



# Sistemas de Biogás e Biometano: Percepções de mercado no Brasil e no exterior

Nota técnica



**CIBIOGAS**  
ENERGIAS RENOVÁVEIS



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES  
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



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



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS  
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



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](http://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. **Sistemas de biogás e biometano: percepções de mercado no Brasil e no exterior**. Brasília: MCTI, 2021. *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:

Biogás e Biometano: Percepções de mercado no Brasil e Exterior

### Componente Output e Outcome:

1.2 / 1.2.1

### Publicado pelas entidades:

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

### Entidades diretamente envolvidas:

Centro Internacional de Energias Renováveis  
Associação Brasileira de Biogás - ABiogás

### Autoria e coautoria:

Alessandra Freddo - CIBiogás  
Daiana Gotardo Martinez - CIBiogás /UNIDO  
Karina Navarro - CIBiogás  
Marcia Hino - CIBiogás  
Natali Nunes - CIBiogás

### Revisão técnica:

Marcela Rezende – Abiogás  
Nicolas Lazaretti – CIBiogás /UNIDO  
Tamar Roitman – Abiogás

### Coordenação:

Felipe Souza Marques

### Editoração:

Nicole Mattiello

### Data da publicação:

dezembro, 2020.

O68s Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Sistemas de biogás e biometano: percepções de mercado no Brasil e no exterior: nota técnica / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ; Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. 37 p.: il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-28-1

1. Biogás – Planta (obras) – Custo. 2. Biogás – Produção – Custo. 3. Biometano. I. Freddo, Alessandra. II. Martinez, Daiana Gotardo. III. Navarro, Karina. IV. Hino, Marcia. V. Nunes, Natali. VI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. VII. UNIDO. VIII. Centro Internacional de Energias Renováveis. IX. CIBiogás. X. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. XI. Título. XII. 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.



# Sistemas de Biogás e Biometano: Percepções de mercado no Brasil e Exterior.

**Nota técnica**

**Data da Publicação:**

**Dezembro/2020**

# Sumário

1. Introdução.....	8
2. Arranjos técnicos de plantas de biogás no Brasil .....	9
2.1 Biodigestores .....	10
2.2 Aplicação energética .....	12
2.2.1 Aspectos financeiros de geração de energia elétrica .....	15
2.2.2 Aspectos financeiros de geração de biometano .....	18
3. Panorama do biogás brasileiro frente ao cenário internacional.....	22
3.1 Crescimento do setor de biogás.....	22
3.2 Aspectos financeiros do setor de biogás.....	27
3.3 Aspectos regulatórios e sua influência no mercado do biogás.....	30
4. Considerações finais.....	34
AGRADECIMENTOS .....	35
REFERÊNCIAS.....	36

### Resumo/Abstract

#### PORTUGUÊS

Em uma unidade de produção de biogás e biometano as etapas de digestão anaeróbia (biodigestores) e aplicação energética do biogás correspondem aos principais valores de investimento e custos de operação de uma planta. No Brasil sistemas de biodigestão modelo lagoa coberta são os mais usuais e apresentam valores de investimento reduzidos frente a tecnologias com maior controle e robustez, como o modelo CSTR. No que tange a aplicação energética no país, mais de 80% das unidades destinam o biogás para geração de energia elétrica, porém, é fundamental destacar que para a seleção da rota tecnológica de conversão do biogás, deve-se observar valores mínimo viáveis para modo a buscar a viabilização técnica e financeira do projeto. O amadurecimento da cadeia de fornecimento, caminha em paralelo ao crescimento da demanda (novas plantas sendo implantadas), ao comparar o panorama de plantas do Brasil com outros países fica evidente a expansão, assim como o alto potencial de impacto na matriz energética brasileira.

**Palavras-chave:** Custo de investimento, custo de operação, produção de biogás, energia elétrica, biometano.

#### ENGLISH

In a biogas and biomethane production unit the anaerobic digestion steps (biodigestors) and energy application of biogas correspond to the main investment values and operating costs of a plant. In Brazil covered lagoon model biodigestion systems are the most common and present reduced investment values compared to technologies with greater control and robustness, such as the CSTR model. Regarding the energy application in the country, more than 80% of the units use biogas to generate electricity, however, it is essential to emphasize that for the selection of the technological route for biogas conversion, minimum viable values must be observed in order to seek the technical and financial viability of the project. The maturation of the supply chain goes hand in hand with the growth of demand (new plants being implemented), when comparing the panorama of plants in Brazil with other countries it becomes evident the expansion, as well as the high potential impact on the Brazilian energy matrix.

**Keywords:** Investment cost, operating cost, biogas production, electric power, biomethane.

### Impactos

Considerando a falta de informações relacionadas a custos de investimento e de operação de plantas de biogás, espera-se com esta publicação, subsidiar o setor com dados atualizados correspondentes aos custos de biodigestores e equipamentos utilizados para conversão de energia elétrica e purificação do biogás para obtenção de biometano do mercado brasileiro. Uma comparação com plantas em operação no exterior foi realizada, de modo a avaliar o nível de desenvolvimento do biogás no Brasil, buscando identificar a evolução ao longo dos anos, o que permitirá subsidiar uma estimativa de crescimento para os próximos anos.

Espera-se ainda com esta publicação subsidiar os tomadores de decisão em relação a escolha da aplicação energética, considerando os valores mínimos viáveis e seus respectivos valores de investimento. Outro ponto destacado aqui é a demonstração dos custos nivelados comparados com outras fontes de energia, como eólica, solar e hídrica, de modo, a complementar no subsídio de informações para apoiar ainda nas etapas iniciais de projetos.

### 1. Introdução

O mercado brasileiro do biogás do biometano, tem crescido e despertado interesse, tanto de investidores quanto de consumidores dos mais variados segmentos e portes, em função da versatilidade que esta fonte de energia apresenta. Dentre seus principais atributos, o biogás permite a geração de energia firme, despachável e não intermitente, sendo ainda passível de armazenamento a custos reduzidos, fator este que oportuniza aplicação e geração de energia conforme a demanda.

Os arranjos técnicos empregados na produção de biogás podem possuir distintas configurações, desde pequenas e médias plantas, que se beneficiam da energia e/ou biocombustível gerado para o próprio consumo, até grandes empreendimentos, onde a produção em larga escala de energia sustentável é comercializada, gerando receitas ao investidor e economia ao consumidor.

Nos últimos anos, com o crescimento da demanda por tecnologias para produção e aproveitamento de biogás, a cadeia de suprimentos passou a ser ampliada e se mantém em franca expansão, contribuindo com a disponibilidade de tecnologia nacional e assistência técnica local, fator essencial para a consolidação dos projetos. Além de atenuar a dependência tecnológica internacional.

Desta forma, esta publicação foi estruturada a fim de destacar, de forma geral, os arranjos técnicos para produção de biogás no Brasil, aproveitamento energético e seus respectivos valores de investimento e custos operacionais. Adicionalmente este documento apresenta uma breve comparação do setor de biogás do Brasil com o exterior, a fim de identificar o nível de desenvolvimento do mercado de biogás nacional se frente a outros países.

## 2. Arranjos técnicos de plantas de biogás no Brasil

Em linhas gerais, grande parte dos arranjos técnicos das plantas de biogás brasileiras compreendem as seguintes etapas:

- recepção e pré-tratamento do substrato,
- digestão anaeróbia (biodigestores),
- tratamento e/ou purificação do biogás,
- tratamento e processamento do digestato e
- aplicação do biogás/biometano e digestato



Figura 1: Arranjo técnico de plantas de biogás no Brasil  
Fonte: acervo CIBiogás.

Na etapa de recepção, o substrato é preparado para entrar no biodigestor. Este preparo pode envolver a diluição do substrato em água,

digestato ou efluente industrial, a mistura de substratos para codigestão ou, no caso da biomassa lignocelulósica, pré-tratamento físico, químico, biológico ou combinado. O pré-tratamento da biomassa visa diminuir o diâmetro das partículas e torná-las mais acessíveis aos microrganismos, aumentando assim a taxa de degradação da matéria orgânica e o volume de metano produzido.

A digestão anaeróbia é uma sequência de processos bioquímicos complexos, envolvendo diferentes grupos de microrganismos, que ocorrem no interior dos biodigestores e resultam na produção de biogás e digestato. Antes de ser empregado para geração de energia elétrica, térmica e/ou biometano é interessante que o biogás seja submetido a um tratamento e/ou purificação afim de garantir a remoção de compostos indesejados. O mesmo ocorre para o digestato, que dependendo da aplicação, deve-se atingir padrões de qualidade estabelecidos nas normas ambientais.

As etapas de **digestão anaeróbia e aplicação energética do biogás** correspondem aos principais valores de investimento e custos de operação de uma planta. Partindo desta premissa, serão elencados nos subtópicos seguintes os custos de investimento e operação de diferentes biodigestores e de equipamentos para geração de energia elétrica e produção de biometano convencionais.

### 2.1 Biodigestores

Em uma unidade de produção de biogás o biodigestor é considerado ponto central da usina. Deste modo, sua definição é fundamental para garantir um arranjo adequado com a realidade do projeto. Existem diversos modelos de biodigestores com características específicas que vão desde o material utilizado para sua construção, limitações operacionais, que variam de acordo com o substrato a ser digerido, consumo de energia de todos os equipamentos utilizados, até o custo de investimento, operação e manutenção.

Os modelos de biodigestores mais encontrados no Brasil são três: **lagoa coberta** e suas variações (lagoa coberta tradicional e lagoa coberta com mistura completa - versão otimizada), ***Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB*** e ***Continuous Stirred Tank Reactor - CSTR***.

A escolha do biodigestor que melhor atenderá às necessidades do produtor está diretamente relacionada às características do substrato, à disponibilidade de área e a viabilidade técnico-financeira do projeto.



Dos três, o **biodigestor modelo lagoa coberta** é o que apresenta tecnologia mais simples, com menor controle de processos e, por consequência, demanda menor investimento. Já sua versão otimizada, o **biodigestor modelo lagoa coberta com mistura completa**, e os modelos **UASB** e **CSTR** são mais complexos devido a maior automação e controle de processos e, por este motivo, tendem a ser mais caros. Para apresentar um comparativo de valores de investimento, operação e manutenção (O&M), e de consumo de energia entre os diferentes modelos de biodigestores foi estruturada a Tabela 1.

**Tabela 1** - Comparação de investimento entre os principais modelos de biodigestores.

Modelo de biodigestor	Investimento (R\$ / m <sup>3</sup> de biodigestor)	Custos de O&M (% CAPEX)	Consumo de energia elétrica <sup>4,5</sup>	Vida útil do reator
Lagoa coberta	99	5,8%	1 a 2% da energia gerada	20 anos
Lagoa coberta com mistura completa	890 - 950	Manutenção: 1 a 3% <sup>1</sup>	4 a 9% da energia gerada	20 a 25 anos
UASB	Extremamente específico	1 a 5% <sup>1</sup>	Variável	Variável
CSTR	1.000	Manutenção: 1 a 3% <sup>1</sup> 2 a 4% <sup>2</sup> 9% -17% <sup>3</sup>	4 a 9% da energia gerada	20 a 25 anos

Fonte: DUFFY, 2017; FRANCA & FERREIRA, 2020; BRASIL, 2015; USDA, 2007

CAPEX: *Capital Expenditure*

<sup>1</sup> Resíduo Agropecuário e/ou Agroindustrial; <sup>2</sup> Lodo de ETE; <sup>3</sup> RSU e FORSU; <sup>4</sup> Considerando a aplicação para geração de energia elétrica, a planta demandaria o percentual referido para os sistemas de biodigestão elencados no quadro. Caso o biogás seja destinado a outra aplicação, é necessário vincular o consumo elétrico dos equipamentos ao custo de operação da unidade. <sup>5</sup> Consumo total planta, em conjunto com o sistema de automação e o laboratório de físico-química. O consumo de energia elétrica, se deve ao funcionamento de equipamentos ligados a operação do biodigestor, como: agitadores, compressores e instrumentos de monitoramento e segurança. Equipamento de pré e pós-tratamento não foram considerados.

O investimento necessário pode variar de acordo com o volume de substrato que o biodigestor comporta. O CAPEX de um biodigestor, em R\$/m<sup>3</sup>, tende a diminuir à medida que o volume do reator aumenta, ou seja, quanto maior o reator, menor será a relação R\$/m<sup>3</sup>.

Via de regra, quanto maior o nível de eficiência dos biodigestores, maior será o valor de investimento necessário. Essa afirmação deve ser considerada no sentido de que uma vez que o modelo utilizado tenha maior controle de processos e tecnologia embutida, maiores serão os rendimentos na produção de biogás e, por sua vez, o investimento será superior.

### 2.2 Aplicação energética

Se por um lado deve-se ter atenção na definição de um modelo adequado de biodigestão, um segundo ponto tão importante quanto o primeiro está relacionado a aplicação energética do biogás produzido, visando seu aproveitamento. Para determinar a aplicação adequada, aspectos relacionados à disponibilidade de biogás, demanda energética da planta, tecnologias de conversão e recurso financeiro disponível para implantação do sistema devem ser considerados e avaliados.

**Conhecer o volume de biogás disponível é fundamental para apoiar na tomada de decisão** com relação a rota energética a ser adotada. Desta forma, estruturou-se a Figura 2, que indica os volumes mínimos de biogás necessários para viabilizar cada tipo de aplicação energética – energia térmica, elétrica e biometano – considerando apenas aspectos técnicos, e não financeiros.

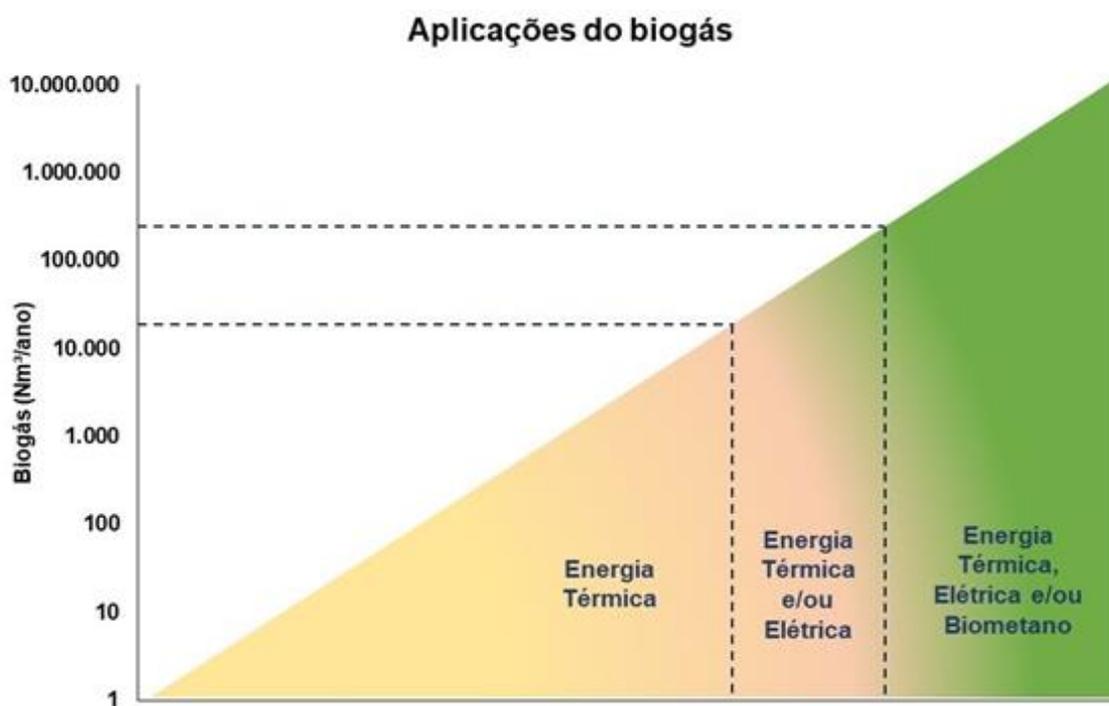


Figura 2: Volume mínimo de biogás necessário para cada aplicação energética.

Entre as principais aplicações energéticas do biogás, a **geração de energia térmica** se destaca como a de **menor complexidade tecnológica**, operacional e em sua grande maioria com o menor custo de investimento, uma vez que sua aplicação está diretamente relacionada a substituição de GLP, lenha e/ou gás natural. No Brasil, a energia térmica gerada a partir do biogás é utilizada em plantas dos mais diversos portes, variando desde unidades em escala doméstica, até plantas de médio e grande porte fazendo o uso do biogás em fornalhas e cogeração.

Em contrapartida, ao analisar uma aplicação mais nobre do biogás por meio do **biometano**, tem-se cerca de 221 mil Nm<sup>3</sup>/ano de biogás como **volume mínimo necessário para viabilizar sua produção** (considerando a produção mínima viável para comercialização de CBIOS). Isso ocorre devido à complexidade do arranjo para obtenção de biometano que, em geral, apresenta custos elevados uma vez que os equipamentos necessários para o processo de purificação independem do porte da planta, podendo variar apenas no tamanho das válvulas, tubulações, entre outros. Este seria um dos motivos pelo qual projetos de pequeno porte, com baixa produção de biometano, dificilmente

apresentam viabilidade financeira. Apesar destas barreiras, deve-se destacar, que o biometano possui maior valor agregado e sua aplicação permeia todas as possibilidades de aproveitamento energético.

Quanto ao aproveitamento energético do biogás no contexto nacional, dados do Biogasmap apontam que **a geração de energia elétrica é a forma de aplicação do biogás mais representativa**, com 84% das plantas em operação no final de 2019 e consumindo 86% do volume de biogás produzido (CIBIOGÁS, 2020). Porém, nem todas as plantas que dispõem de grandes volumes de biogás apresentam demanda por biometano ou energia elétrica, como é o caso das indústrias de processamento de mandioca, cuja demanda por energia térmica justifica o uso do biogás em substituição à madeira e ao GLP. Neste contexto, é fundamental avaliar as particularidades de cada planta, de modo a entender como e onde o uso deste energético poderá gerar maiores benefícios.

A seguir, serão abordados os aspectos financeiros relacionados à geração de energia elétrica e à purificação do biogás para obtenção de biometano, considerando que estas duas aplicações demandam investimentos expressivos em equipamentos e tecnologias de conversão do biogás (moto geradores e tecnologias de purificação).

A geração de energia térmica ocorre, em linhas gerais, a partir da adaptação de equipamentos desenvolvidos para GLP e/ou lenha para o consumo de biogás, não sendo necessária novas aquisições e, diante disso, não serão abordadas as variações de investimentos e custos de operação e manutenção (O&M) desta aplicação.

### 2.2.1 Aspectos financeiros de geração de energia elétrica

Os investimentos e custos de operação de centrais geradoras de energia elétrica, a partir do biogás, variam em função do arranjo técnico utilizado, dos equipamentos empregados na conversão em energia elétrica (se nacionais ou importados), do nível de automatização da planta, da eficiência de conversão, bem como da potência elétrica instalada.

A fim de nortear em relação aos aspectos financeiros de equipamentos nacionais, a Figura 3 indica a variação de CAPEX para diferentes potências, considerando o uso de grupo motogerador do tipo ciclo Otto e periféricos tais como, equipamentos de proteção e controle do sistema de geração, sistema de tratamento do biogás (remoção de umidade e dessulfurização biológica), valores de comissionamento do motogerador e sistema supervisor do sistema de geração.

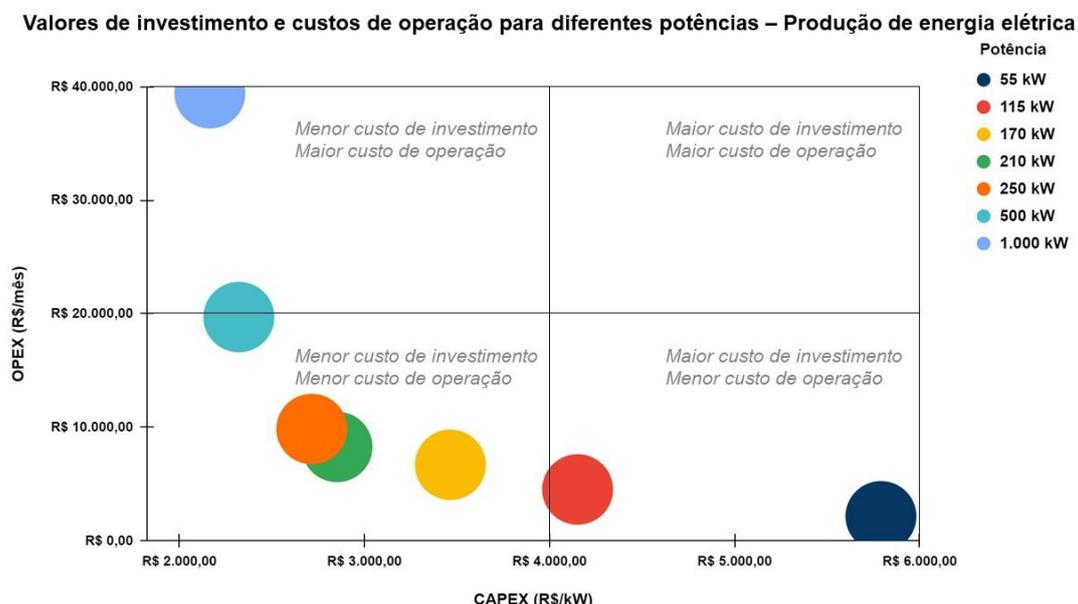


Figura 3 - Valores de investimento e custos de operação para geração de energia elétrica em diferentes potências<sup>1</sup>.

\* O valor de CAPEX não inclui sistema de cogeração.

Dados obtidos a partir de pesquisa realizada com fornecedores nacionais no ano de 2020.

Cotação do dólar no período: R\$ 5,40.

<sup>1</sup> O CAPEX e OPEX para diferentes potências foi determinado a partir de consulta a fornecedores, sendo considerado o investimento inicial no motogerador, equipamentos de proteção e controle do sistema de geração, sistema de tratamento do biogás (remoção de umidade e dessulfurização biológica), valores de comissionamento do motogerador e sistema supervisor do sistema de geração. O valor de OPEX foi calculado considerando um regime de operação de 7.884 horas/ano (24 horas de operação, 365 dias/ano, com paradas para manutenção em 10% do período referido).

Além dos dados de CAPEX, pode-se observar os valores relativos ao OPEX, sendo que este está atrelado às horas de operação do equipamento e à potência instalada em uso.

Em sistemas de geração de energia elétrica brasileiros há uma redução no CAPEX (*Capital Expenditure*) a partir do aumento na potência do sistema, o que reflete em uma variação de até 37% no investimento para cada kW instalado. Já o OPEX (*Operational Expenditure*) tem um crescimento proporcional à potência do sistema, o que está relacionado à energia produzida, ou seja, os custos de manutenção podem variar entre R\$0,05 a R\$0,07 por kWh gerado.

A Figura 4 destaca a variação do rendimento elétrico, ou seja, a eficiência de conversão do biogás em energia, em função de diferentes potências para motogeradores nacionais.

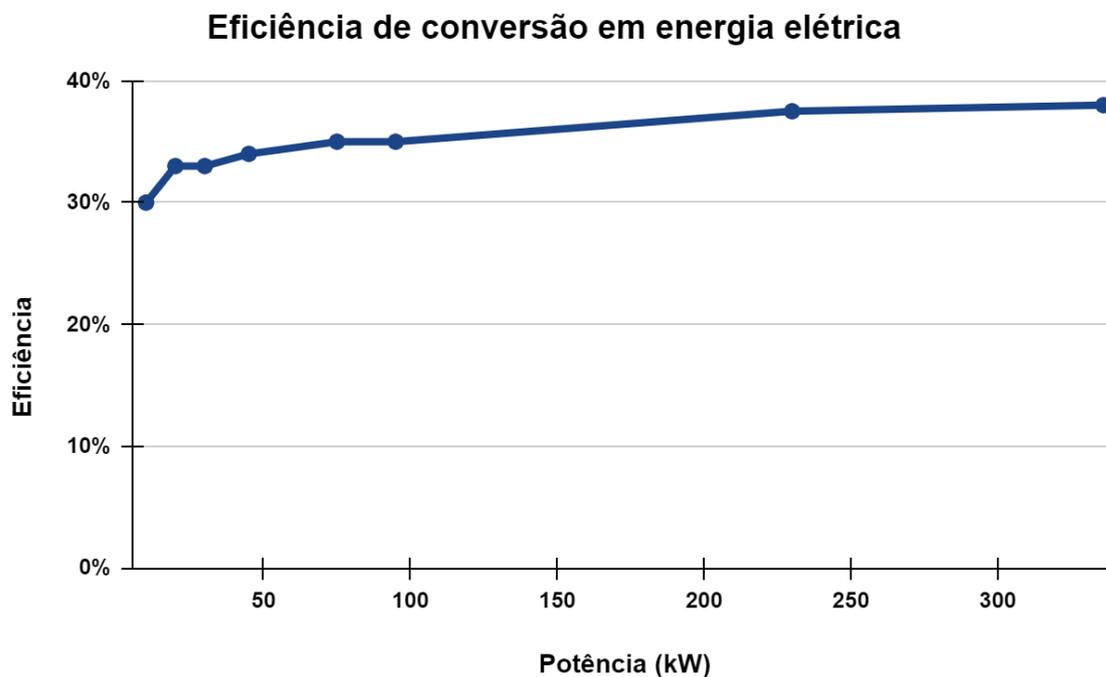


Figura 4 - Eficiência de conversão em energia elétrica para diferentes potências.

O potencial energético (kWh gerados por Nm<sup>3</sup> de biogás) está relacionado à eficiência de conversão do sistema gerador, influenciando o aproveitamento do biogás. Como observado na Figura 4, maiores potências tendem a uma maior eficiência de conversão em energia elétrica, resultando em melhor aproveitamento energético do biogás. Neste sentido, uma variação de apenas

8% da eficiência elétrica do grupo motogerador pode impactar em até 21% na produção de energia elétrica para uma mesma vazão de biogás.

A energia que não é convertida em eletricidade é dissipada na forma de calor, o que torna atrativa a possibilidade de utilização de sistemas de cogeração. Ressalta-se que estes equipamentos são opcionais, devendo ser requisitados, caso necessário, no momento da aquisição do sistema de geração de energia elétrica para biogás.

A geração combinada de energia e calor (*Combined Heat and Power - CHP*) ou cogeração garantem maior eficiência energética e é comumente empregada em plantas de biogás no exterior. Tecnologias atuais, desenvolvidas no exterior, garantem um rendimento energético de até 84% em sistemas CHP operando com biogás.

A Figura 5 apresenta a relação de rendimento térmico e elétrico entre diferentes potências elétricas de um sistema de cogeração importado.

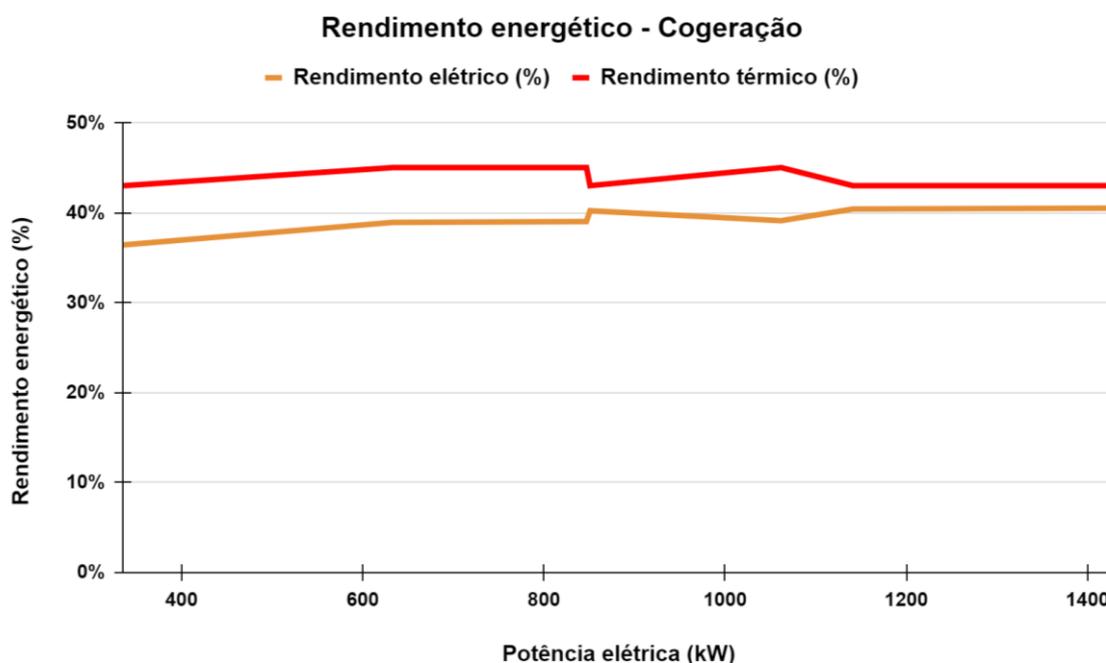


Figura 5 - Rendimento energético de cogeração para diferentes potências elétricas.

A Figura 5 demonstra que picos de rendimento elétrico ocorrem em potências em torno de 800 a 1.400 kW. Já os maiores rendimentos térmicos (cerca de 45%) são observados a partir do menor rendimento elétrico em potências em torno de 600 a 1.060 kW. Isto ocorre porque máquinas maiores

possuem geradores mais eficientes e dispõem de um controle mais efetivo o que garante maior eficiência elétrica. Além disso, a temperatura de saída do gás de escape de máquinas de maior porte é menor quando comparadas à máquinas de menores potências (o que assegura maior rendimento térmico às máquinas de menores potências).

No Brasil, a cogeração também vem sendo adotada em arranjos que necessitam desta dupla demanda (térmica e elétrica) na planta. O rendimento térmico de equipamentos nacionais (para uma potência de 1 MVA ou de cerca de 780 kW instalados) encontra-se em torno de 25 a 40%.

**Desta forma, o conhecimento das particularidades dos equipamentos de geração de energia provisiona melhor embasamento na elaboração de arranjos mais eficientes na produção de energia elétrica.**

Vale ressaltar que o planejamento e execução de um arranjo técnico de geração de energia elétrica a partir de biogás deve considerar, além dos valores de investimento e custos de operação e eficiência do sistema, a sazonalidade de substratos, fator que pode impactar na disponibilidade de biogás e conseqüentemente na geração contínua de energia elétrica e térmica.

### 2.2.2 Aspectos financeiros de geração de biometano

O biometano é obtido quando o biogás é purificado, elevando sua qualidade e composição a níveis de concentração maiores que 90% de metano, como estabelecido pela Resolução ANP nº 685/2017, podendo ser comercializado como combustível veicular ou até mesmo injetado em redes de gás natural.

As principais tecnologias disponíveis comercialmente e em operação no Brasil e no exterior para refino de biogás são: lavagem com água (*water scrubbing*), lavagem química com aminas, lavagem física com solventes orgânicos, adsorção por oscilação de pressão (*Pressure Swing Adsorption – PSA*) e separação por membranas. Há também a tecnologia de separação criogênica que vem sendo cada vez mais aprimorada, mas que se encontra em fase de consolidação.

A Figura 6 apresenta o valor de investimento e custo de operação para três diferentes tecnologias de refino de biogás (*Water scrubbing*, PSA e separação por membranas), comercializados no Brasil.

### Valores de investimento e custos de operação - Produção de biometano

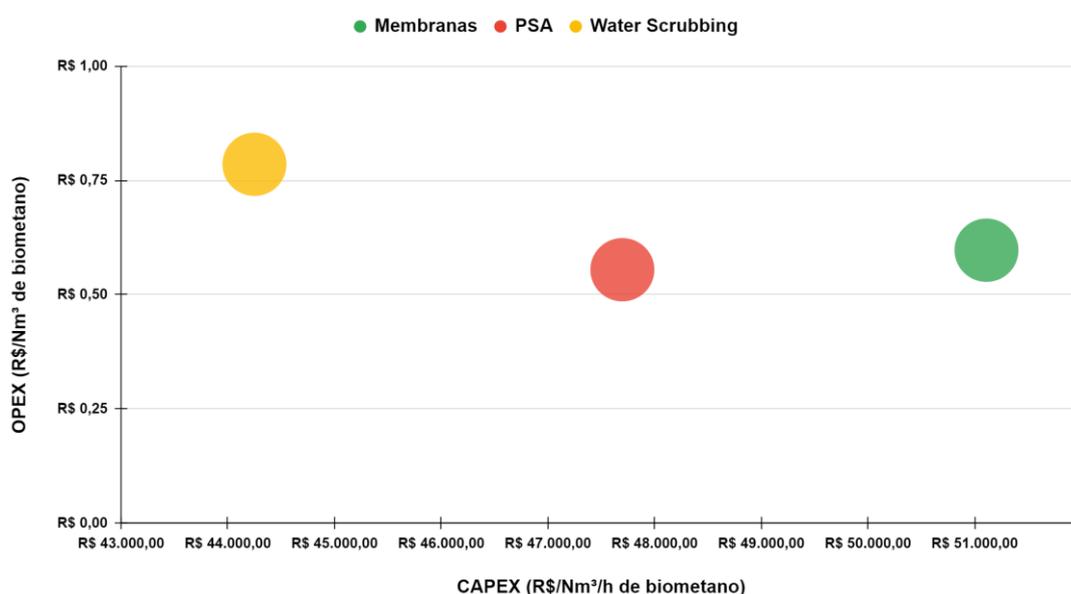


Figura 6 - Custos de investimento e operação de diferentes sistemas de refino de biogás.

\*Considerando um regime de operação de 10 horas por dia e 365 dias por ano e sistemas de até 100 Nm³/h de biometano.

\*Fonte dos dados: Cotação com fornecedores (2020); PAVEDA (2019);  
Cotação do dólar no período: R\$ 5,40.

A tecnologia de purificação do biogás utilizando lavagem com água (*water scrubbing*) permite a separação de compostos devido à diferença de solubilidade dos gases em água (maior para sulfeto de hidrogênio e dióxido de carbono em relação ao metano), operando em pressão e temperatura controlados. Como observado na Figura 6, o valor de investimento desta tecnologia no país pode ser até 13% menor do que os custos em sistemas de separação por membranas, porém seu custo operacional é superior às demais tecnologias (cerca de 29% superior a sistemas PSA).

O PSA (*Pressure Swing Adsorption*) baseia-se na adsorção física do dióxido de carbono em um adsorvente (carvão ativado, peneiras moleculares dentre outros). Este sistema opera de forma pressurizada, sendo a regeneração do adsorvente feita a partir da variação de pressão (modulação). O valor de

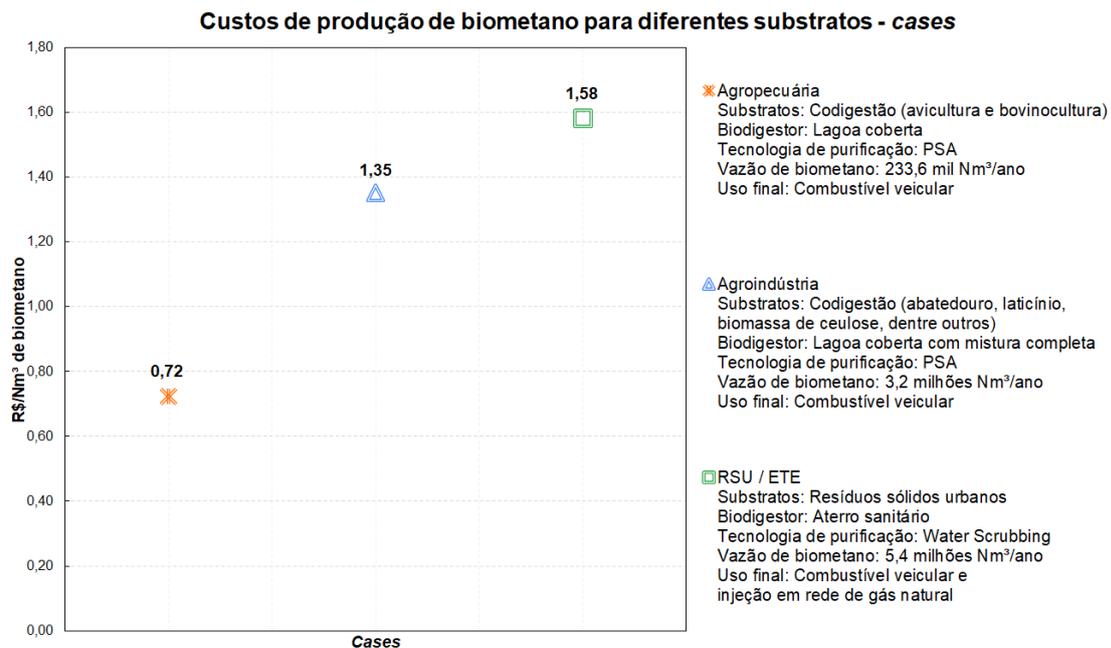
investimento desta tecnologia é ligeiramente superior ao do sistema de lavagem com água (cerca de 7%), porém possui o menor custo operacional quanto às demais tecnologias analisadas.

Já a separação por membranas compreende a passagem do biogás por membranas que são responsáveis por garantir a permeabilidade e seletividade do CO<sub>2</sub> para o aumento da concentração de metano no gás final. Nesta tecnologia é importante o controle da pressão e temperatura para condições ideais de operação. O custo de investimento de sistemas de separação por membranas mostrou-se superior às demais tecnologias analisadas (dentro os fatores deve-se mencionar que as membranas, de forma geral, são importadas, podendo elevar o CAPEX), porém seu custo operacional é competitivo e se aproxima do custo operacional do sistema PSA.

Os custos de CAPEX e OPEX dos sistemas de produção de biometano podem variar em função do tipo de arranjo utilizado (como tratamentos complementares para remoção de sulfeto de hidrogênio e umidade, odorização do gás e sistemas de compressão por exemplo), origem do equipamento (nacional ou internacional) e suas características operacionais (tipo de adsorvente utilizado, materiais que compõem as estruturas, consumíveis, dentre outros).

Além de valores de investimento e custos de operação de sistemas de purificação, outros fatores podem ocasionar grande variação dos custos de produção de biometano, que estão relacionados com aspectos técnicos e de operação das usinas.

A Figura 7 destaca o custo de produção de biometano para diferentes casos brasileiros (substratos de agropecuária, agroindústria e RSU).



\* Valores aproximados.

Figura 7 - Custos de produção de biometano (R\$/Nm³) para diferentes cases brasileiros.

**Um fator importante para a viabilidade da produção de biometano é o tempo de operação e a capacidade de produção de biometano da planta.** Ou seja, usinas com custos de operação mais baixos e produção maior de biometano, tendem a ter um retorno de investimento e viabilidade financeira maior.

Ao avaliar a difusão das tecnologias de purificação no Brasil, observa-se que o *Water Scrubbing* e *PSA* são comumente identificadas em unidades de produção de biometano. A cadeia de fornecimento de membranas vem crescendo (timidamente) nos últimos anos. Com isso, espera-se encontrar, no mercado brasileiro, novas plantas operando com esta tecnologia já nos próximos anos. Iniciativas de tropicalização tecnológica, por meio da aproximação de agentes nacionais e internacionais, pode ser considerado um mecanismo eficaz para acelerar este uso.

### 3. Panorama do biogás brasileiro frente ao cenário internacional

O mercado de biogás brasileiro vem apresentando bons indicativos de crescimento para os próximos anos. Este cenário gera boas expectativas para o progresso da cadeia do biogás nacional.

Para avaliar e comparar o desenvolvimento do biogás no Brasil frente ao cenário internacional, estruturou-se a presente sessão, na qual serão abordados os temas relacionados ao crescimento do número de plantas de biogás, da capacidade elétrica instalada e da produção de biometano, aspectos financeiros e a influência de regulações no mercado de biogás no Brasil e no exterior.

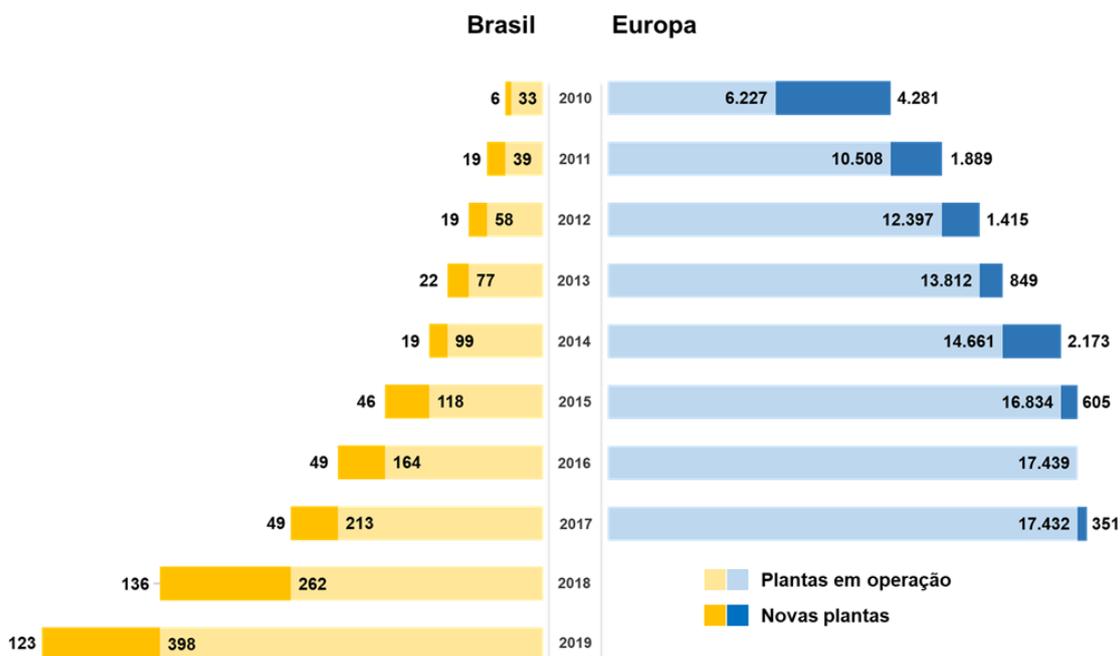
#### 3.1 Crescimento do setor de biogás

A instalação de novas plantas de biogás no Brasil tem aumentado de forma promissora nos últimos anos. Entre os anos de 2010 e 2017, a média de crescimento das plantas de biogás no Brasil era de 30%, decorrente da ampliação do conhecimento do setor e da entrada de tecnologias no país. Este progresso continuou a ser observado entre os anos de 2018 e 2019, com crescimento de 31%.

Atualmente a maior parte das plantas em operação no Brasil encontram-se no setor **agropecuário**, dada sua representatividade quanto ao volume de substrato gerado e à baixa complexidade de tratamento em sistemas de biodigestão. A agropecuária corresponde a 80% das plantas em operação no país e 12% do volume total de biogás produzido, sendo a principal origem de substrato para produção de biogás.

Para avaliar a representatividade do crescimento de plantas brasileiras, estruturou-se a Figura 8 que compara o crescimento das unidades produtoras de biogás do Brasil e da Europa a partir do ano de 2010.

### Evolução do número de plantas de biogás - 2010 e 2019



\* Os dados de crescimento de plantas para os anos de 2018 e 2019 na Europa não foram contabilizados.

Figura 8 - Crescimento do número de plantas de biogás no Brasil e na Europa.  
Fonte: BIOGASMAP (2020); EBA (2018).

A produção de biogás por meio de sistemas de biodigestão na Europa começou a ser explorada entre as décadas de 70 e 80 pela necessidade de tratar resíduos orgânicos, tais como esgoto doméstico, efluentes industriais e RSU. Mas, foi a partir dos anos 90, quando o potencial de geração de biogás por meio dos resíduos do setor agropecuário foi reconhecido, que a produção em larga escala foi impulsionada. Desde então, novas plantas de biogás surgiram de forma exponencial, incentivadas por políticas de desenvolvimento econômico sustentável no campo.

Em 2009, a União Europeia adotou a Diretiva de Energias Renováveis (EU-RED I), que é uma das suas mais importantes regulamentações para a sustentabilidade em relação aos biocombustíveis. Em 2010, já existiam mais de 10.000 plantas de biogás na Europa, e entre 2010 e 2017 o crescimento médio anual foi de 15,6%. A partir de 2016 houve uma desaceleração no crescimento, em decorrência da remoção de incentivos para produção de cultivos energéticos, baixando o crescimento de novas plantas a 2% em 2017.

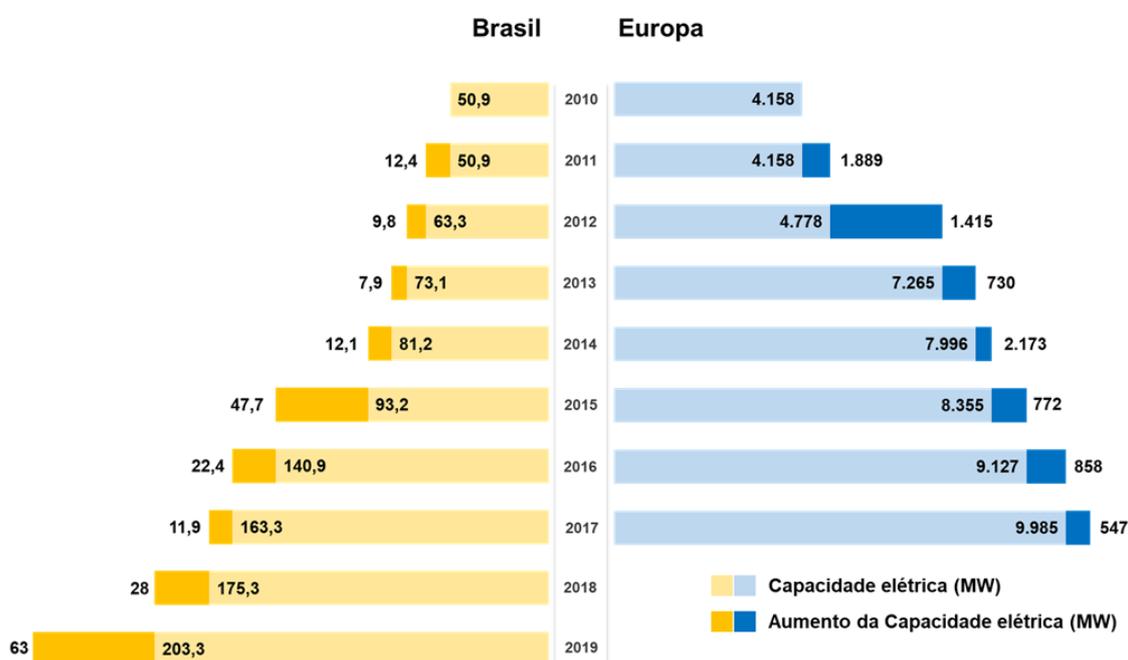
## Sistema de Biogás e Biometano: Percepções de mercado no Brasil e Exterior

Ou seja, enquanto o cenário europeu apresenta atualmente uma tendência de estabilização no crescimento do número de novas plantas, o Brasil encontra-se em fase de crescimento, já vivida pelo mercado europeu.

Além disso, ao avaliar a capacidade elétrica instalada de plantas de biogás na Europa de 2011 a 2017, observa-se um crescimento médio de 14,8% (Figura 10). Em 2017 o crescimento, na comunidade europeia, foi de apenas 5%, totalizando 10.532 MW (EBA, 2018).

No Brasil, a capacidade elétrica instalada vem crescendo de forma gradual ao longo dos anos assim como as plantas de biogás, apresentando um crescimento de 24% entre 2018 e 2019, totalizando 266,1 MW de potência instalada.

**Crescimento da capacidade elétrica de plantas de biogás - 2010 e 2019**



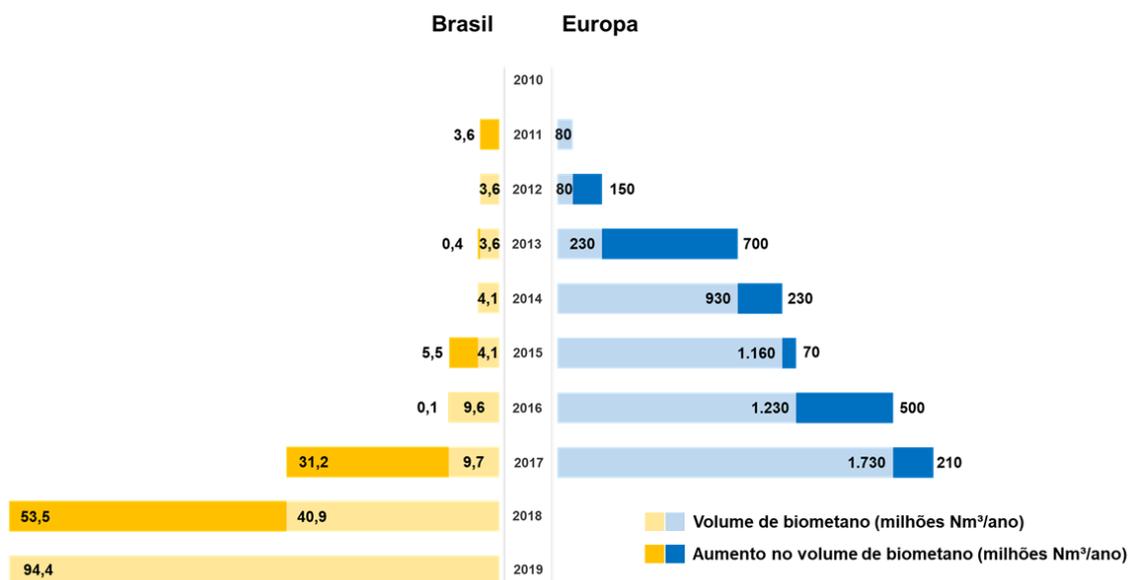
\* Os dados de crescimento de plantas para os anos de 2018 e 2019 na Europa não foram contabilizados.

Figura 9 - Capacidade instalada, em Megawatt, de geração de energia elétrica usando biogás por região entre 2010 e 2019.

Fonte: BIOGASMAP (2020); EBA (2018).

O mesmo cenário pode ser observado em relação ao crescimento de plantas que produzem biometano. De 2011 a 2017 houve um crescimento de 16,7% no volume de biometano produzido na Europa, com destaque para os anos de 2013 e 2016 (EBA, 2018).

Crescimento no volume de biometano produzido - 2010 e 2019



\* Os dados de crescimento de plantas para os anos de 2018 e 2019 na Europa não foram contabilizados.

Figura 10 - Volume de biometano produzido no Brasil e na Europa entre 2010 a 2019.  
Fonte: BIOGASMAP (2020); EBA (2018).

No Brasil, a partir de 2017, o biometano passou a ser mais explorado, porém em escala reduzida frente ao seu enorme potencial. Até 2019 apenas 6 plantas registravam aproveitamento energético do biometano, produzindo 94,4 milhões Nm³/ano (Figura 10).

A expectativa para os próximos anos é de que esses números cresçam à medida que novas políticas públicas de estímulo sejam estabelecidas, como no caso do RenovaBio.

A Tabela 2 apresenta um ranking com diversos países produtores de biogás na Europa e América Latina, em comparação com o Brasil.

**Tabela 2** - Ranking entre diversos países produtores de biogás.

País	Número de unidades produtoras de biogás	Tamanho médio de plantas que produzem energia elétrica (MW/planta)	Número de plantas que produzem Biometano
Alemanha	9.706	0,5	212
Itália	1.655	0,7	5
França	742	0,6	44
Reino Unido	672	2,7	108
Suíça	632	0,2	31
República Tcheca	574	0,6	-
<b>Brasil</b>	<b>521</b>	<b>0,6</b>	<b>6</b>
Áustria	423	0,2	15
Polônia	308	0,8	-
Holanda	268	0,4	34
Espanha	204	1,4	1
Suécia	198	-	70
Dinamarca	144	0,5	25
Argentina	105	0,7	0
Portugal	64	1,4	-
Chile	62	0,8	0

Fonte: IRENA (2018); WBA (2020); EBA (2018); FAO (2019); CIBIOGÁS (2020); CHILE (2017)

A Alemanha lidera o ranking mundial de plantas produtoras de biogás e biometano com mais de 9.000 empreendimentos, seguida pela Itália, França e Reino Unido, que, por sua vez, se destaca pelo tamanho médio das plantas que produzem energia elétrica e calor em motores CHP, com 2,7 MW/planta.

Na Suécia observa-se grande incentivo à produção de biometano. Mais de 35% das plantas existentes no país em 2018 tinham essa finalidade. Já no Brasil, dentre as 521 plantas produtoras de biogás, apenas 1% explora o biometano. Este fator está diretamente relacionado aos distintos estágios de maturidade do biogás em cada país.

Ao analisar o cenário em que se encontra a produção de biogás na América Latina, é possível observar que o Brasil se apresenta em uma posição de destaque principalmente com relação ao número de plantas de biogás em operação que utilizam este ativo como fonte energética, evidenciado na Tabela 2. É sabido que países como Argentina e Chile também possuem regulações que incentivam a transição para uma matriz energética mais renovável, e isso impulsiona o mercado do biogás.

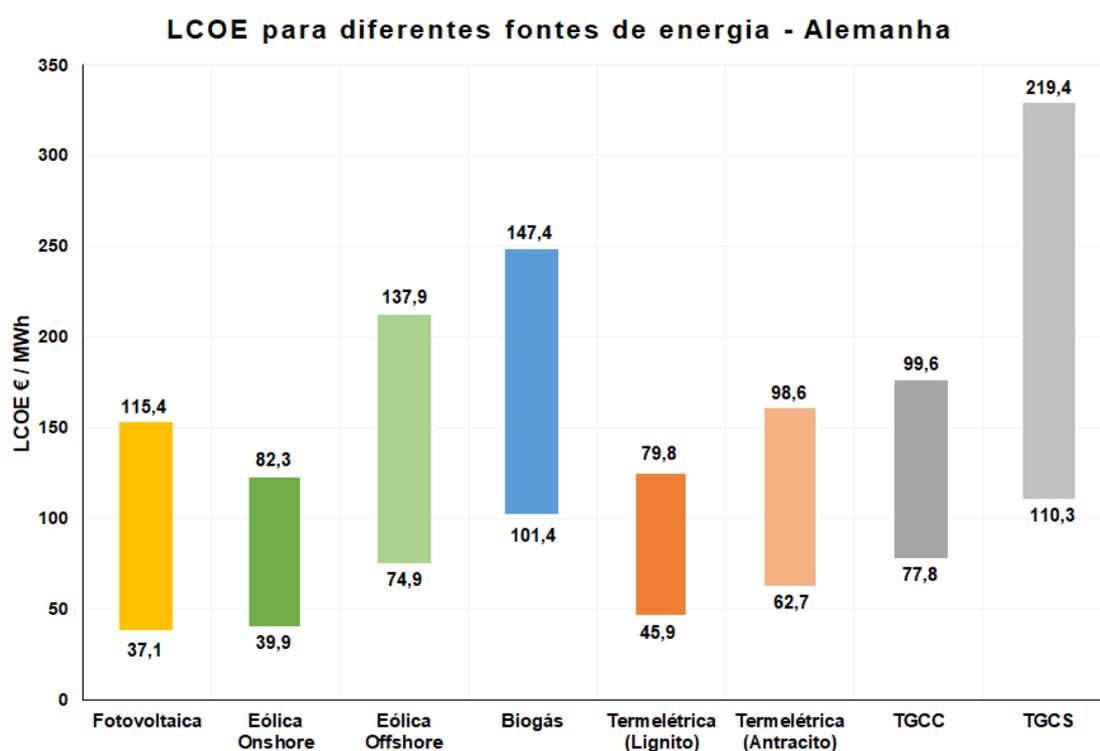
De qualquer forma, é importante ressaltar que o Brasil, deve assumir papel importante, no apoio ao crescimento de plantas na América Latina e Caribe, por meio de ações voltadas a Transferência de Conhecimento, assim como, tornar-se um canal de conexão entre países em desenvolvimento (do energético) com o restante do mundo.

### 3.2 Aspectos financeiros do setor de biogás

A atratividade de introdução de uma fonte energética no mercado nacional é determinada por diversos fatores, como o custo de produção de energia a partir desta fonte e as condições que o mercado oferece para viabilização do mesmo.

Um indicador econômico utilizado para analisar o custo de produção de energia é o LCOE (*Levelized Cost of Energy*), ou custo nivelado de energia, que permite comparar distintas tecnologias (como solar, fotovoltaica, biogás, etc.) em diferentes arranjos, tamanhos de projeto, custo de capital, tempo de vida útil, dentre outros.

Como visto anteriormente, a Alemanha é destaque mundial no setor de biogás, sendo referência no número de plantas e na produção de biogás e biometano. Porém, seu mercado de usinas de biogás tem sido caracterizado por inúmeros altos e baixos. Apesar da expansão do setor e adesão de novas plantas, os índices não demonstram redução nos valores de investimento nos últimos anos (FRAUNHOFER, 2018). O LCOE do biogás comparado a diferentes fontes de energia da Alemanha está exposto na Figura 11.



\*Tempo de operação (horas/ano) em carga máxima para cada fonte de energia: Eólica Onshore (1800 a 3200), Eólica Offshore (3200 a 4500), Biogás (5000 a 7000), Termelétrica lignito (6450 a 7450), Termelétrica antracito (5350 a 6350), TGCC - Turbina a gás de ciclo combinado (3000 a 4000) e TGCS - Turbina a gás de ciclo simples (500 a 2000). Para a energia fotovoltaica foi considerado a irradiação de 950 a 1300 kWh/(m<sup>2</sup>.a).

Figura 11 - LCOE para diferentes fontes de energia - Alemanha.  
Fonte: Adaptado de Fraunhofer (2018).

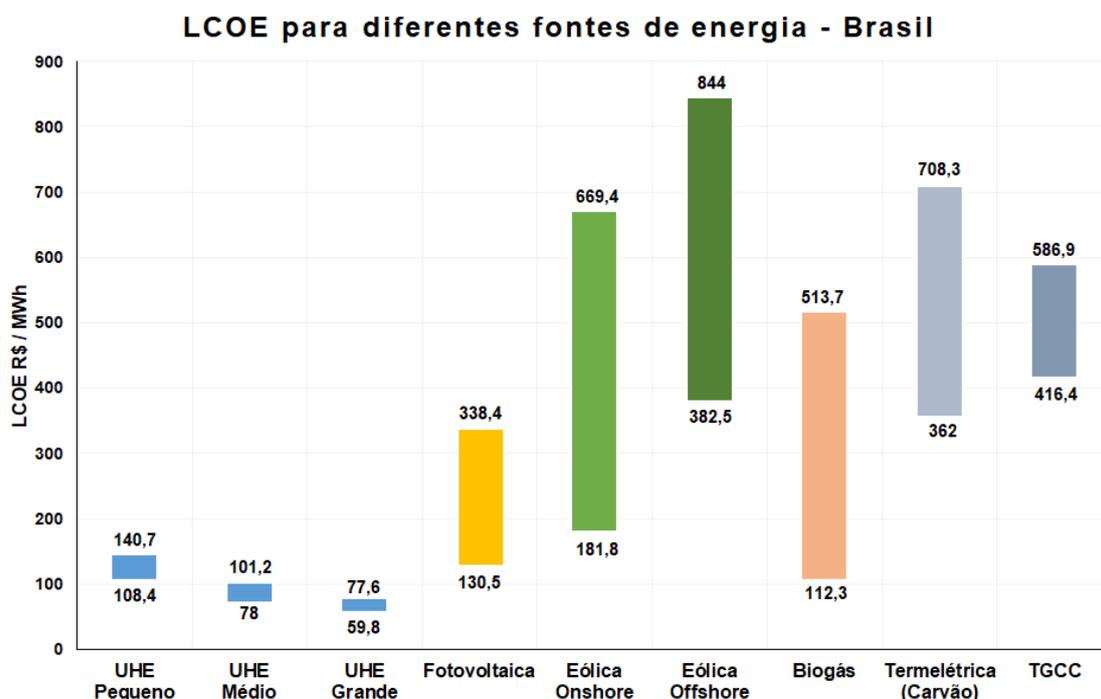
Segundo levantamento realizado por Fraunhofer (2018), as usinas de biogás com tempo de operação de 5.000 a 7.000 horas por ano e investimento entre 2.000 a 4.000 EUR/ kW, propiciam um LCOE entre 101,4 a 147,4 EUR/MWh.

Um dos fatores determinantes dos custos de produção de eletricidade das usinas de biogás na Alemanha são os valores de aquisição de substratos. Uma redução de 20% nos custos de aquisição do substrato pode gerar uma redução de cerca de 15 EUR/MWh no LCOE.

O uso do biogás na Alemanha tem crescido, seja pelos incentivos fiscais e subsídios (*feed-in tariffs*) que garantem maior viabilidade aos negócios, ou pela valorização de uma fonte de energia limpa e despachável que colabora para o atendimento de metas ambientais. O custo superior de produção da energia a

partir do biogás comparada a outras tecnologias não tem sido um impeditivo nesse cenário.

O desenvolvimento da cadeia de biogás no Brasil tem tornado os preços de produção e operação de plantas de biogás cada vez mais competitivos. A Figura 12 apresenta o LCOE do biogás e de diferentes fontes de energia praticados no Brasil.



\*Tempo de operação (horas/ano) em carga máxima para cada fonte de energia: Usinas Hidrelétricas (UHE) (Porte: Pequeno - 300 MW, Médio - 650MW e Grande - 1000MW): 5.700 a 7.400; Fotovoltaica (25MW): 1.600 a 2.700; Eólica *Onshore* (100MW): 1.400 a 4.400; Eólica *Offshore* (400MW): 3.000 a 5.900; Biogás (< 0,6MW, com substratos agropecuários e agroindustriais): 5.000 a 7.000; Termelétrica (Carvão)(1000 MW): 2.000 a 4.500; TGCC - Turbina a gás de ciclo combinado (1000MW): 2.000 a 4.500.

Figura 12 - LCOE para diferentes fontes de energia - Brasil.  
Fonte: Adaptado de EPE (2018); CIBiogás (2020).

No Brasil a maioria das unidades de produção de biogás são instaladas em locais onde já existe uma grande disponibilidade de resíduos, ou seja, a aquisição de substratos em usinas de biogás no país não é uma prática comum. Este fator faz com que os custos de produção de energia elétrica a partir do biogás se tornem mais atraentes.

Apesar do LCOE demonstrar um cenário favorável ao desenvolvimento do biogás no Brasil, seu crescimento tem se dado de forma gradual, em função

da grande diversidade da matriz energética brasileira, hoje suplementada majoritariamente por usinas hidrelétricas (cerca de 60% da energia elétrica gerada no país), que apresentam um custo de geração de energia vantajoso. Outro fator é a condição ambiental favorável que o país possui, propiciando desenvolvimento de diferentes fontes de energia renovável.

Além de custos competitivos na geração de energia, os incentivos fiscais e subsídios financeiros, tal como o avanço regulatório são fundamentais para impulsionar o desenvolvimento do biogás nos países, como o observado na Alemanha, que vem apresentando avanço do setor ao longo dos anos mesmo com preços de produção de energia elétrica a partir do biogás não tão competitivos em seu cenário energético atual.

### 3.3 Aspectos regulatórios e sua influência no mercado do biogás

Para melhor entender e avaliar porque existem diferenças no avanço do mercado de biogás entre os países, é importante considerar que cada um adota políticas e incentivos diferentes para o desenvolvimento de sua governança sustentável. No Brasil, algumas legislações contribuíram de forma positiva para o crescimento do mercado (Quadro 1).

Quadro 1 - Legislações Federais Brasileiras que contribuíram para o crescimento do mercado de biogás (continua).

<b>Decreto n° 5.163/2004</b>	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. O que influencia no biogás: Formalização da geração distribuída no Brasil e permissão de chamada pública.
<b>Resolução Normativa n° 482/2012</b>	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Quadro 1 - Legislações Federais Brasileiras que contribuíram para o crescimento do mercado de biogás (continuação).

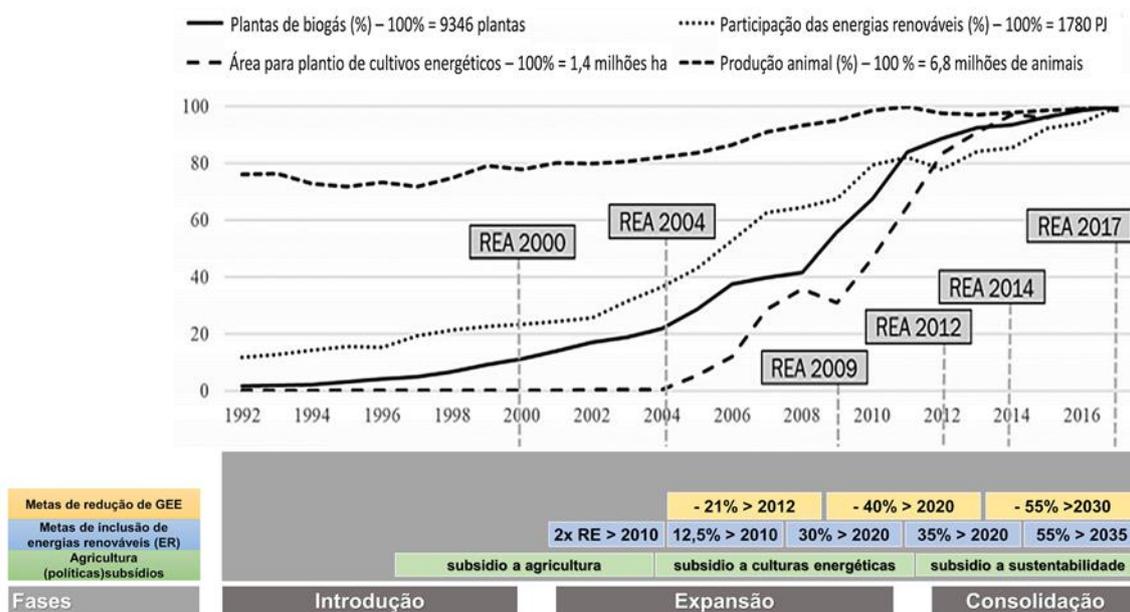
<b>Resolução Normativa n° 687/2015</b>	Altera a REN 482/12, que havia instituído a Geração Distribuída. Em suma, a ANEEL tornou mais fácil para que as pessoas e empresas possam produzir a sua própria energia a partir de fontes renováveis (solar, eólica, hidráulica e de biomassa). (Ampliação dos modais de GD).
<b>Resolução ANP n°8/2015</b>	Estabelece as especificações do biometano.
<b>Resolução ANP n° 685/2017</b>	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. Regulamentação do biometano (Aterros e ETEs).
<b>Lei n° 13.576/2017</b>	Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. IV - Contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis.
<b>Lei n° 12.187/2009</b>	Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.
<b>Lei n° 12.305/2010</b>	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

O desenvolvimento do mercado de biogás pode ser estruturado de acordo com o modelo das fases de mercado de Ernst Heuss. Este modelo, utilizado por Thrän et al. (2020) para analisar o mercado de biogás alemão, pode ser facilmente aplicado em outros países como o Brasil em que são consideradas as seguintes fases de mercado: experimentação, expansão, maturidade e estagnação/declínio.

O mercado brasileiro iniciou uma fase de expansão a partir de 2012 devido ao desenvolvimento de políticas públicas e regulamentações, como por exemplo a Resolução Normativa n° 482/2012 (principal mecanismo



## Sistema de Biogás e Biometano: Percepções de mercado no Brasil e Exterior



**Figura 14** - Implementação das diferentes fases do mercado do biogás alemão.  
Fonte: adaptado de Thrän et al. (2020).

Desta forma, segundo as fases de mercado de Ernst Heuss, diferentemente da Alemanha, que se encontra em fase de consolidação do mercado de biogás, o Brasil encontra-se em plena fase de expansão do setor, onde o biogás começa a firmar-se como fonte de energia confiável e rentável. Assim, as políticas públicas e os incentivos fiscais demonstram ser os principais precursores para o avanço do biogás tanto em países Europeus como na Alemanha, na América Latina e no Brasil.

O avanço regulatório da produção e uso do biogás no país é cada vez mais importante pois denota a praticabilidade do mesmo, fazendo com que gradativamente novas tecnologias nacionais sejam desenvolvidas, permitindo a implantação de unidades dos mais diversos portes de operação, condizentes com a realidade do país e tornando os custos de produção de biogás e biometano cada vez mais atrativos.

### 4. Considerações finais



Cada projeto de biogás possui suas particularidades, mesmo ao se tratar de plantas com características similares. Ao mencionar diferenças de maturidade tecnológica, custos de implantação, operação e manutenção entre países, deve-se levar em conta as diferenças de localização que implicam em distintos ambientes regulatórios, condições climáticas, econômicas e sociais.

Os benefícios atrelados à produção de biogás vão muito além de rentabilidade e lucratividade, de modo que a rentabilidade de um projeto de biogás não deve ser calculada adotando uma visão simplista de receitas e custos. A geração



de externalidades positivas como a redução das emissões de GEE, geração de energia firme, despachável, competitiva e não intermitente, geração de novos empregos, redução de custos para tratamento de resíduos orgânicos e aterramento são o que tornam a produção de biogás ainda mais atrativa e devem ser consideradas como retorno de um projeto de biogás.



Em um futuro próximo, veremos no Brasil cada vez mais modelos de negócios embasados nos princípios da economia circular, com fundamentos sólidos como: zero resíduos, zero emissões e contaminantes; autossuficiência energética renovável, geração de impacto social positivo, preservação da biodiversidade e geração de espaços urbanos saudáveis, por meio da valorização energética e sustentável dos resíduos, protagonizado pelo biometano na descarbonização da matriz energética de transportes, e pelo desenvolvimento do mercado do biogás.

## **AGRADECIMENTOS**

A presente nota técnica é resultado do esforço empreendido por inúmeros parceiros, que merecem especial agradecimento, entre eles: Associação Brasileira de Biogás - ABIOGÁS, AB Energy, ER-BR, Leão Energia, CHP Brasil. Instituições que apoiaram no compartilhamento e validação dos dados e informações.

## REFERÊNCIAS

BIOGASMAP. Disponível em: <<https://mapbiogas.cibiogas.org/>>. Acesso em: 03 de out.2020.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Probiogás. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás.** Ministério das Cidades: Brasília, 2015. Disponível em: <<https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>> Acesso em: 02 out. 2020.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 002/2020 – **Panorama do Biogás no Brasil em 2019.** Foz do Iguaçu, Abril de 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>>.

CHILE - MINISTERIO DE ENERGÍA. **Contexto Nacional de Energía del biogás: situación actual e iniciativas en Chile.** 2017. Disponível em: <<http://4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2017/11/Presentaci%C3%B3n-Biog%C3%A1s-DER-2017.pdf>> .

DUFY, D.P. **The Costs and Benefits of Anaerobic Digesters.** MSW Management 2017. Disponível em: <<https://www.mswmanagement.com/landfills/article/13030153/the-costs-and-benefits-of-anaerobic-digesters>> Acesso em: 02 out. 2020.

EBA - European Biogas Association. **Statistical Report of the European Biogas Association 2018,** 18p.,Bélgica, dezembro, 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica PR 07/18 : Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050.** Série - Estudos de Longo Prazo. 127p., Rio de Janeiro, novembro, 2018.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Relevamiento Nacional de Biodigestores.** Relevamiento de plantas de biodigestión anaeróbica con aprovechamiento energético térmico y eléctrico. Colección Documentos Técnicos N° 6. Buenos Aires: FAO, 2019. 84 pp. Disponível em: <[http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/Relevamiento%20Nacional%20de%20Bio%20digestores\\_10-7-2019.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/Relevamiento%20Nacional%20de%20Bio%20digestores_10-7-2019.pdf)>.

FRANCA, L. S; FERREIRA. B.O. **Túneis de metanização como tecnologia de tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.** In: Revista INEA. v.08, n.01.Rio de Janeiro: INEA. 2020. p. 59-74. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Revista-ineana-8.1.pdf>> Acesso em: 01 out. 2020.

FRAUNHOFER - Institute for Solar Energy Systems ISE. **Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies**. 42p., março, 2018.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Biogas for road vehicles: Technology brief**, 62p., Abu Dhabi, 2018.

PAVEDA, M. M. R. **Integração do biogás de vinhaça na matriz energética de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) - USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade Estadual de Campinas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 203p., 2019.

THRÄN, D; SCHAUBACH, K; MAJER, S; HORSCHIG, T. Governance of sustainability in the German biogas sector – adaptive management of the Renewable Energy Act between agriculture and the energy sector. **Energy, Sustainability and Society**. Leipzig: 2020. Disponível em: <<https://energysustainsoc.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s13705-019-0227-y.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2020.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on U.S. Livestock Production Facilities**. Technical Note No. 1. 2007. Disponível em: <<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=22533.wba>> Acesso em: 03 out. 2020.

WBA - WORLD BIOGAS ASSOCIATION. **Reports**. Disponível em: <<https://www.worldbiogasassociation.org/wba-publications/>> Acesso em: 03 de out.2020.



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