contato/Telefone:						
Nome do responsável pela unidade:						
Área Total (ha)						
Área agricultável para disponibilização do biofertilizante (ha)						
PLANTEL ANIMAL						
Suínos	Nº de animais (Antes)	Número de animais (Atual)	Período de Produção (dias)	Peso (Kg)		
UPL						
Creche						
Terminação						
Reprodução						
Observações:						
PLANTEL ANIMAL						
Outros	Nº de animais (Antes)	Nº de animais (Atual)	Período de Produção (dias)	Peso (kg)		
Observações:						
INSTALAÇÕES						
Qual o tipo de instalação usado na criação animal?						
A instalação possui cobertura?		() Sim () Não				
A instalação possui piso impermeabilizado?		() Sim () Não				
Possui lagoa para armazenamento dos dejetos?		() Sim () Não				
Lagoa está dimensionada corretamente?		() Sim () Não				
Área disponível p/Biodigestor?	() Sim	() Não	Área disponível para lagoa?	() Sim	() Não	

Guia prático para projetos de biogás

Possui canaletas para condução de dejetos?	() Sim	() Não
As caixas de passagem de dejetos permanecem abertas?	() Sim	() Não
Os beirais permitem a entrada de água da chuva sobre canaletas?	() Sim	() Não
Os beirais permitem a entrada de água da chuva sobre as instalações?	() Sim	() Não
Existe parte das instalações sem beirais?	() Sim	() Não
Existe parte das instalações sem calhas?	() Sim	() Não
As águas das enxurradas atingem as canaletas?	() Sim	() Não
As águas das enxurradas atingem o interior das instalações?	() Sim	() Não
Método de Limpeza:	()	Raspagem e /ou varredura do piso
	()	Raspagem e lavagem com mangueira de baixa pressão
	()	Lavagem com mangueira de baixa pressão
	()	Outros:
Periodicidade de limpeza:		Vezes/dia
São efetuadas manutenções preventivas nos equipamentos hidráulicos?	() Sim	() Não
Consumo de água na propriedade		m ³ /mês
Consumo de energia elétrica		kWh/mês

Responsáveis:	Data:
---------------	-------

ANEXO XVIII - REGISTRO DE MANUTENÇÃO GERAL

Tipo de Manutenção						
Tubulação de gás	Tubulação biomassa	Sistema elétrico	Bomba	Compressor	Sensor	Gerador
Outro (s):						

Ocorrência Resumida

Ocorrência 1	
Descrição:	
Causa:	
Consequência:	
Ocorrência 2	
Descrição:	
Causa:	
Consequência:	
Ocorrência 3	
Descrição:	
Causa:	
Consequência:	

Informações da Ocorrência		
Pode ser solucionado pela equipe?	SIM	NÃO
Pode ser solucionado pelos responsáveis da unidade?	SIM	NÃO
Quanto tempo é necessário para correção?		

Guia prático para projetos de biogás

Precisa de aquisição de peças ou materiais?	SIM	NÃO
Qual o custo de peças e materiais (R\$)		
O que ocasionou a ocorrência? Pode ser prevenido?	SIM	NÃO
Quais os encaminhamentos a serem tomados:		
Observações:		

ANEXO XX - PROCEDIMENTO DE OPERAÇÃO PADRÃO

Procedimento de Operação Padrão	
--	--

Unidade	
---------	--

PROCEDIMENTO

Assunto:

Objetivo:

Equipamentos/ferramentas:

Medidas de Segurança/ Equipamentos de Proteção Individual:
--

Descrição da Operação:



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