



Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano



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



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. **Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano.** Brasília: MCTI, 2019. *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:

Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano

Publicado por:

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Entidade(s) diretamente envolvida(s):

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

Autoria:

Daiana Gotardo Martinez
Gladis Maria Backes Buhning
Ricardo Muller

Revisão:

Felipe Souza Marques

Editoração:

Nicole Mattiello

Data da publicação: Agosto, 2022

068p Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ; Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2019. 39 p.: il. - (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-37-3

1. Biogás - Tecnologia aplicada. 2. Biometano - Tecnologia aplicada. 3. Agronegócio - Tecnologia aplicada. 4. Biogás - Planta (obras) - Segurança. 5. Biogás - Planta (obras) - Custo. I. Martinez, Daiana Gotardo. II. Buhning, Gladis Maria Backes. III. Müller, Ricardo. IV. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. V. UNIDO. VI. Centro Internacional de Energias Renováveis. VII. CiBiogás. VIII. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. IX. Título. X. 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.



Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano

Data da Publicação:

Agosto/2022



Sumário

Panorama Tecnológico	03
Experiência de biogás no sul do Brasil	03
Tecnologias empregadas	06
Origem das tecnologias	06
Transporte do substrato	06
Pré-tratamento	06
Tecnologias de biodigestão	06
Aquecimento e agitação em biogestores	11
Tratamento do biogás	12
Aplicações do biogás	14
Aplicações do digestato	17
Monitoramento	20
Segurança das plantas de biogás	20
Manutenção de equipamentos	22
Ranking das plantas de biogás	23
Dificuldades das plantas de biogás	23
Panorama financeiro e social	25
Investimentos nas plantas de biogás	26
Impactos financeiros	28
Empregos gerados	28
Dificuldades e barreiras da cadeia do biogás	30
Para energia elétrica	30
Para energia térmica	31
Para o biometano	31
Considerações finais	32

Introdução

O projeto “Aplicações do biogás na agroindústria brasileira” têm o propósito de impulsionar o biogás e biometano em todo o território Sul brasileiro e é financiado pelo Global Environmental Facility - GEF, liderado pelo Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação - MCTIC e implementado pelas Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial - UNIDO. Além destes, participam da coordenação do projeto o Ministério de Minas e Energia - MME, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Itaipu Binacional e Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás - CIBiogás.

Neste relatório será apresentado um panorama das tecnologias utilizadas na cadeia do biogás no sul do Brasil e identificação dos desafios e oportunidades para a ampliação das aplicações com biogás na região sul do Brasil (PR, SC e RS), como uma alternativa para ampliar a matriz energética brasileira. Os resultados foram obtidos a partir de missões em campo, contemplando os três estados (PR, SC e RS). As visitas se concentraram em plantas cuja unidade de produção possuísse como matéria-prima processada substratos oriundos da: suinocultura, bovinocultura, avicultura, mandioca, leite e/ou efluentes oriundos do abate de animais.

As plantas foram identificadas a partir do BiogasMap , plataforma digital, que possui o registro de unidades de produção de biogás, com aplicações elétrica, térmica e/ou biometano. Como resultado, foram selecionadas 58 plantas de biogás, sendo 36 unidades no Paraná, 14 em Santa Catarina e 8 no Rio Grande do Sul. Para cada planta foi realizado um levantamento técnico, financeiro e social, para compor o diagnóstico.

Este documento está organizado em dois capítulos, sendo:

- 1) Panorama tecnológico, onde são abordadas as tecnologias aplicadas para o tratamento de substratos, purificação do biogás e as principais aplicações do biogás e digestato;
- 2) Panorama financeiro e social, que contemplará os custos de implantação e operação das plantas de biogás sul brasileiras e pessoas impactadas;

¹ Para acessar o biogasmap: <https://cibiogas.org/biogasmap>

2. Panorama Tecnológico

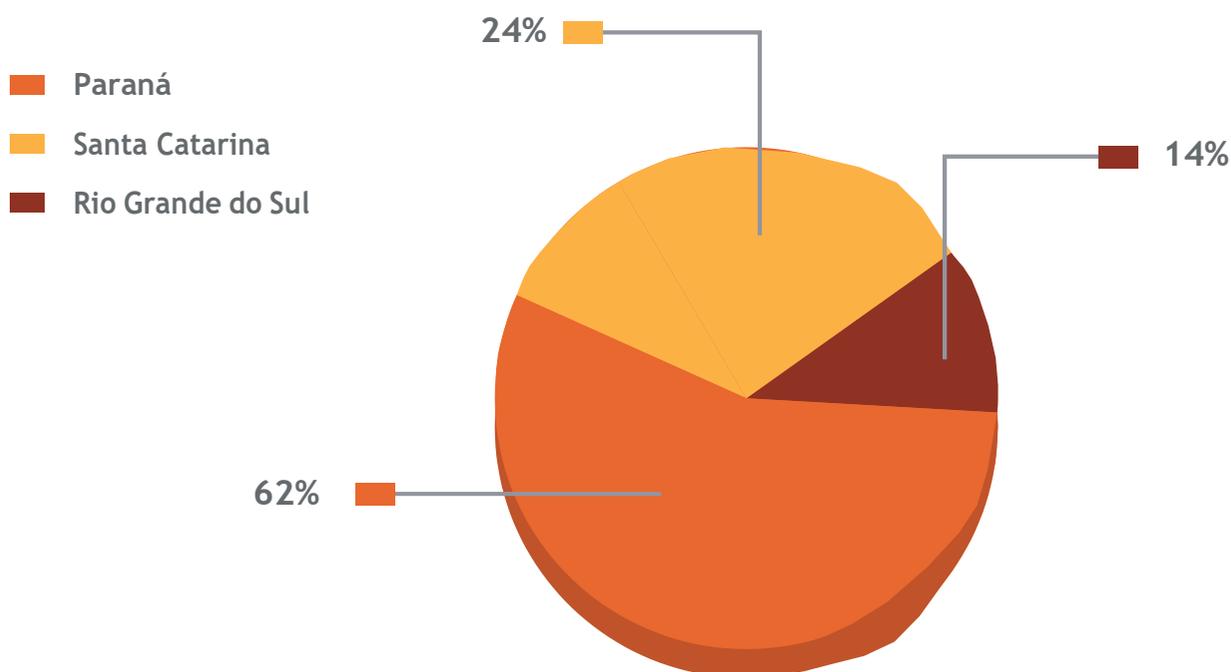
2.1 Experiências de biogás no sul do Brasil

Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul possuem destaque no âmbito nacional, concentram em seu território aproximadamente 36% das plantas de biogás em operação, implantação e/ou reforma do Brasil (CIBIOGÁS, 2019). O biogás produzido na região sul a partir dos seis substratos investigados representa 3% do total de biogás produzido no Brasil.

Ao considerar os substratos de interesse do presente levantamento que são, oriundos da suinocultura, bovinocultura, avicultura, fecularias, laticínios e abatedouros, o número de plantas de biogás em operação e/ou implantação atingiu 114 unidades produtivas, as quais possuem aplicações voltadas ao aproveitamento térmico, elétrico e/ou biometano.

Para a construção desse diagnóstico, foram consultadas 51% das plantas em operação, gerando um montante de 58 unidades de produção, sendo 62% das plantas no estado do Paraná, seguido por Santa Catarina com 24% e Rio Grande do Sul com 14%.

Plantas visitadas por estado



A identificação e seleção das plantas, levou em consideração o substrato e o número de unidades em operação. A metodologia adotada estabeleceu que:

- Para os substratos com número de unidades superior a 3 plantas, 50% foram visitadas;
- Para os substratos com número de unidades inferior a 3 plantas, 100% foram visitadas.

Número total de plantas visitadas por substrato no Sul do Brasil

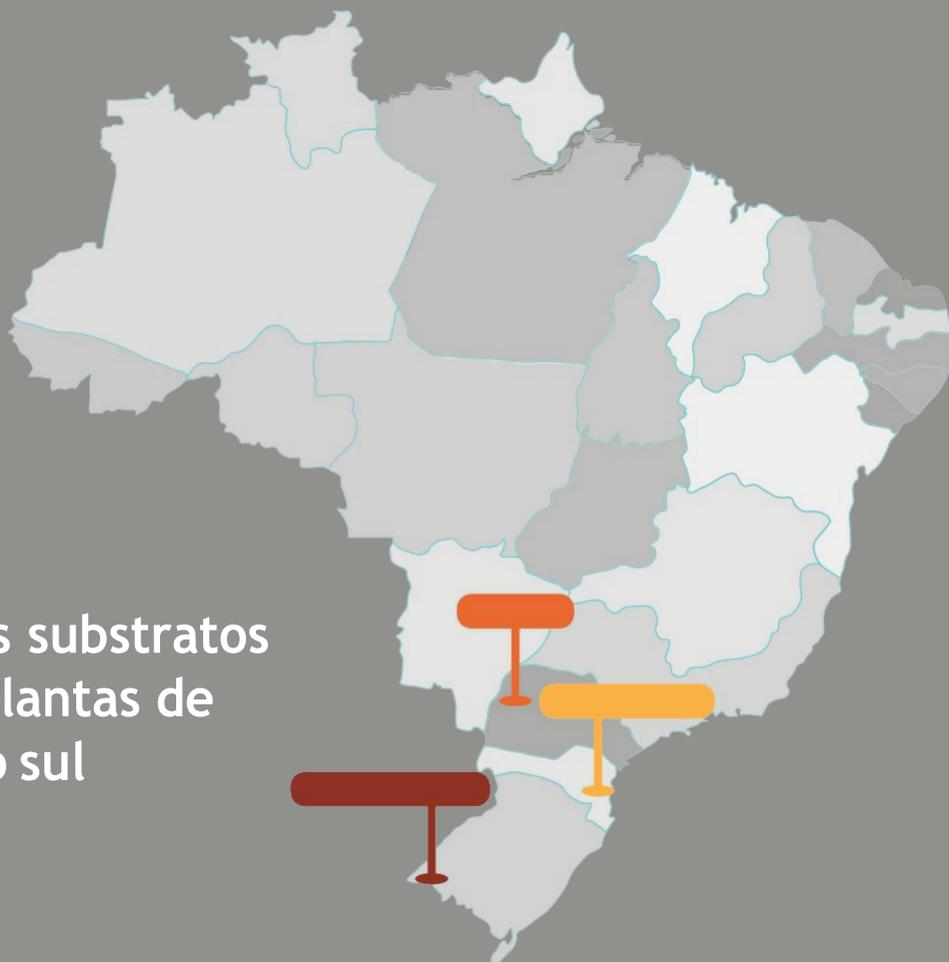


Aproximadamente 60% das unidades de produção de biogás estão localizadas em áreas rurais, destacando a expressiva participação de propriedades que possuem como atividade primária a produção de proteína animal, realizando o tratamento ambiental via digestão anaeróbia.

Esse cenário, dá luz aos valores obtidos para o sul do Brasil, onde a suinocultura assume a primeira posição no ranking dos substratos utilizados, com 46%. Vale ressaltar que esse valor expressivo, decorre principalmente, do contexto estabelecido no estado de Santa Catarina, uma vez que não foram identificadas plantas utilizando outros substratos além os de suinocultura.

Não foram identificados laticínios no sul do Brasil que realizem o tratamento dos efluentes gerados utilizando sistemas de biodigestão e o aproveitamento energético do biogás. O emprego desse substrato foi observado apenas em plantas de recebimento que operam em codigestão.

Distribuição dos substratos utilizados nas plantas de Biogás na região sul



Geral do Sul do Brasil



Paraná



Santa Catarina



Rio Grande do Sul



2.2 Tecnologias empregadas

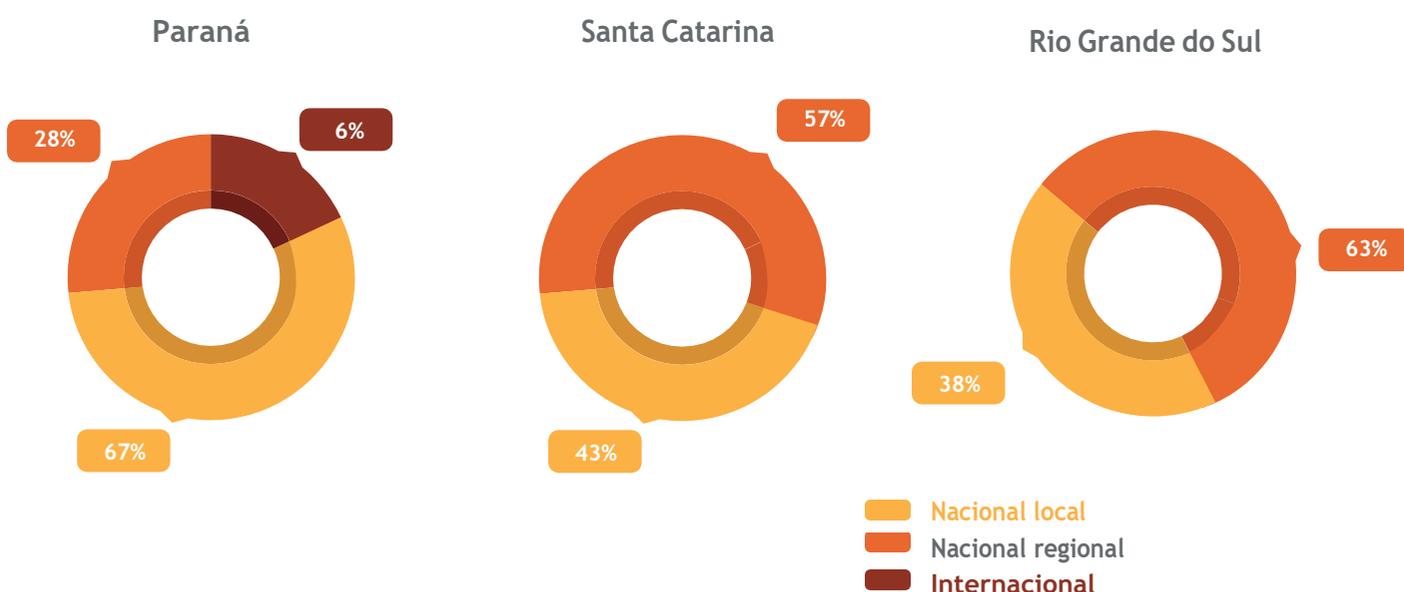
2.2.1 Origem das tecnologias

A localização de fornecedores de equipamentos para os sistemas de biodigestão influenciam nos custos de implantação, manutenção e assistência técnica. O crescente desenvolvimento da produção de biogás eleva em escala o fornecimento de equipamentos e serviços, oportunidade para os segmentos industriais ligados a cadeia do biogás.

A origem das tecnologias para sistemas de biodigestão, equipamentos para aplicação do biogás e monitoramento das plantas, foram classificadas em: origem local (fornecedor no território da planta de biogás), em origem regional (fornecedores localizados no estado em que a planta está implantada ou outros do Brasil) e origem internacional (fornecedores com tecnologias fora do Brasil).

Os resultados apontam que fornecedores locais vêm se desenvolvendo de forma crescente, dentre as plantas consultadas representam 53%. É possível observar uma relação diretamente proporcional entre a concentração de plantas de biogás e fornecedores o que retrata o desenvolvimento a partir da demanda de mercado, estabelecida por produtores e agroindústrias.

Origem da Tecnologia do Sistema de Biodigestão por Estado



Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul os fornecedores são predominantemente regionais, já no estado do Paraná o território encontra-se mais desenvolvido, sendo possível identificar número superior de fornecedores se comparados aos demais estados.

2.2.2 Transporte do substrato

Plantas de produção de biogás podem apresentar arranjos técnicos que contemplem o transporte de substratos para uma central de tratamento. Nesta central o material é armazenado, preparado e tratado em sistemas de biodigestão anaeróbia.

Apenas 9% das plantas consultadas transportam substrato. As unidades de produção com este modelo realizam de forma geral a codigestão, ou seja, alimentam o biodigestor utilizando dois ou mais substratos.

Outro fator a ser considerado para arranjos com transporte de biomassa é o raio de coleta do substrato, uma vez que o mesmo impacta nos custos de operação. Nas unidades consultadas, as distâncias variaram de 5 a 150 km, sendo as maiores distâncias vinculadas às unidades que recebem resíduos de diversos segmentos, prioritariamente agroindustriais.

2.2.3 Pré-tratamento

A etapa inicial em uma planta de biodigestão, a partir da identificação das características dos substratos, é a definição de um pré-tratamento. A finalidade do pré-tratamento é de aumentar a disponibilidade da matéria orgânica presente em substratos de difícil degradação, pois eles podem causar problemas físicos como flutuação, formação de espuma ou aglomeração e até mesmo inibição do processo caso não sejam submetidos a alguma tecnologia (MONTGOMERY & BOCHMANN, 2014). Os pré-tratamentos pode ser classificados em: físicos, químicos, biológicos e/ou combinados.

Aproximadamente 75% das plantas consultadas realizam algum pré-tratamento em seus substratos. Diante dos custos e disponibilidade de equipamentos no mercado, os físicos são os mais aplicados. Cerca de 40% das unidades que utilizam substratos a partir de efluentes da suinocultura e processamento de mandioca possuem sistemas de pré-tratamento físico. Os pré-tratamentos biológicos são aplicados em 35% das fecularias consultadas.

2.2.4 Tecnologias de biodigestão

O estabelecimento da tecnologia de biodigestão está diretamente relacionado à finalidade da planta, seja o aproveitamento energético ou o tratamento ambiental. Para o primeiro caso, as unidades utilizam substratos com a finalidade específica de produzir biogás e aplicá-lo em seus processos. Já para plantas cuja finalidade seja o tratamento de efluentes, seu foco será voltado principalmente para a redução de carbono orgânico.

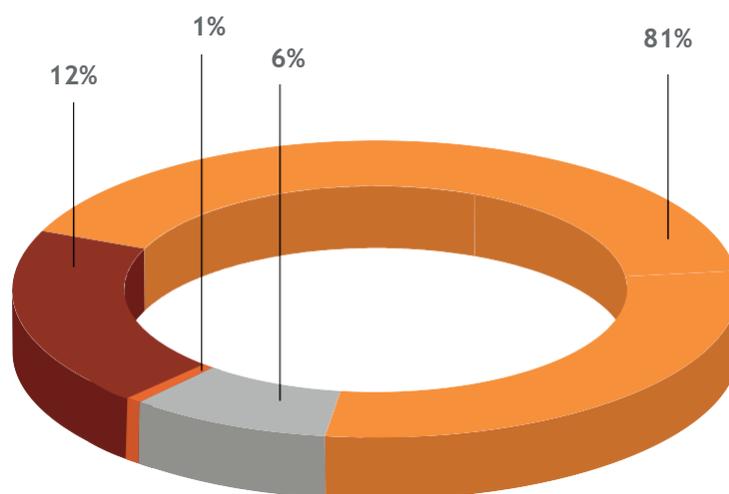
O ponto central de uma unidade de produção de biogás é o biodigestor, que pode ser único ou um conjunto (para unidades de múltiplos estágios). Caracteriza-se por um sistema hermeticamente fechado, com a ausência de oxigênio e que opera em condições controladas degradando a matéria orgânica dos substratos, gerando biogás.

Os modelos de biodigestor são adaptados a diferentes realidades econômicas e condições climáticas com diferentes propósitos e níveis tecnológicos. Há vários tipos de biodigestores em operação no Sul do Brasil, foram identificados quatro modelos, sendo:

- Biodigestor lagoa coberta;
- Biodigestor lagoa coberta com mistura completa;
- *Continuous Stirred Tank Reactor* - CSTR e;
- Biodigestor vertical rígido.

Modelos de biodigestores

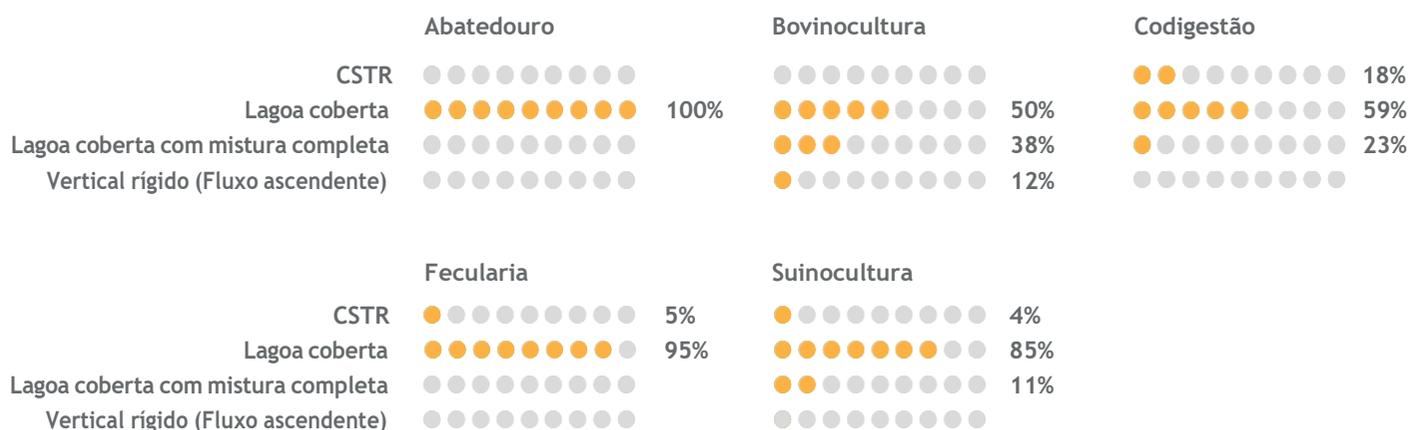
- Lagoa coberta
- Lagoa coberta com mistura completa
- *Continuous Stirred Tank Reactor* - CSTR
- Vertical rígido (fluxo ascendente)



O biodigestor lagoa coberta - BLC é o sistema com maior recorrência, estando presente em 81% das plantas consultadas. O BCL possui baixo nível tecnológico, facilidade de construção e operação. Por conta dessas características vem sendo amplamente empregado em propriedades rurais e agroindústrias, para o tratamento de efluentes com baixa taxa de sólidos totais.

Os substratos utilizados para o tratamento em biodigestores lagoa coberta são variados, abatedouros de animais lideram o ranking, empregando biodigestor lagoa coberta em 100% das unidades consultadas, seguida de fecularias com 95%.

Modelo do Biodigestor e substrato utilizado



Vale ressaltar que substratos resultantes da suinocultura (85%), codigestões (59%) e de bovinocultura (50%), seguiram a tendência anterior, com alta aplicação dos biodigestores lagoa coberta.

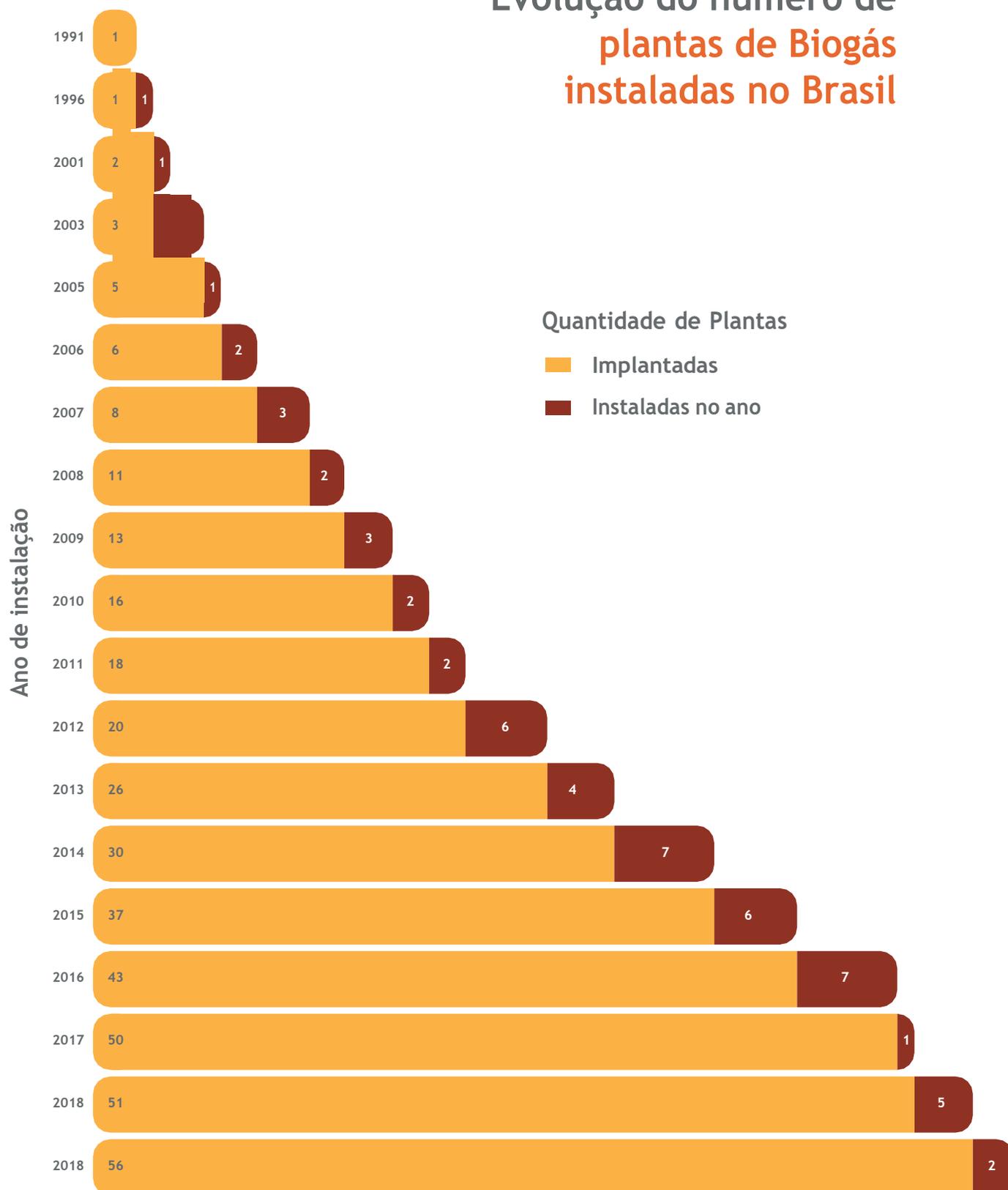
Entre os três estados, Santa Catarina destaca-se tendo 96% das propriedades de suinocultura realizando o tratamento em biodigestor lagoa coberta. No Paraná 95% das fecularias consultadas possuem este sistema de biodigestão seguido de 60% das plantas com efluente da suinocultura.

Os biodigestores lagoa coberta com mistura completa possuem fluxo contínuo ou semi-contínuo na entrada e saída dos substratos, construído em formato circular, com agitação mecânica contínua ou intermitente que contribui para a homogeneização da matéria orgânica e evita a formação de crostas do interior do biodigestor. Cerca de 38% das plantas com substrato de bovinocultura empregam este sistema de biodigestão. Esse modelo de tecnologia é comumente utilizado em suinoculturas e bovinocultura no estado do Paraná e em plantas de codigestão no Rio Grande do Sul.

O avanço tecnológico ao longo dos anos permitiu que empresas passassem a desenvolver e/ou adaptar sistemas já utilizados no Brasil, por meio de transferência de tecnologia com outros países. Esse avanço resultou na modernização das plantas, entregando maior segurança operacional e rendimento de biogás para os novos projetos.

Essa progressão pode ser observada ao longo dos anos, até 2008 o número de plantas utilizando sistema de biodigestão lagoa coberta apresentava destaque superior ao observado em 2019, sendo uma das únicas tecnologias utilizadas. No decorrer dos anos, outros modelos foram adotados assim como o tipo de substrato passou a ser diversificado.

Evolução do número de plantas de Biogás instaladas no Brasil



2.2.5 Aquecimento e agitação em biodigestores

A eficiência de um biodigestor é afetada por uma série de fatores, dentre os quais a temperatura é um dos mais importantes. Um sistema de aquecimento pode impactar no rendimento de biogás, aumentando em até 30% a produção, além de contribuir para um processo mais estável ao longo de todo o ano, evitando as oscilações devido às mudanças de temperatura (CASARIN, 2016).

Dentre as possibilidades de aquecimento do substrato, estão a utilização de serpentinas na parte interna do reator promovendo a circulação de água, visando a troca térmica ou o aquecimento direto do substrato (KUNZ, et. al. 2019).

Apesar das vantagens do uso de sistemas de aquecimento nos biodigestores, sua aplicação ainda é baixa, presente em apenas 14% das plantas consultadas. O principal sistema de aquecimento adotado é por meio da troca térmica, utilizando serpentinas com água aquecida no interior do biodigestor. O material comumente empregado para a troca térmica são tubos de polietileno reticulado - PEX, estando presente em 38% das plantas visitadas.

Os sistemas de aquecimento foram observados em dois modelos de biodigestão, o CSTR e o biodigestor lagoa coberta de mistura completa. Ambos possuem características construtivas circulares, contribuindo para a distribuição da tubulação na parte interna do biodigestor. Dentre os biodigestores CSTR visitados, 100% possuem aquecimento e nos biodigestores lagoa coberta com mistura completa, somente 20% realizam o aquecimento. Assim como o aquecimento, o emprego de agitação do substrato no biodigestor interfere positivamente na produção de biogás, pois tem a finalidade de promover o contato entre os microrganismos e contribuir com o aumento da produtividade de biogás.

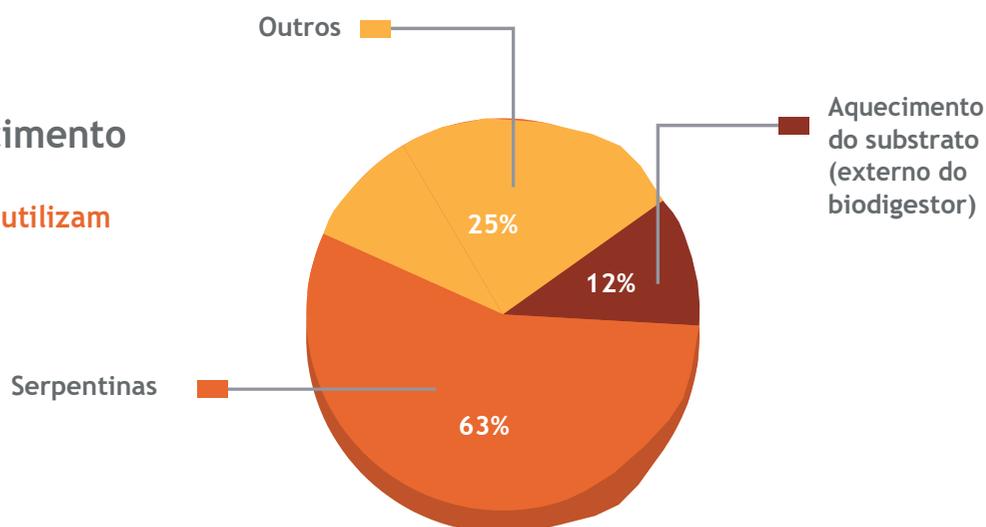
A seleção do sistema de agitação deve considerar as características do substrato e o modelo de biodigestão adotado. A utilização de sistema de agitação pode contribuir em um aumento de 15% a 30% na produção de biogás (KARIM, et. al, 2015). Os sistemas de agitação podem ser classificados em: hidráulicos, pneumáticos e mecânicos.

Os hidráulicos fazem uso de bombas internas ou externas promovendo a agitação do substrato. Os pneumáticos realizam a recirculação do biogás por borbulhamento para promover uma turbulência no interior do biodigestor. Já os mecânicos utilizam misturador ou moto bombas com hélices (KUNZ, et. al. 2019). Dentre as plantas consultadas a agitação está presente em 60%, onde os sistemas hidráulicos de agitação são os mais comuns (66%), seguido dos sistemas mecânicos (34%).

Sistema de aquecimento

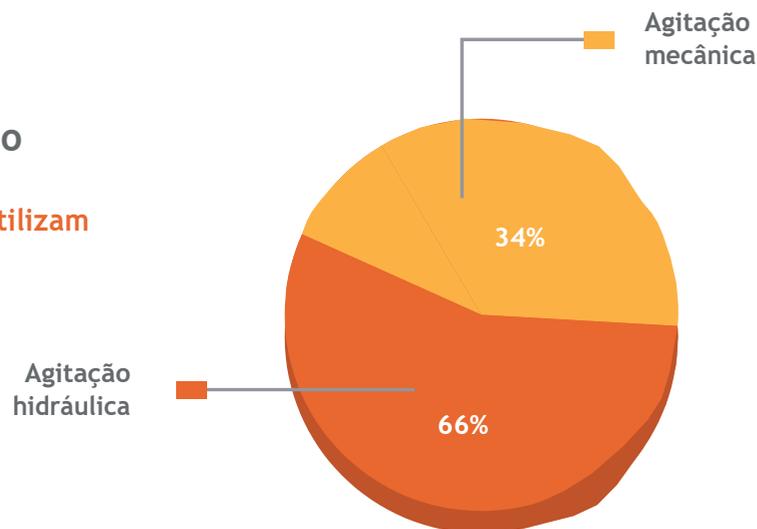
% total de plantas que utilizam

14%



Sistema de agitação

% total de plantas que utilizam
60%



Aproximadamente 86% dos biodigestores lagoa coberta possuem sistemas de agitação hidráulico, em sua grande maioria utilizando efluentes da suinocultura. Plantas com efluentes de fecularia de forma geral, não adotaram nenhum sistema de agitação. Nas plantas consultadas apenas 14% realizam agitação hidráulica.

2.2.6 Tratamento do biogás

O biogás é uma mistura de 50 -70% de metano (CH₄) e 30 - 50% de dióxido de carbono (CO₂) e em menores concentrações água na forma de vapor, sulfeto de hidrogênio (H₂S) e outros elementos traços (Fagerström et al., 2018). Dentre os componentes, o metano é o que apresenta maior percentual em relação aos demais, o que possibilita ao biogás aplicações energéticas como: geração de energia elétrica, térmica e biometano.

Os compostos que acompanham o metano contribuem para a redução do poder calorífico do biogás, como é o caso da umidade que pode ainda favorecer o processo de corrosão dos equipamentos, instrumentos e estruturas se combinado com sulfeto de hidrogênio. Cerca de 62% das plantas consultadas realizam processos para a remoção de umidade, sendo o método mais aplicado a condensação, em 89% das plantas.

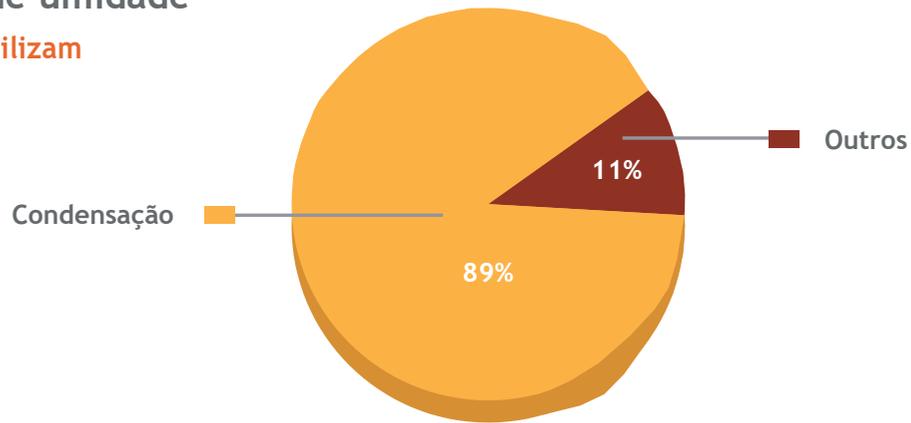
Assim como a remoção de umidade, a remoção do sulfeto de hidrogênio é fundamental, porém, apenas 57% das plantas fazem este tipo de tratamento no biogás. Para remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás são utilizados como tratamento principalmente a dessulfurização biológica, remoção com carvão ativado e lavagem bioquímica.

Tratamento do biogás

Remoção de umidade

% total que utilizam

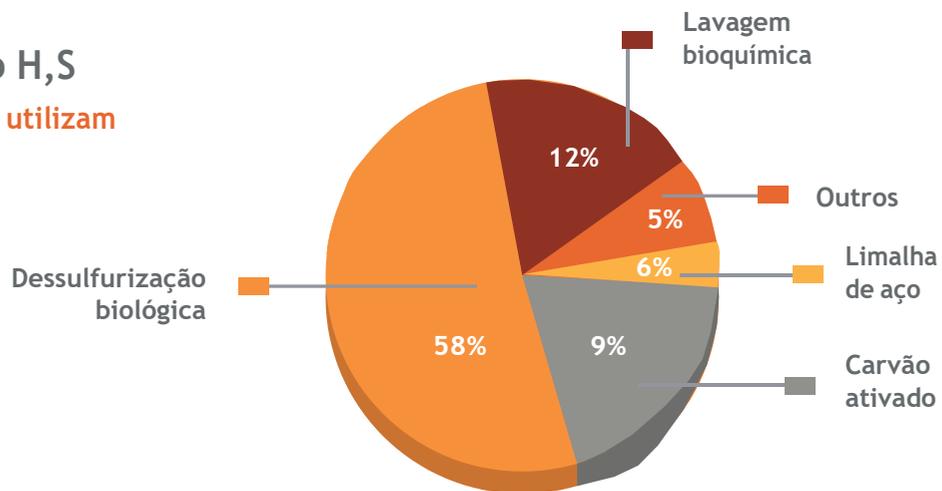
62%



Remoção H₂S

% total que utilizam

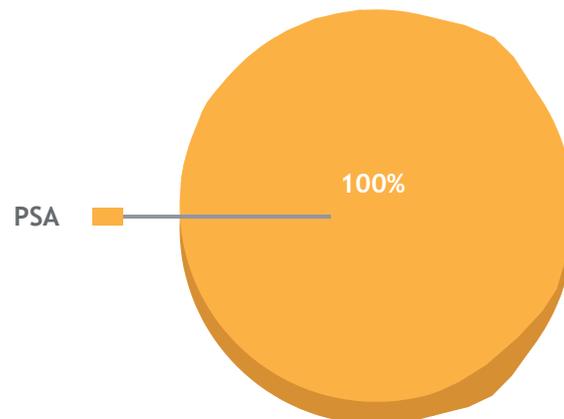
57%



Remoção do CO₂

% total que utilizam

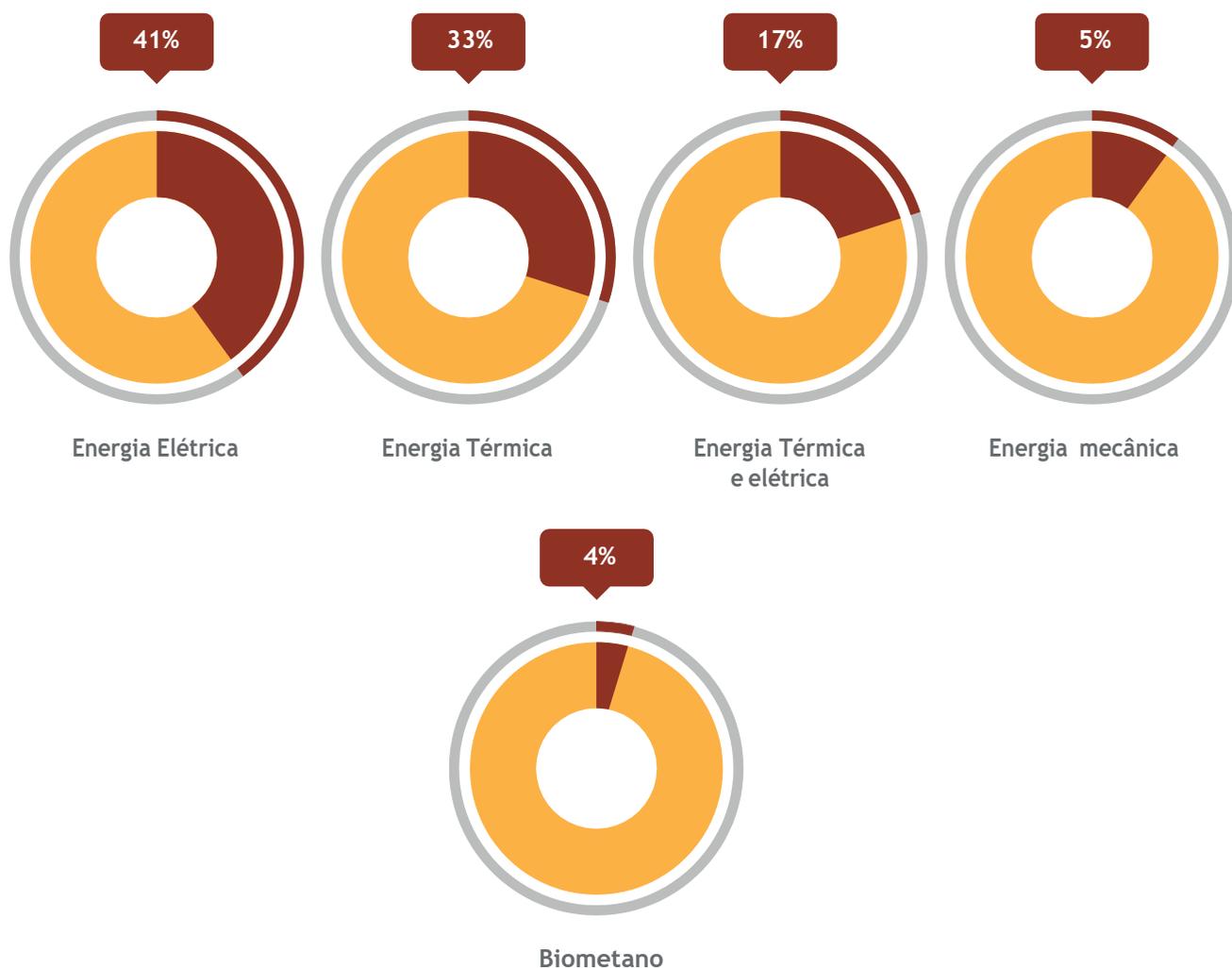
5%



2.2.7 Aplicações do biogás

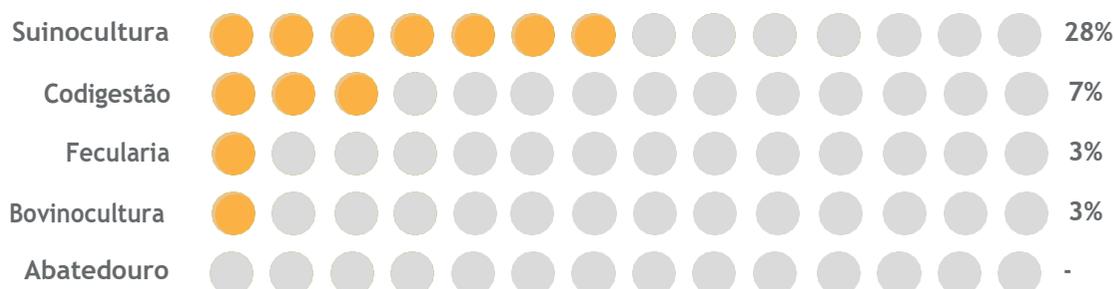
O biogás fornece energia renovável adequada para aplicações diversas, podendo ser utilizado na geração de calor, eletricidade, ser distribuído por meio da infraestrutura existente de gás natural e utilizado nas mesmas aplicações, podendo ainda substituir os combustíveis fósseis no setor de transportes. Possui vantagens em comparação com outras energias renováveis, pois, pode ser produzido, armazenado e utilizado conforme necessidade do empreendimento.

Aplicações de Biogás na **Região Sul**



Energia elétrica

O aproveitamento do biogás em energia elétrica ocorre a partir da conversão da energia química contida nas moléculas do biogás em energia mecânica por meio da combustão (LIMA, 2012). A conversão energética do biogás em energia elétrica é a principal aplicação do biogás nas plantas consultadas Sul brasileiras, esse processo ocorre em 41% das unidades.



Plantas que possuem a geração de energia elétrica podem aderir a modalidade de geração distribuída. A geração distribuída (GD) refere-se a geração de energia elétrica por consumidores distribuídos geograficamente, ou seja, é a produção descentralizada de energia no local ou próximo de onde a energia é consumida. Das plantas que geram energia elétrica 69% estão conectadas em geração distribuída.

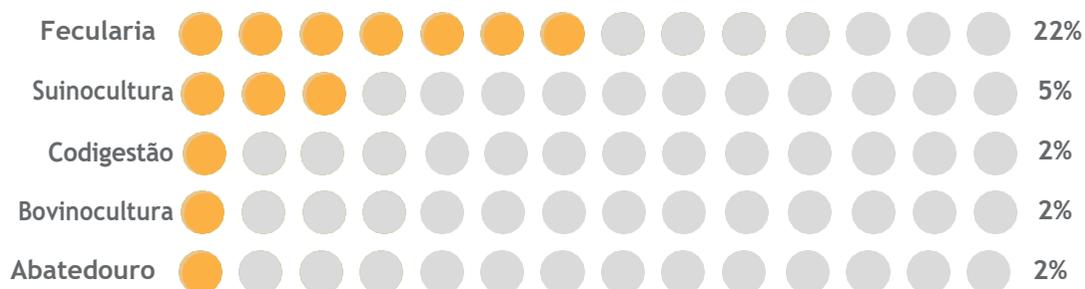
Dentre as plantas conectadas em GD, 64% operam com substrato de efluente de suinocultura e 20% de fecularia. No estado do Paraná encontra-se o maior número de plantas de biogás conectadas em GD. No Rio Grande do Sul todas as plantas visitadas geram energia elétrica, mas somente 33% possuem conexão com a rede.

Energia térmica

O calor desprendido pelo motor é uma outra fonte de energia que pode ser utilizada, para cogeração (obtenção de água quente, vapor ou frio). A cogeração é a geração combinada de eletricidade e calor, onde o calor dissipado pelo escapamento ou radiador dos geradores pode ser aproveitado para gerar energia térmica. A cogeração está presente em 19% das plantas de biogás consultadas.

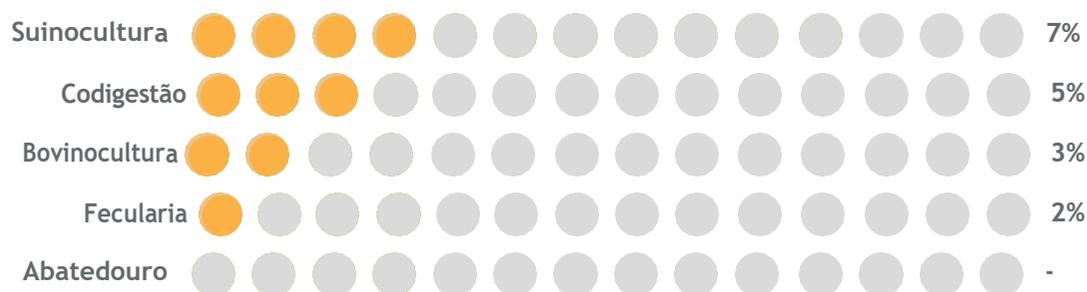
O aproveitamento energético do biogás como energia térmica é utilizado em aproximadamente 33% das plantas. Seu aproveitamento está relacionado a obtenção de calor para cocção de alimentos, aquecimento em sistemas de produção animal e processos substituindo o emprego de madeira como fonte de calor.

Energia térmica



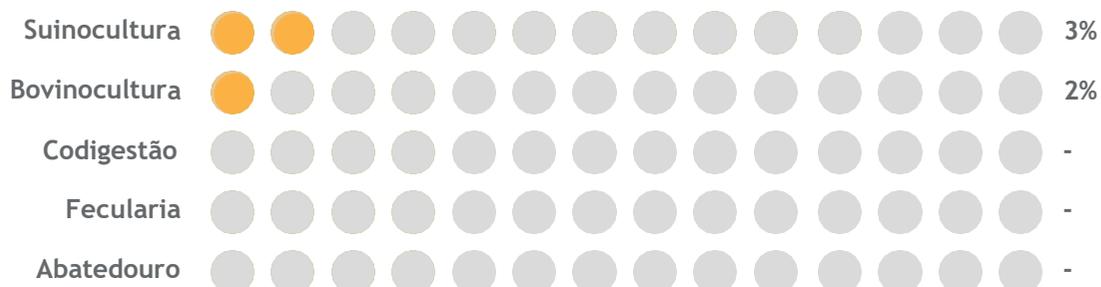
Em 17% das plantas o biogás é convertido em energia elétrica e térmica, conforme a demanda. A fecularia e a suinocultura são as maiores demandantes de energia térmica.

Energia térmica e elétrica



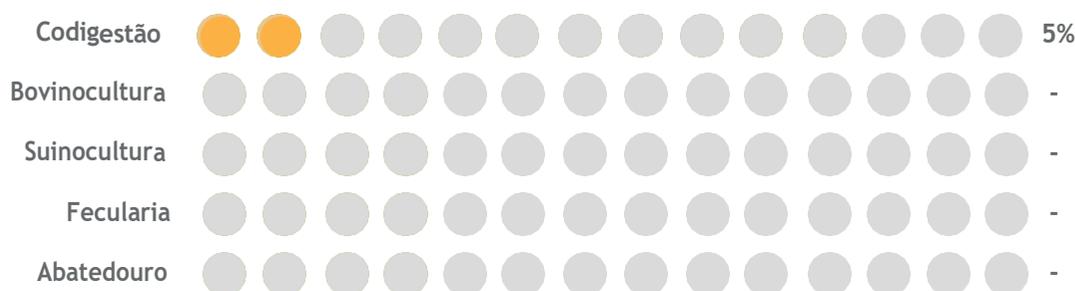
Energia mecânica

A energia mecânica do biogás é utilizada em motobombas para bombeamento do digestato para fertirrigação em lavouras e pastagens. Essa aplicação foi observada em 5% das unidades. De forma geral, a aplicação mecânica é complementar às outras três modalidades (térmica, elétrica e biometano).



Biometano

O biometano é um biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás, mas ainda pouco difundido nas plantas de biogás consultadas, 5% produzem o biometano. O biometano produzido nas plantas de biogás é utilizado principalmente como combustível veicular, representando 67% das plantas e em 33% delas suas utilização é combinada entre combustível veicular e energia térmica, de acordo com a demanda.



2.2.8 Aplicações do digestato

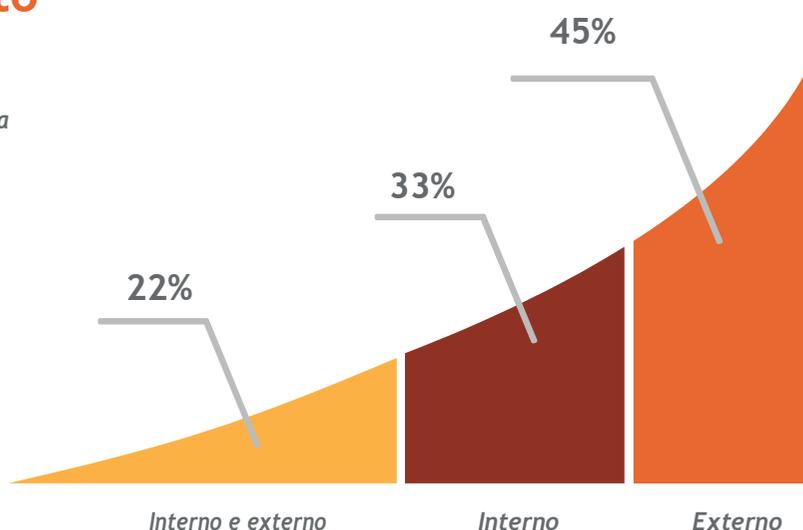
O digestato é um produto oriundo do processo de digestão anaeróbia, pode ser utilizado como condicionador de solos, e que dependendo das suas características, possui valor fertilizante. Valores analíticos comprovam que a digestão reduz o teor de matéria seca dos substratos. Além disso a relação C/N se torna menor em função da fermentação (PROBIOGÁS, 2010).

Sua ampla utilização apresenta inúmeras oportunidades principalmente vinculadas a novas receitas em plantas de biogás, por outro lado, o emprego de tecnologias para recuperação de nutrientes (nitrogênio e fósforo) a fim de agregar valor, impactam na viabilidade econômica de empreendimentos (KUNZ et.al. 2019).

A forma mais simples de utilizar o digestato é a disposição direta em áreas agrícolas, prática realizada em 82% das plantas de biogás consultadas. O aproveitamento do digestato ocorre pelo uso externo (quando ocorre a doação ou comercialização para terceiros) e/ou uso interno (na unidade de produção). A comercialização é uma prática pouco observada nas plantas Sul brasileiras, apenas 3% geram receita com o digestato.

Aproveitamento do digestato

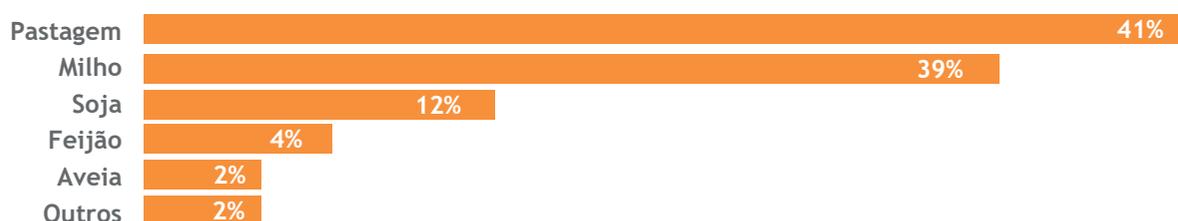
 3% geram receita



Ainda há ocorrência de plantas que não fazem o aproveitamento do digestato, como é o caso de algumas agroindústrias (abatedouros e fecularias). Por não possuir área para aplicação, em algumas plantas o digestato é submetido a processos de higienização e polimento para atingir os padrões exigidos de lançamento em corpos hídricos.

O manejo correto do digestato para uso como fertilizante é uma fonte segura de nutrientes, passível de substituir de maneira eficiente os fertilizantes minerais, com impacto positivo na produtividade das lavouras e no ambiente, além disso ainda reduz o custo com a compra de fertilizantes minerais, contribuindo para a viabilidade econômica (NICOLOSO, et al., 2019). Na região sul o digestato é aplicado principalmente em culturas com maior demanda de nutrientes, como o milho e pastagens.

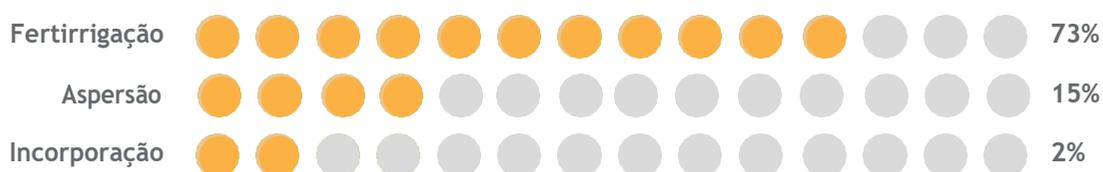
Culturas que recebem o digestato



Distribuição percentual das culturas que recebem digestato

As formas de aplicação do digestato no solo ocorrem principalmente por fertirrigação e aspersão, sendo aproximadamente 88%. Em um volume menor (10%) é realizada a combinação de incorporação e aspersão ou fertirrigação e aspersão.

Formas de aplicação do digestato das plantas de biogás na Região Sul



Vale ressaltar que a aplicação do digestato no solo pode provocar riscos ambientais se não for aplicado em doses equivalentes às necessidades de cada cultura, com correto manejo dos nutrientes compatíveis com o tipo de solo, cultura e de orientações técnicas que levem em consideração as condições de uso do solo.

Relatos de produtores sobre o digestato



O uso do digestato na cultura do milho dobrou o volume de silagem.

Produtor rural - Mariluz/PR



Com o uso do digestato foi possível reduzir em torno de 70 kg/ha ano de adubo, e observei um aumento de biomassa de 15 a 20% na produção de milho para silagem

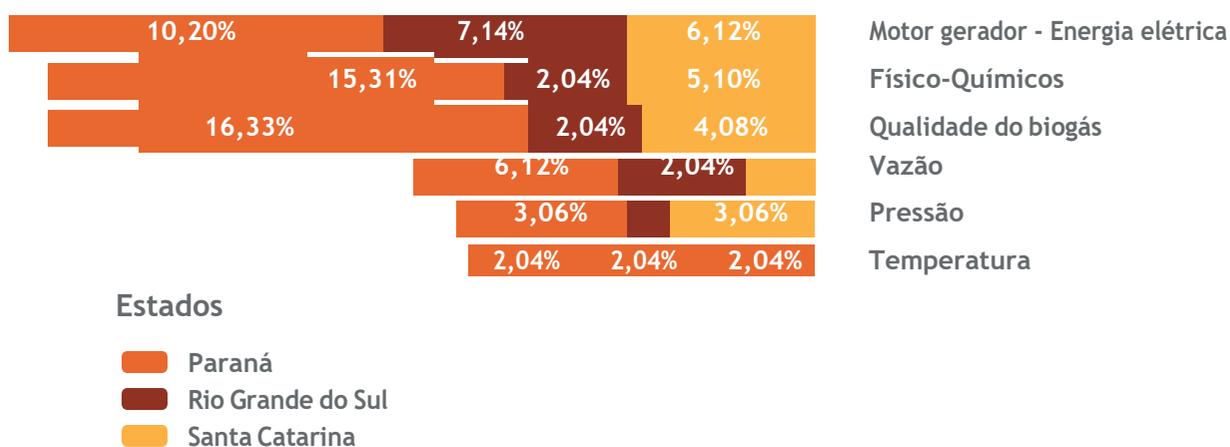
Produtor rural - Salvador do Sul/RS

2.2.9 Monitoramento

Nas plantas de biogás existem diversas opções para controlar os processos e equipamentos, desde os controles manuais, protocolos operacionais até sistemas de dados automatizados. Em torno de 72% das plantas de biogás consultadas monitoram pelo menos um parâmetro. Com maior incidência estão o monitoramento do grupo motor gerador de energia elétrica, parâmetros físico-químicos, qualidade do biogás, vazão, pressão e temperatura.

As plantas de biogás do estado do Paraná destacam-se com o maior número de plantas com monitoramento. Cerca de 22% das plantas possuem somente um item de monitoramento e 28% das unidades sul brasileiras não realizam nenhum tipo de monitoramento.

Parâmetros monitorados por Estado



2.2.10 Segurança das plantas de biogás

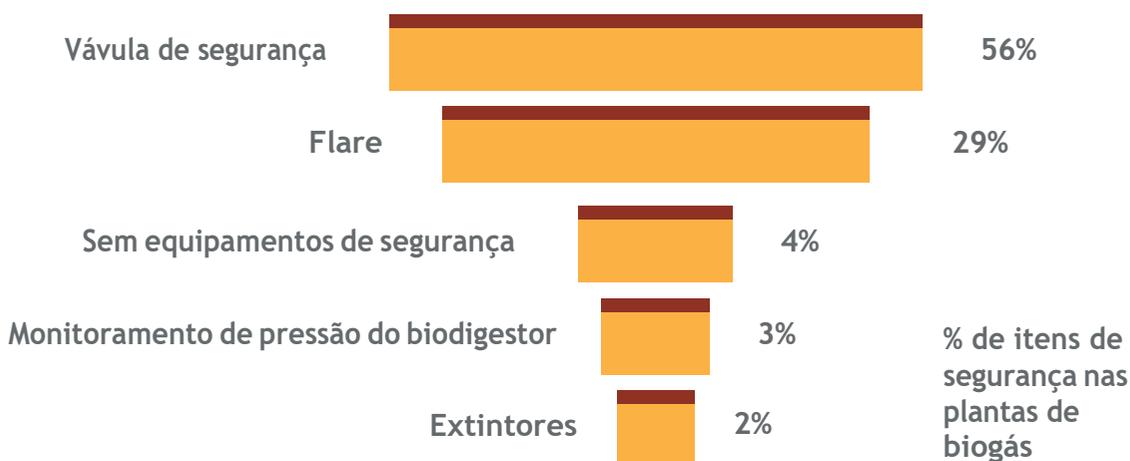
Existe uma grande diversidade de perigos existentes em uma planta de biogás e/ou biometano. O biogás é considerado como um gás extremamente inflamável e deve ser afastado de calor, de superfícies quentes, faíscas, chamas abertas e outras fontes de ignição (FACHVERBAND, 2016). Estes perigos estão relacionados tanto aos riscos ocupacionais, ambientais e também quanto a efetividade do processo de produção (KUNZ, et.al. 2019).

No Brasil atualmente não existem Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) que contemplem especificamente sobre segurança em plantas de biogás, permitindo que produtores optem em implantar ou não, equipamentos para alívio de pressão, destruição de biogás e outros relacionados ao monitoramento, operação e controle, visando a segurança da planta e de seus operadores.

Ao buscar referências para especificar itens de segurança, os olhares são direcionadas a normativas internacionais vigentes. Uma vez, que em países como a Alemanha, Itália e Estados Unidos, o tratamento e uso energético do biogás está mais avançado.

Dentre as plantas de biogás consultadas, 93% apresentaram algum tipo de item de segurança, com predominância de válvula de segurança para alívio da pressão e queimador de gás (flare).

Itens de segurança utilizados nas Plantas de Biogás da **Região Sul**

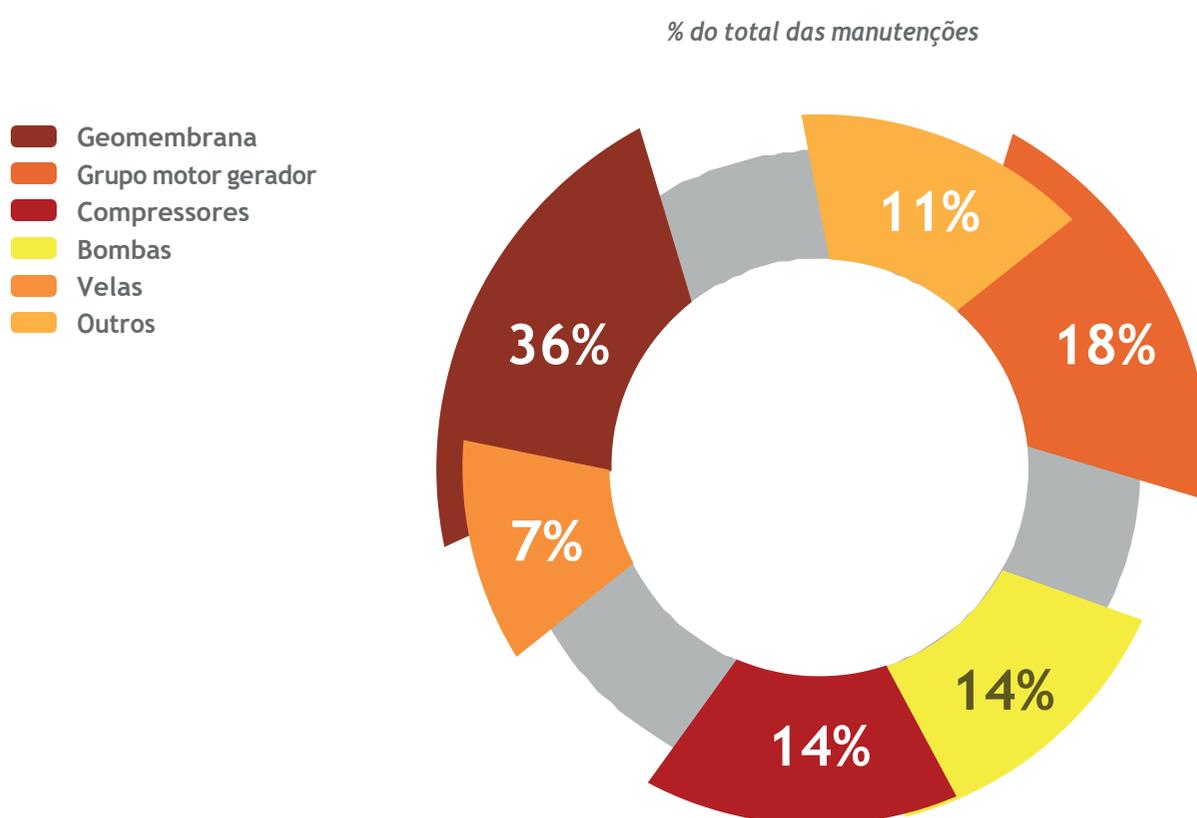


Durante visitas à campo nos estados Sul Brasileiros, foram relatados 5 casos de risco em plantas de biogás, envolvendo incêndio e desancoragem de biodigestor. Entre as causas: ausência de válvulas de segurança (para alívio de pressão), ausência de válvulas corta chama em sistemas de queima do biogás em caldeiras, ausência de flare e/ou válvulas corta chama no equipamento, proximidade do flare ao sistema de biodigestão, ausência de sistema de automação adequado para o uso do biogás em grupo motores geradores.

2.2.11 Manutenção de equipamentos

A manutenção dos equipamentos nas plantas de biogás gera custos e requer serviços especializados. Entre os equipamentos que mais exigem manutenção nas plantas de biogás estão a geomembrana (lona que recobre o biodigestor), grupo motor gerador, bombas e compressores.

Principais equipamentos que necessitam de manutenção



**Percentual em relação a todas as plantas consultadas.*

Dentre os equipamentos citados, é importante destacar, que foi constatado em campo que inúmeras manutenções ocorrem em decorrência das adaptações necessárias aos equipamentos, uma vez que o mercado não possui ampla oferta de equipamentos específicos à biogás, sendo necessário realizar os ajustes e adequação nos equipamentos disponíveis, para que operem de forma satisfatória.

2.2.12 Ranking das plantas de biogás

As informações referentes ao uso de tecnologias aplicadas em sistemas de biodigestão, segurança, monitoramento e controle, contribuem para a construção de um diagnóstico da maturidade tecnológica das plantas de biogás. O avanço do nível tecnológico das plantas de biogás é importante, e o acompanhamento desse crescimento pode estimular o desenvolvimento sustentável do setor.

Nível de maturidade tecnológica

	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
Fator tecnológico ¹	43	74%	10	17%	5	8%
Segurança das plantas ²	29	50%	24	41%	5	8%
Monitoramento ³	29	50%	14	24%	15	26%

¹ Fator tecnológico: Baixo - biodigestor lagoa coberta; Médio - biodigestor lagoa coberta com mistura completa; Alto - biodigestor CSTR.

² Segurança das plantas: Baixo - 1 ou nenhum item; Médio - 2 itens; Alto - 3 itens ou mais.

³ Monitoramento: Baixo - 1 ou nenhum parâmetro; Médio - 2 parâmetros; Alto - 3 ou mais parâmetros.

O baixo investimento em segurança nas plantas está diretamente relacionado à falta de regulações que orientem e gerem a obrigatoriedade em implantar determinados itens. Cerca de 50% das plantas consultadas possuem baixo indicador de segurança, onde adotam 1 ou nenhum item de segurança.

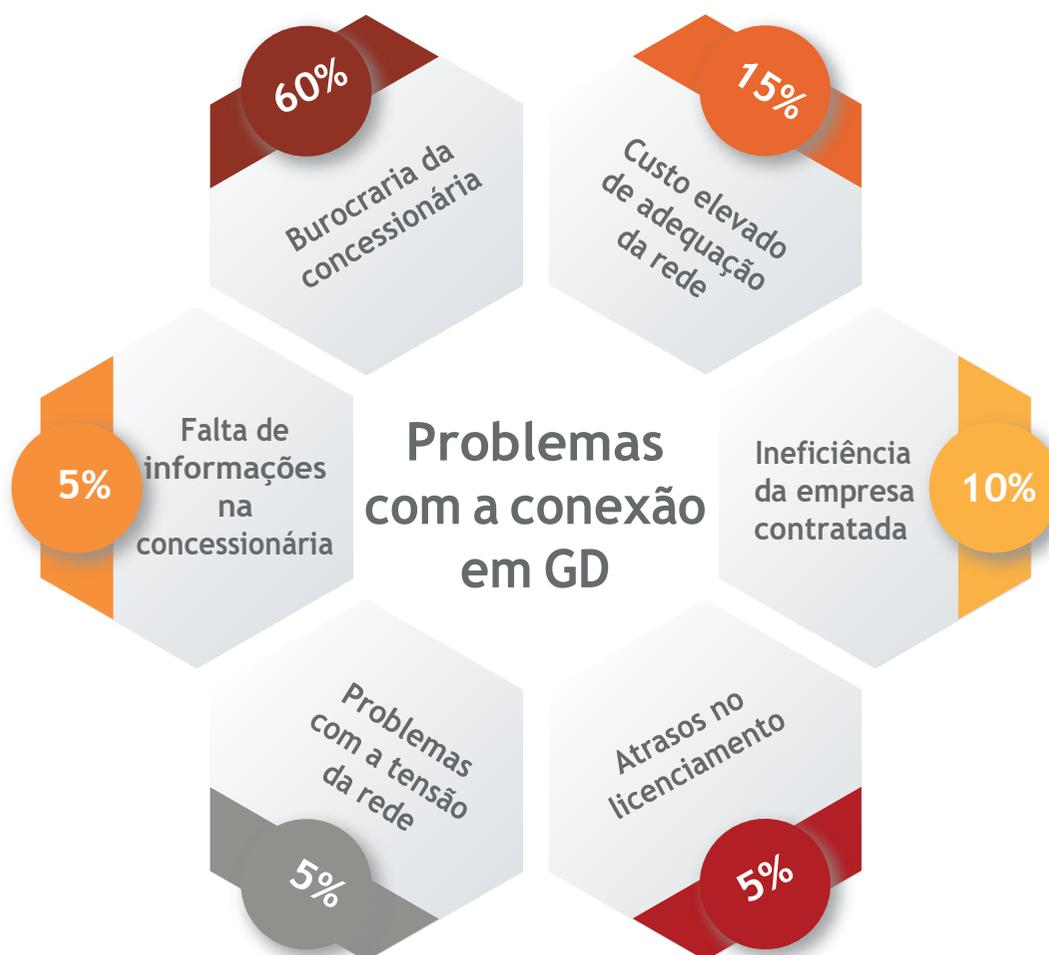
As tecnologias adotadas para a biodigestão podem estar relacionadas à falta de segurança, uma vez que biodigestores lagoa coberta (baixo fator tecnológico) operam com baixo ou nenhum controle, aliado a isso ocorre a escolha e/ou orientação indevida em optar pelo não uso de equipamentos de segurança.

Equipamentos e instrumentos de monitoramento e controle podem contribuir para o aumento da segurança de operação das unidades, entretanto, 50% das plantas de biogás operam com baixo nível de monitoramento.

2.2.13 Dificuldades das plantas de biogás

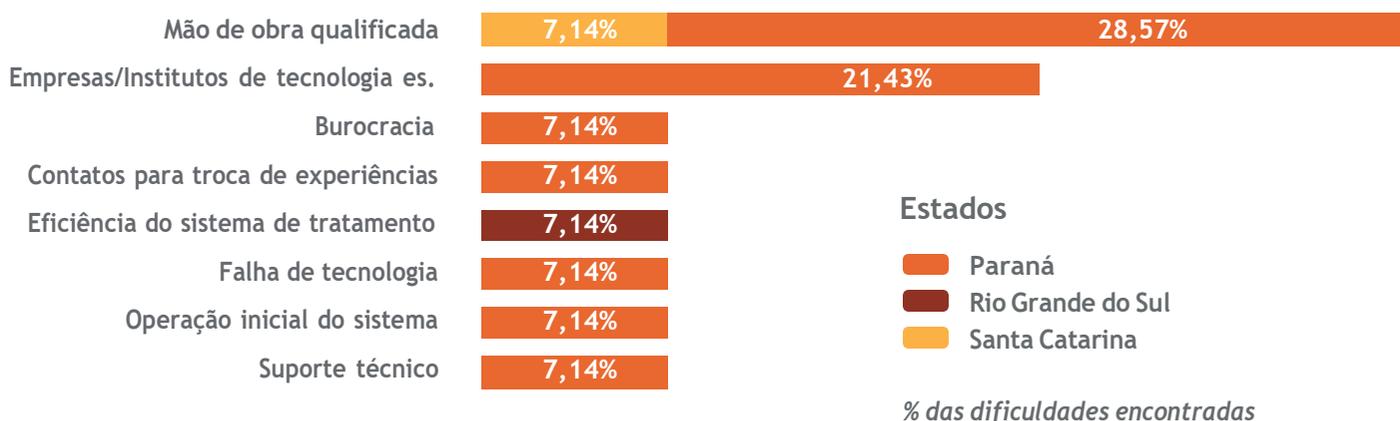
O aproveitamento do biogás como energia elétrica é a conversão energética comumente utilizada e amplamente difundida no Sul do Brasil. Grande parte das plantas que geram energia elétrica possuem conexão na rede elétrica na modalidade geração distribuída, e destas 66% não relataram dificuldades para conexão com a rede. Entretanto, uma parcela das plantas mencionaram dificuldades relacionadas a burocracia das concessionárias de energia e do custo elevado para a conexão.

Dificuldades encontradas com a conexão da GD na Região Sul

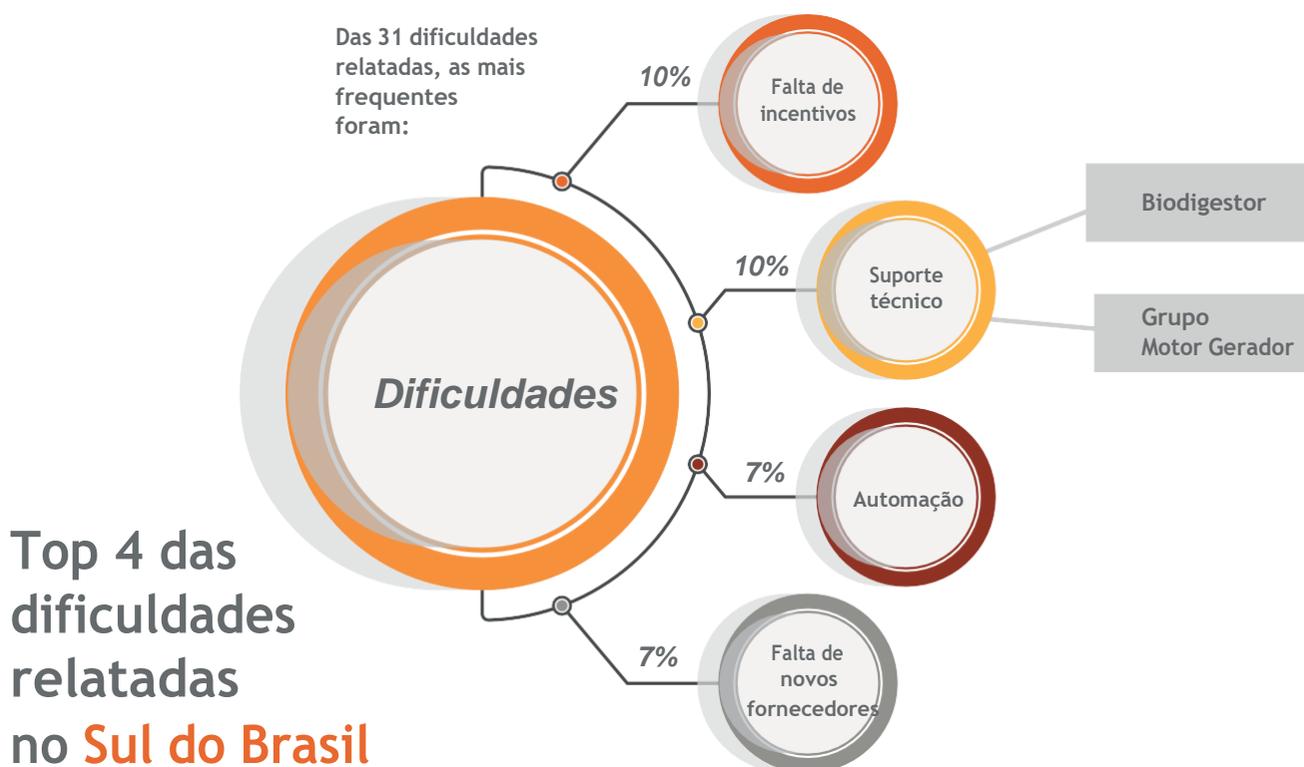


Quando se trata da produção de biometano, as principais dificuldades relatadas foram a deficiência de mão-de-obra qualificada (36%) e de empresas e institutos de tecnologia especializados (21%).

Dificuldades encontradas com a produção de biometano



Nas visitas a campo foram levantadas várias dificuldades nas plantas de biogás, que demonstram algumas das barreiras existentes no setor. As questões relatadas e mais recorrentes estão relacionadas a falta de incentivos para a produção de biogás, necessidade de maior suporte técnico para biodigestores e grupo motor gerador, de automação no monitoramento das plantas, necessidade de novos fornecedores de equipamentos no mercado, a falta de informações, mão-de-obra qualificada, alto custo de manutenção e preço dos equipamentos para implantação da planta de biogás e geração de energia.



Dentre as plantas de biogás investigadas, ao serem questionadas quanto à necessidade de automação e monitoramento 98% entendem ser uma intervenção necessária em suas unidades, 70% acreditam ser necessário o upgrade no sistema de tratamento dos efluentes e 92% possuem necessidade ou interesse em expandir a geração de energia para atender suas demandas.

NECESSIDADES DAS PLANTAS	PR	SC	RS
Automação e monitoramento	94%	100%	100%
Upgrade do sistema de tratamento	77%	62%	71%
Expansão da geração de energia elétrica	89%	87%	100%

3. Panorama financeiro e social

O biogás é economicamente importante sob o ponto de vista de quem o produz. Se avaliado de forma sistêmica e integrado aos processos produtivos dos quais é oriundo, relaciona o uso energético capaz de gerar renda e reduzir os custos e as externalidades ambientais positivas do biogás, adicionando ainda sustentabilidade ao sistema.

Além disso, a produção de biogás promove uma sinergia entre o tratamento de efluentes e a geração de energia. O tratamento adequado dos efluentes gerados é obrigatório e impacta o sistema produtivo. A conversão energética do biogás aumenta a eficiência do processo, reduzindo custos e impulsionando o viés financeiro da planta de biogás.

Segundo o PNBB - Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano (2015) o biogás como um produto energético tem valor econômico. A conversão de biogás em energia possibilita a inserção de entrada econômica nos processos dos quais é oriundo, com geração de renda para suprir investimentos e custos operacionais na produção de biogás e conversão energética. Além disso, o uso energético do biogás tem capacidade de gerar renda e ser o constituinte na adequação ambiental dos empreendimentos, que geralmente possuem alto custo de investimento.

3.1 Investimentos nas plantas de biogás

O custo de implantação de uma planta de biogás depende de vários aspectos, e engloba basicamente o nível tecnológico do sistema, que inclui a disponibilidade, custos e tecnologias para manuseio do substrato, as tecnologias para a geração de biogás, aproveitamento energético eficiente, armazenamento e aplicação do digestato. Nas plantas de biogás consultadas, o custo de implantação variaram de R\$80.000,00 a R\$10.500.000,00.

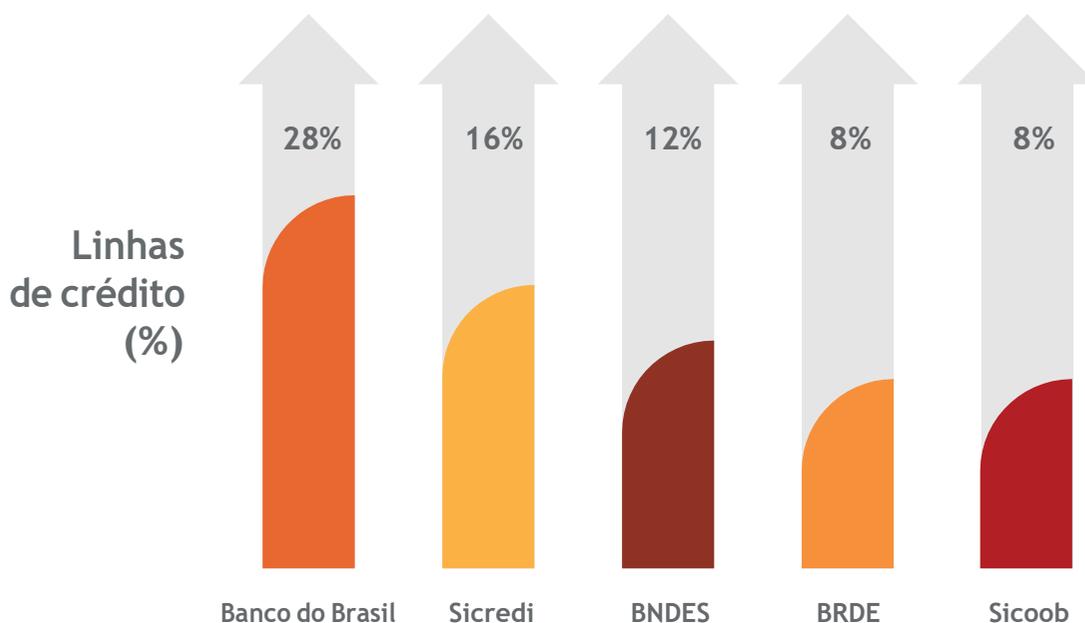
Ao comparar as plantas com as aplicações mais usuais do biogás (energia elétrica e térmica), o investimento nas plantas com geração de energia elétrica é mais significativo. Nas plantas consultadas o retorno do investimento em média foi de 4 anos. As plantas de biogás que aproveitam o biogás como fonte de energia térmica tem retorno do investimento em torno de 2 anos, em decorrência dos custos de implantação de equipamentos serem inferiores.

Ao analisar as fontes de recursos para os investimentos em plantas de biogás, cerca de 43% utilizaram linhas de crédito outros 41% utilizaram recursos próprios. O alto índice de investimentos com recursos próprios indicam que a implantação de plantas de biogás podem ser considerados investimentos atrativos e rentáveis.

A relação entre plantas que realizaram investimento próprio e/ou optaram em utilizar recurso de agências é muito próxima em todos os estados do sul. O estado do Paraná, se destacou no uso de crédito de agências financeiras.

As linhas de crédito com maior contratação nas plantas consultadas são do Banco do Brasil, Sistema de Crédito Cooperativo - Sicredi, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Sustentável - BNDES, Banco Regional do Extremo Sul -BRDE e o Sistema de Cooperativas de Crédito do Brasil - Sicoob.

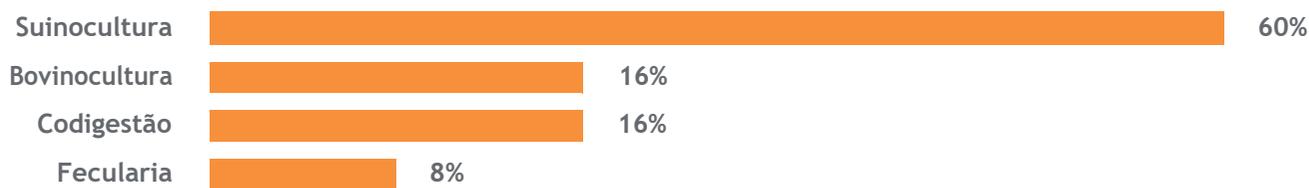
Linha de crédito



Relacionando o uso de crédito para implantação das plantas com o substrato, as plantas de biogás que utilizam efluente de suinocultura são as que mais contrataram linhas de crédito para implantação de suas unidades (60%), ou seja, a maioria das unidades de produção com uso do efluente de suinocultura precisaram buscar recursos externos para investir nas plantas de biogás.

Entre as plantas que aplicaram somente recursos próprios, 50% são de agroindústrias, que investiram na implantação do sistema de produção de biogás sem necessidade de financiamentos. O compromisso e a fiscalização ambiental em agroindústrias é intensificado se comparado à propriedades rurais, esse fator pode contribuir para utilização de recursos próprios para soluções de passivos.

Uso de linha de crédito por substrato nas plantas de biogás da região Sul



% do total das propriedades que utilizaram linha de crédito

A aplicação do biogás nas plantas que fizeram uso de linhas de crédito concentra-se na geração de energia elétrica, visto que 96% fazem este tipo de aproveitamento do biogás. Já entre as plantas que não demandaram acesso a linhas de crédito, somente 25% geram energia elétrica.

3.1.2 Impactos financeiros

O aproveitamento energético do biogás geralmente é local, ou seja, para autoconsumo. Desta forma a economia gerada com o biogás é dada pelo custo evitado de energia elétrica, lenha, combustíveis como diesel, gasolina, etanol, entre outros. O custo médio mensal evitado para plantas que possuem a geração de energia elétrica e energia térmica é similar, em torno de R\$20.000,00.

É fundamental destacar o aumento da produtividade agrícola devido a aplicação do digestato, a melhoria da qualidade de vida dos produtores e a redução de gases do efeito estufa. Entretanto, não foram valorados como retorno financeiro aos produtores, mas devem ser considerados pois, provocam impactos significativos na rotina das propriedades e plantas de biogás.

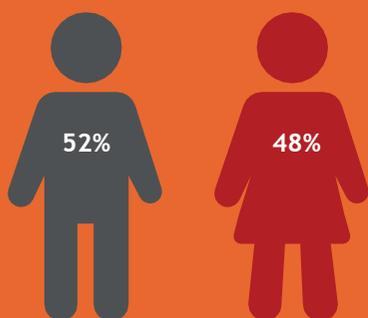
3.1.1 Empregos gerados

Entre as 58 unidades de produção consultadas, com diferentes ramos de atuação, são gerados aproximadamente 8.000 empregos dentro de seus processos produtivos, sendo 131 diretamente relacionados à operação de plantas de produção de biogás. De forma geral, as plantas destinam uma pessoa para a operação do biodigestor e a equipe é aumentada de acordo com a aplicação energética adotada. A operação das plantas no Sul do Brasil é realizada de forma predominante por homens, os mesmos ocupam 89% das vagas. A atuação feminina é baixa e em muitos casos inexistentes, o estado do Paraná possui maior atuação, onde as operadoras ocupam 18% dos empregos oferecidos, já Rio Grande do Sul e Santa Catarina a participação feminina não atinge 10%.

Empregos diretos em plantas de biogás

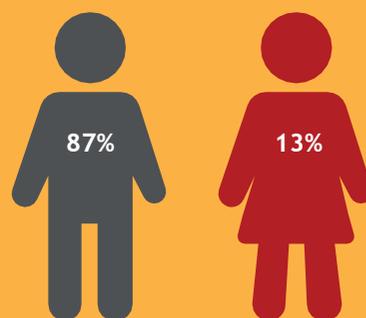
8.067

pessoas beneficiadas diretamente

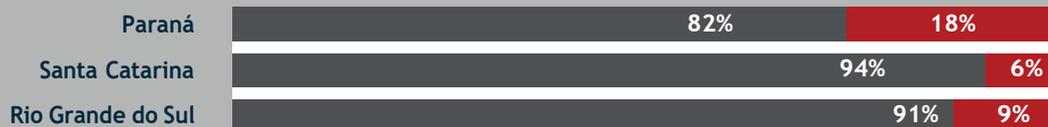


131

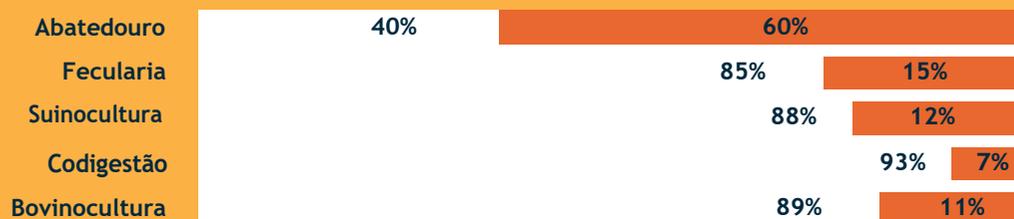
operadores de plantas de biogás



Divisão por estados



Divisão por substratos



3.2 Dificuldades e barreiras da cadeia do biogás

Avaliar os desafios e oportunidades relacionados a produção de biogás e seu aproveitamento energético, com base nas plantas consultadas na região Sul do Brasil contribui para uma avaliação quanto ao avanço deste combustível. Neste capítulo foram destacados os desafios e oportunidades de acordo com as três aplicações do biogás: energia elétrica, térmica e biometano.

3.2.1 Para energia elétrica

A geração de energia elétrica é aplicada em 41% das plantas de biogás consultadas e apresenta um cenário promissor, pois 92% das plantas demonstraram interesse e/ou necessidade de expandir a geração de energia elétrica para atender sua demanda.

Desafios

A burocracia em excesso estabelecida por algumas concessionárias, têm afetado produtores, dificultando a conexão de unidades produtivas com a rede. Este fator está diretamente relacionado à aprovação de projetos de geração de energia elétrica a partir do biogás, uma vez que não há padronização entre os requisitos exigidos pelas concessionárias.

A aplicação é 100% incentivada no mercado livre, porém, os preços praticados não são atrativos, sendo necessário incentivo de acordo com a fonte renovável e a consolidação no mercado, em relação às tecnologias.

No âmbito técnico os desafios surgem na disponibilidade comercial de equipamentos que atendam pequenas escalas de produção como, por exemplo, grupo motor gerador, até a assistência técnica especializada que apresentem custos inferiores aos praticados e prazos para atendimento que não comprometam a estabilidade de geração.

Oportunidades

A geração da própria energia elétrica atende a demanda, ou parte dela, o que garante segurança energética para o sistema produtivo. Essa geração pode ser aplicada de forma complementar a outras fontes intermitentes de energia, dando origem a gerações híbridas.

Dentre as vantagens apresentadas pelo biogás, destaca-se a possibilidade de armazenamento, permitindo uma geração firme, uma vez que o biogás pode ser despachado, suprindo energeticamente a demanda, de acordo com a necessidade e interesse da unidade.

A geração de energia elétrica abre espaço para a cogeração, que é uma tecnologia que permite aumento na eficiência energética e pode reduzir os custos de operação da unidade. O uso do calor gerado pode ser um fator decisivo para a eficiência das plantas de biogás.

Os modelos de negócios são variados, contribuindo com o setor elétrico, determinante e estratégico para o país.

3.2.2 Para energia térmica

A energia térmica do biogás é utilizada principalmente na substituição de lenha, gás liquefeito de petróleo (GLP) e energia elétrica. As principais aplicações identificadas para o biogás como fonte de energia térmica foram:

- *Biogás para uso em caldeiras e em secadores de grãos;*
- *Biogás para o aquecimento do ambiente para os animais;*
- *Biogás para uso doméstico (cocção).*

Desafios

Desenvolvimento de equipamentos destinados especificamente para aplicação segura do biogás como energia térmica. Este desafio está diretamente relacionado a carência de normas reguladoras.

Oportunidades

A aplicação do biogás como energia térmica possui custos de investimentos inferiores se comparado a energia elétrica e biometano. É possível realizar a substituição de biomassa em inúmeros processos de pequena e grande escala.

3.2.3 Para o biometano

A produção descentralizada de energia e combustível é uma tendência para o desenvolvimento, neste aspecto o biometano tem potencial expressivo e ainda pouco explorado na região Sul do Brasil.

Desafios

A rede de distribuição de gás está presente de forma majoritária na região litorânea do estados sul brasileiros, esse fator gera desafios quanto à inserção em escala de biometano nas redes de gás natural.

Assim como as demais aplicações, é fundamental o desenvolvimento de fornecedores para a comercialização de produtos com tecnologias nacionais e sobretudo com assistência técnica local.

A comercialização desse combustível é norteadada por determinações da agência reguladora que estabelece critérios de monitoramento da qualidade do biometano, impactando diretamente em custos elevados para aquisição de instrumentos para medição.

Oportunidades

O uso de biometano permite que unidades tenham autonomia no abastecimento de sua frota. Veículos leves e pesados de frotas cativas podem ser beneficiados. O biometano contribui ainda para a geração descentralizada, permitindo que municípios do interior viabilizem essa aplicação.

De acordo com a rota tecnológica adotada, para o processo de refino do biometano, pode-se considerar a recuperação de CO₂, gerando um novo ativo ao processo produtivo. Outra forma de ampliar o raio de viabilidade de transporte, se dá por meio do biometano liquefeito, visto que é possível transportar mais energia com o mesmo volume se comparado à gás comprimido.

4. Considerações finais

O conhecimento de toda a cadeia de produção do biogás é fundamental para propor e considerar medidas de produção e aproveitamento energético, agregando valor aos efluentes agroindustriais, gerando oportunidades de negócios e benefícios ambientais.

Considerando as vantagens econômicas, ambientais e sociais a partir do uso de biodigestores, o número de plantas de biogás ainda é pequeno frente a disponibilidade de biomassa residual de agroindústrias e da produção de proteína animal. Este cenário deve-se principalmente ao custo de implantação de biodigestores e equipamentos, por ser um investimento com retorno percebido a médio e longo prazo.

As tecnologias que envolvem a produção de biogás e o seu aproveitamento energético carecem de incentivo e facilitação para sua implantação, incluindo compensações econômicas pela adoção de sistemas de tratamento com menor impacto ambiental, e pelo uso do biogás como fonte energética renovável na substituição de energia não renovável.

Frente ao panorama apresentado ao longo deste documento, é possível afirmar que o biogás vêm crescendo e ganhando espaço no processo de transição da matriz energética brasileira. Esse movimento poderá ser acelerado ao passo que instituições e poder público promovam e implementem estratégias de incentivo e apoio.

Referências bibliográficas

ABILOGÁS. Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano (PNBB). São Paulo, 2015.

CASARIN, M. A. Microgeração distribuída de energia elétrica a partir do biogás de dejetos suínos: uma contribuição para a sustentabilidade da suinocultura. 259 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

CIBIOGÁS. Nota técnica: N°02/2019 - Panorama do biogás no Brasil em 2018. Foz do Iguaçu, março de 2019.

FACHVERBAN BIOGAS. Biogas - Safety first. Diretrizes para o uso seguro da tecnologia de biogás. German Biogas Association. 2016.

FAGERSTRÖM, A., AL SEADI, T., RASI, S., BRISEID, T, (2018). The role of Anaerobic Digestion and Biogas in the Circular Economy. Murphy, J.D. (Ed.) IEA Bioenergy Task 37, 2018: 8

KARIM, K.; HOFFMANN, R.; KLASSON, T.; AL-DAHMAN, M.H. Anaerobic digestion of animal waste: Waste strength versus impact of mixing. Bioresource Technology, Amsterdam. 2005.

KUNZ, A., STEINMETZ, R., AMARAL, A.C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Sbera: Embrapa. Concórdia/SC. 2019.

LIMA, A.C.G., PASSAMANI, F.C. Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES. 2012. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

NICOLOSO, R. da S.; BARROS, E. C.; WUANDEN, C. R. PIGOSSO, A. Uso do digestato como fertilizante. In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 94-128.

PROBIOGÁS. Comercialização de subprodutos de uma planta de biogás. Ministério das Cidades, Brasília, DF. 2010.





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