



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Mecânica

LEIDIANE MARIANI

**Biogás: diagnóstico e propostas de ações para
incentivar seu uso no Brasil**

CAMPINAS

2018

LEIDIANE MARIANI

Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof^ª. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELO(A) ALUNA LEIDIANE MARIANI, E ORIENTADA PELA PROFA. DRA CARLA KAZUE NAKAO CAVALIERO

CAMPINAS

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-6911>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

M337b Mariani, Leidiane, 1984-
Biogás : diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil / Leidiane Mariani. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Carla Kazue Nakao Cavaliero.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Biogás. 2. Políticas públicas. 3. Energia renovável. 4. Investimento em energia renovável. 5. Biomassa residual. I. Cavaliero, Carla Kazue Nakao, 1971-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Biogás : diagnosis and proposals of actions to encourage its use in Brazil

Palavras-chave em inglês:

Biogas

Public policy

Renewable energy

Investment in renewable energy

Residual biomass

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora:

Carla Kazue Nakao Cavaliero [Orientador]

Eduardo Marques Trindade

Airton Kunz

Ennio Peres da Silva

Sérgio Valdir Bajay

Data de defesa: 28-08-2018

Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

TESE DE DOUTORADO

Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil

Autora: Leidiane Mariani

Orientadora: Carla Kazue Nakao Cavaliero

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

Prof. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero, Presidente
Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp

Prof. Dr. Eduardo Marques Trindade
Centro Internacional de Energias Renováveis, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Prof. Dr. Airton Kunz
Embrapa Suínos e Aves

Prof. Dr. Ennio Peres da Silva
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - Unicamp

Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - Unicamp

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 28 de agosto de 2018.

Dedicatória

Dedico esse trabalho ao meu pai João Raul que dedicou sua vida ao trabalho e à família e, mesmo não estando mais vivo, segue sendo exemplo de gratidão e amor à vida.

Agradecimentos

Gratidão a toda a minha família, que sempre me motiva e me apoia nas decisões pessoais e profissionais e que é meu porto seguro. Aos amigos que encontrei nas muitas cidades em que vivi e que nem sempre consegui reencontrar, mas que deixaram um pouco de si comigo e ajudaram em todas as minhas conquistas. Aos amigos de perto e que consigo reencontrar, agradeço pelo companheirismo e apoio.

Agradeço aos professores, servidores e colegas da Unicamp, universidade que tenho orgulho de ter sido aluna. Gratidão eterna à minha orientadora, Carla Kazue Nakao Cavaliero, pelos conhecimentos transmitidos, dedicação, paciência e amor.

Também agradeço o apoio institucional da Itaipu Binacional, da Fundação Parque Tecnológico Itaipu, da Embrapa, Universidade de Boku/Áustria e do Programa Probiogas/GIZ. Especial agradecimento pelo apoio institucional e financeiro do CIBiogás, durante todo o doutorado, e da CAPES/Ministério da Educação, durante o período de doutorado sanduíche.

Agradeço também pelo apoio, conhecimento compartilhado, discussões e comentários de: Airton Kunz, Aline Scarpetta, Ansberto Passo Neto, Cícero Bley, Eduardo Ferreira, Eduardo Trindade, Fagner Bitencourt de Oliveira, Felipe Souza Marques, Gladis Backes, Iara Bethania Rial, Jéssica Yuki Lima Mito, Jorge Vinícius Neto, Juliano de Souza, Luis Costa Jr., Marjorie Mendes Guarenghi, Nyara Chandoha Camilo, Pedro Kohler, Rafael Hernando Aguiar Gonzalez, Ricardo Steinmetz, Rodrigo Regis de Almeida Galvão e Sabrina Kerkhoff.

Gratidão também à equipe do CIBiogás pela disponibilidade em compartilhar conhecimento, apoio durante todo o doutorado e disposição de sempre trabalhar no sonho comum de desenvolver o setor de biogás do Brasil.

A Deus, que me ensina a ser grata por tudo e todos, especialmente às dificuldades, tristezas e perdas, que tanto me fizeram aprender.

Resumo

O uso de fontes renováveis de energia, como o biogás, vem crescendo em todo o mundo nos últimos anos devido à demanda por sustentabilidade na produção e redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), bem como ao aumento do consumo mundial de energia. O biogás, além de ser uma fonte renovável, está diretamente relacionado à melhoria do saneamento ambiental, por ser produzido a partir do tratamento de efluentes e resíduos. No Brasil, essa fonte de energia tem um considerável potencial de produção na agricultura, indústria, estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários. Assim, com o objetivo de realizar um diagnóstico do setor de biogás, identificar barreiras que impedem seu crescimento e analisar medidas para superá-las, foi realizado esse estudo. Para isso se analisou o panorama do setor de biogás europeu e os mecanismos de incentivo que foram aplicados para seu desenvolvimento e consolidação. Também foi realizada uma análise detalhada do setor de biogás do Brasil, incluindo sua situação atual e potencial em relação à produção, regulação, pesquisa e desenvolvimento e tecnologias. Em seguida, analisou-se as barreiras ao crescimento do uso de biogás no Brasil e discutiu-se os mecanismos de incentivo que poderiam ser aplicados para a sua superação. Como resultado do estudo, foi possível constatar que o potencial de produção de biogás do Brasil está gradualmente se tornando uma realidade e, até 2015, havia 127 usinas de biogás produzindo eletricidade, energia mecânica para bombeamento de efluentes, calor e biometano. Ao mesmo tempo, o ambiente regulatório, tecnológico e político avançou nos últimos anos, permitindo injetar biometano na rede e realizar mini e microgeração distribuída. Apesar disso, ainda existem várias barreiras a serem superadas para a consolidação do setor de biogás no Brasil, as quais foram analisadas nesse estudo e podem ser agrupadas em barreiras de conhecimento, tecnológicas, políticas e regulatórias e econômicas e financeiras. Os mecanismos para superação dessas barreiras foram propostos com base no diagnóstico realizado e nos mecanismos normalmente empregados para incentivar energias renováveis. Com isso, foi possível obter uma visão geral da situação do setor de biogás do Brasil, seu potencial e o que pode ser feito para incentivar seu uso e obter benefícios para o setor de saneamento e energético.

Palavras Chave: biogás, políticas públicas, energia renovável, investimento em energia renovável, biomassa residual.

Abstract

The use of renewable energy sources, such as biogas, has been growing worldwide in recent years due to the demand for sustainability in the production and reduction of greenhouse gas (GHG) emissions, as well as the increase in world energy consumption. Biogas, besides being a renewable source, is directly related to the improvement of environmental sanitation, because it is produced from the treatment of effluents and waste. In Brazil, this energy source has a considerable production potential in agriculture, industry, sewage treatment plants and landfills. Thus, this study was carried out with the main purpose of making a diagnosis of the biogas sector, identify barriers for its growth and analysing ways to overcome them. This analysis of Brazil's biogas sector included its current and potential situation regarding production, policies, regulation, research, development and technologies. It was analysed the barriers to the growth of the use of biogas in Brazil and the possible incentive mechanisms that could be applied for their overcoming. Thus, it was possible to observe that Brazil's biogas production potential is gradually becoming a reality and, by 2015, there were 127 biogas plants producing electricity, mechanical energy to pump effluents, heat and biomethane, according to the study. At the same time, the regulatory, technological and political environment has advanced a lot in the last years, since it is possible to inject biomethane in the network and to perform mini and distributed microgeneration. Despite this, there are still several barriers to be overcome for the consolidation of the biogas sector in Brazil, which were studied in this research and can be grouped into knowledge, technological, political, regulatory and economic and financial barriers. Mechanisms to overcome these barriers were proposed based on the diagnosis made and the mechanisms normally employed to encourage renewable energies. With this, it was possible to obtain an overview of the situation of the biogas sector in Brazil, its potential and what can be done to encourage its use and to obtain benefits for the sanitation and the energy sector.

Key Word: biogas, public policy, renewable energy, investment in renewable energy, residual biomass.

Lista de Ilustrações

Figura 1. Fluxograma de produção e uso do biogás.....	25
Figura 2. Categorias de potencial em relação à geração de energia.....	34
Figura 3. Tipos de barreiras para o desenvolvimento de energias renováveis.....	35
Figura 4. Barreiras para a produção de energias renováveis segundo maturidade da tecnologia.	38
Figura 5. Crescimento da quantidade de plantas na Europa.....	40
Figura 6. Produção primária de biogás na União Europeia em 2016 (ktep).....	41
Figura 7. Crescimento da capacidade elétrica instalada (MW) de biogás na Europa.....	42
Figura 8. Crescimento da produção de biometano na Europa (GWh).....	43
Figura 9. Quantidade de planta de biogás em operação em 2015, segundo substratos utilizados.	44
Figura 10. Localização dos grupos de pesquisa em biogás, biodigestores e biodigestão do CNPq em 2015.....	61
Figura 11. Modelos de negócio para a geração de recursos econômicos ou financeiros com biogás.....	73
Figura 12. Mapa do potencial de produção de biogás a partir de resíduos da pecuária no Brasil.	83
Figura 13. Mapa da infraestrutura de produção e movimentação de gás natural do Brasil.....	84
Figura 14. Projeção da penetração do biogás como fonte para geração de energia elétrica até 2050, em MW médio.....	85
Figura 15. Projeção da penetração do biogás como fonte para energia elétrica até 2050, em biometano equivalente versus potencial teórico.....	85
Figura 16. Projeção de crescimento da geração de energia elétrica e da capacidade instalada com biogás e solar fotovoltaica até 2026.....	86
Figura 17. Projeção da penetração do biogás para a produção de biometano combustível até 2050 versus potencial teórico.....	87
Figura 18. Usinas termelétricas a biogás do Brasil - Quantidade e capacidade instalada.....	90
Figura 19. Quantidade de unidades produtoras de energia a partir de biogás por situação e porte no Brasil, em 2015.....	91

Figura 20. Produção de biogás para produção de energia por situação e porte no Brasil, em 2015.	92
Figura 21. Localização das unidades conforme situação, em 2015.	93
Figura 22. Localização das unidades em operação conforme porte, em 2015.	93
Figura 23. Quantidade de plantas de biogás em operação de acordo com substrato e porte, em 2015.	94
Figura 24. Quantidade de biogás produzido segundo substrato e porte – Plantas em operação em 2015.	95
Figura 25. Quantidade de plantas de biogás em operação de acordo com a aplicação energética e porte, em 2015.	97
Figura 26. Quantidade de biogás produzido de acordo com a aplicação energética e porte, em 2015.	97
Figura 27. Localização das plantas segundo substrato utilizado.	98
Figura 28. Localização das plantas de biogás segundo uso energético.	99
Figura 29. Quantidade de plantas de biogás em operação segundo substrato utilizado e aplicação energética, em 2015.	100
Figura 30. Volume de biogás produzido pelas plantas em operação em 2015, segundo substrato utilizado e aplicação energética.	100

Lista de Tabelas

Tabela 1. Classificação das unidades produtoras de biogás por porte.....	30
Tabela 2. Capacidade de produção de biogás e características de substratos para produção de metano no Brasil (com base em sólidos voláteis).	30
Tabela 3. Grupos de pesquisa em biogás, biodigestores e biodigestão por região (dados de 2015).....	61
Tabela 4. Estudos de potencial de produção de biogás do Brasil entre 1999 e 2014.....	81
Tabela 5. Quantidade de unidades e produção de biogás por categoria de substrato no Brasil em 2015.	94
Tabela 6. Aplicação energética do biogás no Brasil em 2015.....	96
Tabela 7. Plantas de produção de biometano no Brasil em 2016.....	101

Lista de Quadros

Quadro 1. Classificação de potencial de energias renováveis.	32
Quadro 2. Categorias de potencial de geração de energia.	33
Quadro 3. Tipos de incentivo à energia elétrica de biogás.	36
Quadro 4. Resumo dos esquemas de incentivo a energias renováveis na Europa.	45
Quadro 5. Incentivos à produção e ao uso do biogás em três países da Europa.	46
Quadro 6. Barreiras para a produção e uso do biogás na Europa.	49
Quadro 7. Comparação entre tecnologias para biogás no Brasil e na Europa.	71
Quadro 8. Barreiras ao desenvolvimento do setor de biogás de RSU do Brasil.	106

Lista de Abreviaturas e Siglas

PRONAF	- Programa Nacional para Agricultura Familiar
ABBM	- Associação Brasileira de Biogás e Metano
ABiogás	- Associação Brasileira de Biogás e Biometano
AEBIOM	- Associação Europeia de Biomassa (em inglês <i>European Biomass Association</i>)
AGENERSA	- Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	- Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
BCB	- Banco Central do Brasil
BIG	- Banco de Informações de Geração
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBIO	- Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis
CENBIO	- Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CGH	- Central Geradora Hidrelétrica
CH ₄	- Metano
CIBiogás	- Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás
CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO ₂	- Dióxido de Carbono
CONFAZ	- Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
CTBE	- Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol
DAAD	- Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (em alemão <i>Deutscher Akademischer Austauschdienst</i>)
DENA	- Agência Alemã de Energia (em alemão <i>Deutsche Energie-Agentur</i>)
Emater/PR	- Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA-US	- Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (em inglês <i>United States Environmental Protection Agency</i>)

EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
EUR	- Euro
FAO	- Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (em inglês <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>)
FIEP	- Federação das Indústrias do Paraná
FINEP	- Financiadora de Estudos e Projetos
FIOCRUZ	- Fundação Oswaldo Cruz
FPTI	- Fundação Parque Tecnológico Itaipu
GD	- Geração Distribuída
GEE	- Gases de Efeito Estufa
GIZ	- Agência Alemã de Cooperação Internacional (em alemão <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>)
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
GN	- Gás Natural
GNR	- Gás Natural Renovável
GNV	- Gás Natural Veicular
H ₂ S	- Ácido Sulfídrico
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
InMetro	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INT	- Instituto Nacional de Tecnologia
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
ITAI	- Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação
ktep	- Mil Toneladas Equivalentes de Petróleo
kW	- Quilowatt
MCTIC	- Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação
MCidades	Ministério das Cidades
MDA	- Ministério de Desenvolvimento Agrário
MDL	- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	- Ministério de Meio Ambiente
MME	- Ministério de Minas e Energia
MW	- Megawatt
MWh	- Megawatt hora

ONU DI	- Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
PCHs	- Pequenas Centrais Hidrelétricas
PEMC	- Política Estadual de Mudanças Climáticas
PIB	- Produto Interno Bruto
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROBIOGÁS	- Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil
Programa ABC	- Programa Agricultura de Baixo Carbono
PROINFA	- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Prosab	- Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SCGAS	- Companhia de Gás de Santa Catarina
SENAI	- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SENAR	- Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SNSA	- Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
RSU	- Resíduo Sólido Urbano
TUSD	- Tarifa de uso dos sistemas elétricos de distribuição
TUST	- Tarifa de uso dos sistemas elétricos de transmissão
UDESC	- Universidade do Estado de Santa Catarina
UFC	- Universidade Federal do Ceará
UFCG	- Universidade Federal de Campina Grande
UFES	- Universidade Federal do Espírito Santo
UFJF	- Universidade Federal de Juiz de Fora
UFMS	- Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFPE	- Universidade Federal de Pernambuco
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	- Universidade Federal de Santa Maria
UNESP	- Universidade Estadual de São Paulo
UNFCCC	- Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (em inglês <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
UNIOESTE	- Universidade Estadual do Oeste do Paraná

PNUD

- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. Objetivo geral	22
1.2. Objetivos específicos	23
1.3. Estrutura da tese	23
2. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS	24
2.1. Biogás como fonte de energia	24
2.1.1. Aspectos ambientais, sociais e econômicos do biogás	25
2.1.2. Histórico do setor no Brasil	28
2.1.3. Características das plantas de biogás	29
2.2. Estudos de potencial de produção de energia renovável	31
2.3. Barreiras ao desenvolvimento e mecanismos de incentivo às energias renováveis	34
2.4. Diagnóstico do setor de biogás na Europa	39
2.4.1. Dados de produção de biogás na Europa	40
2.4.2. Mecanismos de incentivo ao biogás na União Europeia	44
2.4.3. Barreiras e propostas para o setor de biogás na Europa	48
3. METODOLOGIA DE PESQUISA PARA O DIAGNÓSTICO DO SETOR DE BIOGÁS NO BRASIL	51
3.1. Metodologia para levantamento do contexto do setor de biogás	51
3.2. Metodologia para análise do potencial de produção de biogás no Brasil	52
3.3. Metodologia para levantamento de plantas existentes de produção de biogás para fins energéticos do Brasil	52
4. RESULTADOS E ANÁLISE	55
4.1. Contexto do setor de biogás no Brasil	55
4.1.1. Projetos de pesquisa e desenvolvimento	55
4.1.2. Ambiente regulatório	62
4.1.3. Políticas públicas	64
4.1.4. Iniciativas do setor privado	68

4.1.5.	Fontes de financiamento.....	69
4.1.6.	Tecnologias para biogás no Brasil comparadas à Europa	70
4.1.7.	Modelos de negócio	72
4.1.8.	Conclusões	76
4.2.	Análise do potencial de produção de biogás para fins energéticos no Brasil	80
4.2.1.	Estudos de potencial de produção de biogás realizados no Brasil	81
4.2.2.	Potencial de produção de biogás do Brasil – Resultados da EPE	82
4.2.3.	Conclusões	87
4.3.	Levantamento de plantas existentes de produção de biogás para fins energéticos do Brasil	89
4.3.1.	Usinas termelétricas a biogás – BIG/ANEEL	90
4.3.2.	Plantas de biogás para energia.....	91
4.3.3.	Conclusões	102
5.	ANÁLISE DE BARREIRAS E PROPOSTAS DE AÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR DE BIOGÁS	104
5.1.	Barreiras existentes ao desenvolvimento do setor no Brasil.....	104
5.1.1.	Barreiras relacionadas ao conhecimento	107
5.1.2.	Barreiras relacionadas ao desenvolvimento tecnológico.....	107
5.1.3.	Barreiras relacionadas ao ambiente financeiro e econômico.....	108
5.1.4.	Barreiras relacionadas ao ambiente político e regulatório	109
5.2.	Propostas de mecanismos para superar as barreiras no setor de biogás	110
5.2.1.	Políticas focadas na geração de energia	110
5.2.2.	Políticas focadas no investimento	113
5.2.3.	Políticas transversais	115
6.	CONCLUSÕES.....	118
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	APÊDICE – FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE PLANTAS DE BIOGÁS.....	133
	ANEXO 1 - GRUPOS DE PESQUISA EM BIODIGESTÃO E BIOGÁS	138
	ANEXO 2 - PROJETOS DE P&D CADASTRADOS NA ANEEL - CHAMADA ESTRATÉGICA 014/2012.....	142

ANEXO 3 - CAPACIDADE ELÉTRICA INSTALADA NO BRASIL - USINAS TERMELÉTRICAS A BIOGÁS	144
--	-----

1. INTRODUÇÃO

O setor energético brasileiro tem histórico de uso de fontes renováveis, como a hidráulica e o bagaço de cana para geração de energia elétrica e os biocombustíveis etanol e biodiesel. Porém, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 56,5 % da oferta de energia do país ainda é proveniente de fontes não-renováveis (EPE, 2017) a saber petróleo e seus derivados (36,5 %), gás natural (12,3 %), carvão mineral (5,5 %), urânio (1,5 %) e outras fontes não renováveis (0,7 %). A oferta interna de energia em 2016 foi composta por 43,5 % de energias renováveis, sendo 17,5 % proveniente de biomassa de cana, 12,6 % de hidráulica, 8% de lenha e carvão vegetal e 5,4 % de lixo e outras renováveis (EPE, 2017).

No caso da energia elétrica, a hidráulica é a fonte predominante, com 68,1 % (EPE, 2017), e é utilizada como lastro por possuir reservatórios e pelo baixo custo em comparação com outras fontes. No entanto, devido ao regime de chuvas nas regiões que abastecem as grandes usinas hidrelétricas, a disponibilidade dessa fonte varia ao longo dos anos e, mesmo sendo complementada pela oferta de bagaço de cana em períodos de estiagem, o setor ainda acaba sendo afetado. Nesse caso, a principal solução para garantir o abastecimento do sistema elétrico é a utilização de fontes fósseis para geração de energia elétrica, com aumento de custos e de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Ao mesmo tempo, apesar da redução da demanda de energia causada pela crise econômica do país, em 2016 a demanda voltou a crescer, segundo dados da EPE (2017), e essa será a tendência com a recuperação econômica, sendo necessário que a infraestrutura energética esteja preparada para o crescimento em longo prazo. No caso da energia elétrica, o potencial de instalação de grandes usinas hidrelétricas vem se reduzindo e ainda se soma à dificuldade de licenciamento ambiental dos grandes empreendimentos. Em relação aos combustíveis, mesmo com o sucesso brasileiro com o etanol, o setor sucroenergético passa por um período de dificuldades econômicas, de forma que, em princípio, a opção mais atrativa economicamente acaba sendo as fontes fósseis, principalmente com a descoberta de petróleo do pré-sal.

Assim, considerando que o setor energético é responsável por 34,6 % das emissões mundiais de GEE, sendo 25% de geração de eletricidade e calor e 9,6 % de outras energias, é fundamental promover o aumento do uso de fontes renováveis e a eficiência energética para redução das emissões (IPCC, 2015). No Brasil, as emissões de GEE do setor energético passaram de 16 % do total em 2005, para 32 % em 2010 e 37 % em 2012 (MCTI, 2013), mostrando a importância de se encontrar alternativas energéticas que emitam menos GEE e

revertam a tendência de aumento verificada no setor. Durante a COP-21 em 2015, em Paris, o governo brasileiro apresentou sua Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC¹) às Nações Unidas, expressando a ambição brasileira de redução de GEE para o Acordo de Paris (MME/EPE, 2017). Com base nisso, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE) prevê o crescimento do uso de fontes renováveis no sentido de atender as metas assumidas pelo Brasil no âmbito do Acordo.

Dessa forma, no âmbito do planejamento energético do país, fala-se cada vez mais em eficiência energética no consumo, em melhoria da eficiência das usinas termelétricas e, principalmente, em diversificação e inserção de fontes alternativas na matriz energética brasileira.

Dentre as fontes alternativas disponíveis no Brasil está o biogás, proveniente da biodigestão de matéria orgânica, como resíduos e efluentes industriais, urbanos e rurais, denominados de substratos. Esse gás possui cerca de 60% de metano em sua composição e, em virtude do elevado poder calorífico, permite a sua utilização na geração de calor e de energia elétrica. Além disso, submetendo o biogás a um processo de separação (também conhecido como refino ou *upgrading*) é possível obter biometano e gás carbônico. Segundo a legislação vigente, o biometano pode ser considerado similar ao gás natural, e a ele misturado se contiver mais de 90 % de metano, permitindo o seu uso para os mesmos fins que esse combustível fóssil (ANP, 2015a; ANP, 2017).

Ainda que o biogás tenha um importante potencial energético, um dos grandes benefícios associados à sua produção refere-se justamente ao tratamento de efluentes e resíduos para redução do potencial poluidor. A possibilidade de gerar energia por meio da implementação do tratamento do efluente passa a ser atrativa e motivar o cumprimento da obrigação ambiental das empresas e propriedades rurais. Outro benefício é a produção do digestato, efluente do processo, que possui propriedades fertilizantes para o solo.

Muitas vezes, o biogás já é produzido naturalmente no tratamento de efluentes ou em aterros sanitários e emitido para a atmosfera sem ter sido queimado (em queimadores ou em motogeradores). Essas emissões são também relacionadas ao aquecimento global, já que o metano contido no biogás é outro gás causador do efeito estufa, porém com potencial de

¹ Sigla do inglês *Intended Nationally Determined Contribution*. O termo “pretendida” devia-se ao fato de que as contribuições seriam consolidadas após a assinatura do Acordo e ratificação em cada país, quando então passariam a ser chamadas apenas de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs). No Brasil, isso veio a acontecer em 12 de setembro de 2016, quando foi ratificado o Acordo de Paris após passar pela Câmara dos Deputados e pelo Senado brasileiros (GUIDA, 2018).

aquecimento global 21 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 1996). Logo, o aproveitamento desse biogás parece ser uma das medidas necessárias para reduzir as emissões de CO₂.

De fato, no estudo da demanda de energia para 2050 (EPE, 2014a) e nos inventários energéticos de resíduos agrícolas (EPE, 2014b) e de resíduos sólidos urbanos (EPE, 2014c) da EPE já se reconhece a importância do biogás e da autoprodução de energia para o setor energético brasileiro. Esses estudos indicam que há potencial de produção e uso energético do biogás, especialmente a partir de resíduos e efluentes de regiões agrícolas do país.

Apesar desse potencial e dos sinais de crescimento do setor, ainda há barreiras à expansão do uso biogás no Brasil, da mesma forma que ocorre com outras fontes renováveis de energia. Essas barreiras são de diferentes naturezas, indo de regulatórias à falta de conhecimento, econômicas, financeiras e políticas. Daí a importância de se conhecer o setor, suas características, dificuldades e potencialidades. Com esse diagnóstico é possível analisar o setor em busca das barreiras que impedem seu desenvolvimento e propor medidas de superação dessas dificuldades.

Nesse sentido, alguns países, especialmente europeus, vêm buscando soluções para superar as barreiras e desenvolveram políticas de incentivo ao biogás como forma de redução de emissões de GEE. À luz dessas experiências e do diagnóstico do setor no Brasil, é possível identificar mecanismos de incentivo ao biogás, obviamente fazendo as devidas adequações para o contexto brasileiro. Somente com ações e iniciativas mais focadas e abrangentes é que o setor de biogás pode realmente se consolidar. E nesse sentido, passa a ser imprescindível uma análise sistêmica do setor para garantir que seu crescimento seja sustentável.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral dessa tese é realizar um diagnóstico do setor de biogás, identificar barreiras que impedem seu crescimento e propor medidas para superá-las.

1.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, objetivos específicos foram definidos, como apresentado a seguir:

- Realizar uma análise detalhada do setor de biogás do Brasil, incluindo sua situação atual e potencial em relação à produção, regulação, pesquisa e desenvolvimento e tecnologias.
- Analisar o panorama do setor de biogás europeu e os mecanismos de incentivo que foram aplicados para seu desenvolvimento e consolidação.
- Analisar as barreiras ao crescimento do uso de biogás no Brasil e discutir os possíveis mecanismos de incentivo que poderiam ser aplicados para sua superação e as perspectivas de políticas e iniciativas já em curso.

1.3. Estrutura da tese

A tese foi estruturada em seis capítulos, sendo o primeiro de Introdução, contendo contextualização, objetivos e estrutura do trabalho. No Capítulo 2 são apresentados alguns conceitos relacionados ao biogás e dados do setor de biogás da Europa, como forma de embasar as discussões sobre barreiras e mecanismos de superação para o desenvolvimento desse setor no Brasil.

No Capítulo 3 é detalhada a metodologia adotada para realizar o diagnóstico do setor de biogás do Brasil, com o objetivo de se conhecer melhor o histórico, a situação atual e potencial de produção, as políticas e regulações relacionadas, as iniciativas de pesquisa e desenvolvimento, as tecnologias e modelos de negócio utilizados. E no Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões relacionadas.

Na sequência, no Capítulo 5 são apresentadas as barreiras existentes ao desenvolvimento do setor no Brasil e discute-se os possíveis mecanismos de desenvolvimento desse setor que poderiam ser aplicados. Por fim, as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros são mencionadas no Capítulo 6.

2. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS

2.1. Biogás como fonte de energia

O biogás é produzido em processos de degradação anaeróbia de matéria orgânica, ou seja, sem oxigênio. O processo de digestão anaeróbia ocorre naturalmente com toda matéria orgânica que entra em decomposição nessas condições, por exemplo, quando há resíduos acumulados como em lixões ou aterros sanitários ou em lagoas de armazenamento de efluentes. Nesses casos, a parte do resíduo ou efluente que está em contato com o ar é digerida por bactérias aeróbias, e a parte que não está em contato com o ar, por bactérias anaeróbias.

Porém, com tecnologias adequadas, como os biodigestores, a biodigestão pode ser aplicada com os objetivos de tratar efluentes ou resíduos, de produzir biogás e/ou de produzir biofertilizante a partir da parte líquida que é digerida, chamada de digestato (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014). Dentre esses efluentes e resíduos, pode-se citar o esgoto urbano, a fração orgânica do resíduo sólido urbano, dejetos da produção de suínos, aves e bovinos e efluentes de indústrias, como abatedouros de animais, fecularias, usinas de açúcar e etanol, etc.

O biogás é composto majoritariamente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), com outros gases presentes em baixas concentrações, como gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2) e nitrogênio (N_2). A presença do metano garante ao biogás a capacidade de ser uma fonte de energia, permitindo seu uso para a geração de energia elétrica, produção de calor e na produção de biometano e de CO_2 . O biometano pode ser considerado um gás similar ao gás natural quando sua composição atender à Resolução ANP N° 08/2015, alterada pela Resolução ANP N° 685/2017 (ANP, 2015b; 2017). Para isso, o biogás deve passar por um processo de separação dos gases, também conhecido por refino ou *upgrading*, que faz com que a concentração de metano passe de cerca de 60 % (base molar) para, no mínimo, 96,5 % (base molar). Essa Resolução foi regulamentada para o território nacional, com exceção da região Norte, abastecida pelo gás natural de Urucu, onde a concentração mínima de metano no biometano deve ser de 90,0 a 94,0 % (base molar).

O processo de produção de biogás envolve basicamente as seguintes etapas: pré-tratamento do substrato; digestão anaeróbia no biodigestor; armazenagem, tratamento e aproveitamento do digestato; tratamento, armazenagem e transporte de biogás; aplicação do

biogás na geração de energia elétrica e/ou calor; e produção, armazenamento e transporte de biometano, como pode ser visto na Figura 1.

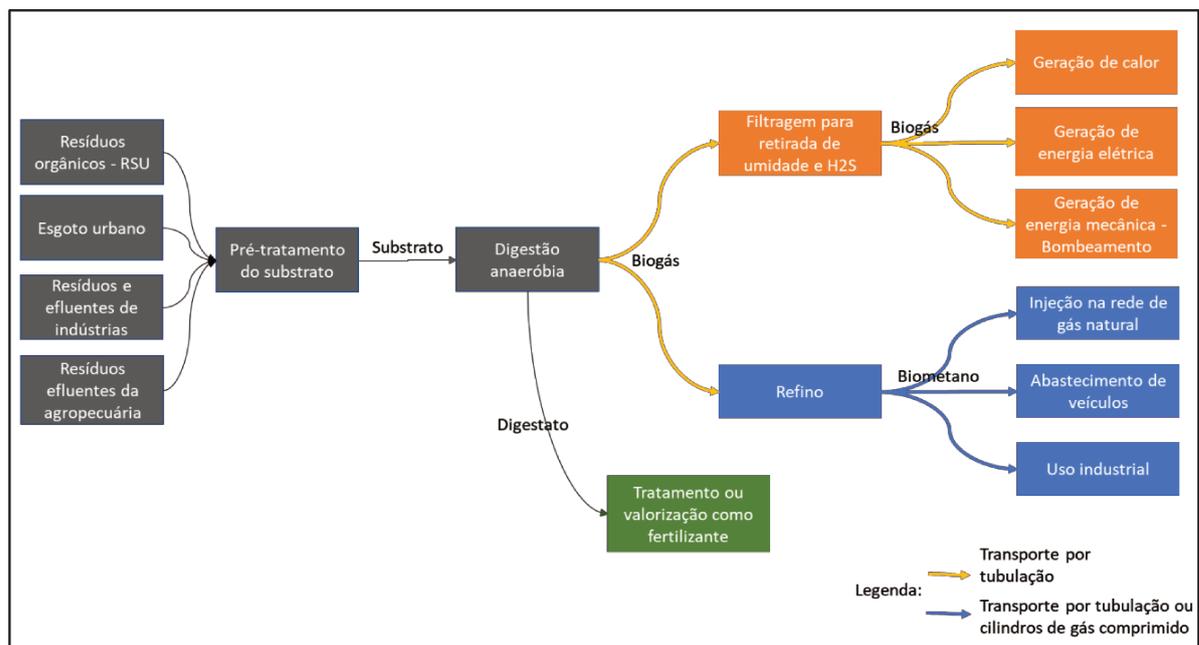


Figura 1. Fluxograma de produção e uso do biogás.

Fonte: Elaboração própria.

Segundo BLEY (2015), o biogás é uma fonte de energia que pode gerar diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Por isso, é considerado um meio para o aumento da sustentabilidade nos processos produtivos. A seguir são descritos alguns aspectos ambientais, sociais e econômicos do biogás, o histórico dessa fonte no Brasil e algumas características das plantas de biogás.

2.1.1. Aspectos ambientais, sociais e econômicos do biogás

O biogás é uma fonte de energia renovável, pois pode ser produzido com matérias primas que se renovam em uma escala de tempo curta para a humanidade, ou seja, apenas meses ou anos, como os resíduos orgânicos. Dentre os benefícios ambientais, destaca-se que o biogás é um indutor da destinação e tratamento adequados de efluentes e resíduos, reduzindo o risco de contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos. Os aspectos ambientais do biogás são muito importantes porque muitas vezes sua produção é motivada pela obrigação legal de tratamento de efluentes e resíduos. Assim, quando, além da exigência de tratamento adequado, tem-se a possibilidade de ganhos econômicos e financeiros com a produção de energia a partir

de um dos produtos do tratamento, o processo passa a ser mais atrativo e causa também impactos ambientais positivos.

Ainda que após o processo de biodigestão a carga orgânica do efluente seja reduzida, diminuindo seu potencial de impacto, os nutrientes comumente encontrados em efluentes e resíduos não são degradados e continuam compondo o digestato. Esses nutrientes, como o Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) podem causar a eutrofização em recursos hídricos, ou seja, a proliferação de algas, causando impacto ambiental em corpos d'água.

Ao mesmo tempo, justamente por conta de sua composição, o digestato produzido no processo de digestão anaeróbia pode ser utilizado como fertilizante do solo, promovendo o aumento da produtividade e redução de custos na agricultura. Ao reduzir a demanda por fertilizantes químicos, benefícios indiretos são obtidos, uma vez que, segundo Costa e Silva (2012), comumente são explorados em áreas de mineração distantes das áreas de agricultura, inclusive em outros países, causando impactos ambientais no local e durante a produção e transporte.

Outro benefício importante é a redução das emissões de GEE. A concentração desses gases na atmosfera vem aumentando nas últimas décadas e pesquisas a correlacionam ao aumento da temperatura global, o que trará muitos impactos ambientais, sociais e econômicos ao planeta. A produção e uso do biogás pode promover a redução da emissão de gás metano de aterros sanitários, pois o biogás produzido passa a ser coletado com maior eficiência e pode ser aproveitado para geração de energia elétrica. Também pode promover a redução das emissões de gás metano de lagoas de armazenamento de efluentes, pois a parte do efluente que não tem contato com o ar na superfície acaba por ser digerido anaerobicamente, emitindo metano para a atmosfera. Ao mesmo tempo, sua utilização permitiria a substituição de combustíveis fósseis, como óleo diesel, gás natural e gás liquefeito de petróleo (GLP), por um combustível renovável tanto no setor de transportes quanto de geração de energia elétrica.

O biogás é uma fonte de energia bastante distribuída no território, diferente de outras fontes que estão bastante concentradas. De fato, a matéria prima para produção de biogás está distribuída tanto em regiões urbanas quanto industriais ou agrícolas. Segundo Bley (2015), essa característica permite que se produza energia próxima ao seu consumo e seja reduzida a demanda de energia elétrica e combustíveis de grandes usinas ou de locais distantes, o que aumenta a segurança, a qualidade e a eficiência energética, pois a energia (elétrica e combustível) passa a ser produzida de forma distribuída.

No entanto, essa característica pode reduzir a economia de escala, afetando a viabilidade e atratividade dos projetos em diversos casos, pois as plantas estão distribuídas no território,

mas muitas são de pequena escala. A consequência disso é que, com o objetivo de garantir a viabilidade dos projetos, muitas vezes são utilizadas tecnologias de baixo custo para a produção e uso do biogás, reduzindo a eficiência, qualidade e segurança.

Dentre os impactos sociais da produção e uso do biogás, Divya et al. (2015) citam a melhoria da qualidade de vida das pessoas no entorno dos sistemas pela redução dos odores e moscas no sistema de tratamento dos efluentes.

O uso do biogás para geração de energia e do digestato para fertilização do solo possibilita a redução dos custos com a compra desses insumos em propriedades rurais, indústrias, aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto ou qualquer outro tipo de planta de biodigestão. Outra possibilidade é que esses insumos (energia e fertilizante) sejam comercializados e possam gerar novas fontes de renda para as plantas de biogás. Como citado por Bley (2015), em casos em que a produção de biogás é o foco do negócio e não apenas o aproveitamento do resíduo da atividade produtiva, o biogás passa a ser um impulsionador de novos negócios.

No caso do atendimento em escala doméstica, como de residências em regiões muito pobres e/ou isoladas, a biodigestão de resíduos da agricultura familiar e os seus produtos podem trazer benefícios como acesso à energia e à melhoria da qualidade de vida de mulheres e da igualdade de gênero. Nesses casos, normalmente as mulheres precisam buscar lenha diariamente para a cocção de alimentos, o que demanda várias horas do dia para essa atividade. Com o uso do biogás para cocção, essas horas podem ser aplicadas em atividades que gerem mais renda para as famílias ou na formação educacional. Além disso, no caso de regiões com baixo acesso a tecnologias eficientes de cocção, a substituição de lenha por biogás melhora a qualidade do ar no interior da residência, melhorando a saúde de toda a família (ARTHUR et al., 2011).

Outra faceta dessa tecnologia na agricultura pode ser o incentivo aos jovens para permanecerem na área rural, uma vez que se configura em uma nova atividade produtiva e uma nova fonte de renda. Segundo Bley (2015), a produção de biogás pode incentivar a geração de empregos e o crescimento da economia da região onde é realizada, pois demanda serviços de engenharia, instalação e manutenção e insumos.

Além disso, a produção de biogás pode ser feita pelos próprios consumidores de energia, tornando-os autoprodutores e mais capazes de controlar esse insumo para suas atividades produtivas. No entanto, destaca-se a complexidade de um processo biológico como a biodigestão, que é influenciado por aspectos como temperatura, pH, homogeneização, clima, características do substrato e outros. A demanda por filtragem do biogás para evitar a corrosão dos equipamentos é mais um fato que aumenta o custo dos projetos. Dessa forma, Jende et al.

(2016) indicam que há diversas barreiras e dificuldades para que o biogás seja aproveitado em todo o seu potencial no Brasil.

Por fim, segundo Coimbra-Araújo et al. (2014), o biogás não é apenas uma fonte de energia, mas um mobilizador de desenvolvimento regional, pois pode ser produzido com substratos provenientes de diversas atividades produtivas e locais, como a agropecuária, indústria, aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes.

2.1.2. Histórico do setor no Brasil

Segundo Palhares (2008), em novembro de 1979, com base em um relatório técnico da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO²), o primeiro biodigestor modelo chinês foi instalado na Granja do Torto, em Brasília. Pode-se considerar que a história do biogás no Brasil começou a partir desse momento, quando o governo adotou medidas para reduzir a dependência do petróleo após o segundo choque do seu preço. Dentre essas medidas estava o incentivo aos biodigestores por meio de financiamentos ou doações de recursos. Com isso, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Paraná (Emater/PR) estimava que em 1984 haviam 3.000 biodigestores instalados no país, principalmente do modelo indiano (BLEY, 2015).

No entanto, diversos problemas de operação do dejetos inviabilizaram tecnicamente o uso dos biodigestores, fazendo com que entrassem em colapso e fossem abandonados. Ao mesmo tempo, os preços do petróleo voltaram a baixar, tornando-se novamente competitivos com o biogás para uso térmico e desestimulando a sua produção.

Entre os anos 1990 e 2000, os biodigestores voltaram a ser tema de discussão no Brasil para queima do biogás como forma de reduzir as emissões de GEE através de projetos inseridos no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e a respectiva venda de créditos de carbono gerados. O biogás não precisava ser aproveitado energeticamente para a geração do crédito, bastava ser queimado em um *flare*. Somado a esse baixo aproveitamento energético, o mercado criado no entorno desses projetos não integrava os produtores rurais, deixando-os apenas como fornecedores do dejetos para receberem uma porcentagem dos ganhos com crédito. Esse modelo se mostrou inviável economicamente e operacionalmente, especialmente com a

² Sigla do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

redução do valor do crédito durante a crise econômica da Europa. Assim, segundo Bley (2015), novamente os biodigestores deixaram de ser utilizados no país.

Somado a esse histórico negativo do biogás no país, o direcionamento de políticas públicas e investimento do Estado em combustíveis provenientes do petróleo, no etanol e no biodiesel (esse mais recentemente) e em grandes centrais hidrelétricas, deixou essa fonte de energia de lado por muitos anos.

No entanto, nos últimos anos, o uso de biodigestores para a produção de biogás voltou a ser discutido no Brasil como meio de diversificação das fontes de energia e desenvolvimento de uma nova cadeia de produção na economia (ABIOGAS, 2015). Paralelo a isso, o setor de biogás na Europa, principalmente na Alemanha, passou por um rápido desenvolvimento motivado pelas leis de incentivo e subsídios à geração de energias renováveis.

Assim, o retorno do tema biogás e o potencial de produção do Brasil atraíram a atenção de instituições de governo, de empresas brasileiras e internacionais e centros de pesquisa e desenvolvimento. Isso gerou várias iniciativas no sentido de desenvolver e buscar consolidar essa fonte de energia, citadas por Mariani et al. (2014).

2.1.3. Características das plantas de biogás

As plantas de biogás podem ser classificadas em escala doméstica e escala industrial ou produtiva, segundo o CIBiogás (2018). A escala doméstica está associada à produção familiar, em que o biodigestor instalado produz biogás e biofertilizante para subsistência. Quando o objetivo é a produção para atender uma demanda de energia de um processo produtivo ou para comercialização, considera-se que tem escala produtiva, denominando as instalações de plantas ou usinas de biogás.

Nesse estudo, a escala produtiva, muitas vezes chamada de industrial, foi a considerada na análise. As plantas produtivas podem ser classificadas de acordo com o porte entre pequena, média e grande, conforme mostra a Tabela 1, adaptada de IEA Bioenergy (2014).

Tabela 1. Classificação das unidades produtoras de biogás por porte.

Classificação	Subclassificação	Produção de biogás (m ³ .dia ⁻¹) ³
Pequeno porte	Porte 1	< 1.250
	Porte 2	1.251 – 2.500
Médio porte	Porte 3	2.501 – 8.500
	Porte 4	8.501 – 12.500
	Porte 5	12.501 – 85.500
Grande porte	Porte 6	85.501 – 350.000
	Porte 7	> 350.000

Fonte: Adaptação de IEA Bioenergy (2014).

As plantas de biogás podem também ser classificadas segundo a origem do substrato que utilizam em agropecuária, indústria, aterro sanitário, estação de tratamento de esgoto e resíduos orgânicos, seguindo a classificação da IEA Bioenergy (2015). Em cada categoria é possível ainda classificar subcategorias detalhando a origem. Na Tabela 2 são apresentados os substratos mais comuns encontrados no Brasil para cada categoria e o potencial máximo de produção de metano. Importante considerar que a composição do biogás, ou seja, a quantidade de metano, varia bastante conforme o substrato, mas em média é cerca de 60 %.

Tabela 2. Capacidade de produção de biogás e características de substratos para produção de metano no Brasil (com base em sólidos voláteis).

Categoria	Substratos	m ³ CH ₄ .kg _{substrato} ⁻¹
Agropecuária	Palha de Trigo	0,148
	Resíduos da colheita de milho	0,081
	Resíduos da limpeza de grãos	0,267
	Silo de milho (planta verde)	0,097
	Dejetos de bovino de leite (com restos de ração)	0,014
	Dejetos de bovino	0,012 – 0,018
	Dejetos de suíno	0,025 – 0,030
	Esterco de galinha	0,042 – 0,054
Indústria	Vinhaça de cana-de-açúcar	0,006
	Torta de filtro de cana-de-açúcar	0,047
	Polpa de café	0,045
	Polpa da laranja	0,024
	Glicerina	0,423
	Efluente de cervejaria	0,0016
	Efluente de fábrica de laticínios	0,0011
Efluente de abatedouro	0,0014	
Resíduos sólidos urbanos (misturados)		0,041 – 0,094
Resíduos orgânicos	Resíduos orgânicos (separados)	0,044 – 0,089
	Restos de alimentos	0,059 – 0,097
	Resíduos de caixa de gordura	0,146 – 0,333
Estações de tratamento de esgoto	Lodo de esgoto flotado	0,336 – 0,980
	Esgoto	0,00072 – 0,00112

Fonte: CIBiogás (2018a).

³ Corresponde à vazão volumétrica medida nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) e todas as menções futuras de vazão volumétrica irão se referir a essa condição padrão.

Por fim, a aplicação energética dada ao biogás também é uma forma de categorizar as plantas. Assim, adaptando-se a classificação da IEA Bioenergy (2015), é possível categorizar o uso do biogás para geração de energia elétrica, calor, energia mecânica para bombeamento e biometano (gás similar ao gás natural).

2.2. Estudos de potencial de produção de energia renovável

Segundo Vries, Vuuren e Hoogwijk (2007), baseando-se no *World Energy Council Report-1994*, é possível classificar o potencial de energias renováveis em quatro categorias: potencial geográfico, potencial técnico, potencial econômico e potencial de implantação. O potencial geográfico tem relação com a quantidade disponível de energia em certa área. O potencial técnico corresponde ao potencial geográfico subtraído das perdas na conversão da energia. Já o potencial econômico refere-se à parte do potencial técnico que demonstra viabilidade econômica para ser aproveitada. E por fim, o potencial de implantação, ou seja, potencial de mercado, é o que realmente é realizável por questões de priorização de investimentos, culturais, etc.

É importante ressaltar que quando uma avaliação de potencial é realizada, considerações são feitas e cenários são elaborados para essa modelagem. Segundo os mesmos autores, isso gera algumas incertezas intrínsecas ao modelo em relação aos parâmetros utilizados, tais como:

- Parâmetros que são baseados totalmente em medições e observações científicas e que, para se reduzir as incertezas, podem ser feitas análises de sensibilidade e, ao mesmo tempo, ser melhorada a qualidade dos parâmetros ao longo do tempo.
- Parâmetros que dependem de interações complexas entre variáveis sociais, econômicas e técnicas, mas, para o qual, valores diferentes podem ser utilizados para fazer diferenciação significativa dentro de um contexto e de cenários com base em literatura existente.
- Parâmetros que também dependem de interações complexas entre variáveis sociais, econômicas e técnicas, mas que não é possível definir valores que as conectem. Nesse caso, um valor deve ser escolhido dentre todos os cenários.

No Quarto Relatório do Clima do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas⁴ (IPCC, 2008), o potencial de mitigação dos GEE foi classificado em quatro categorias, as quais também podem ser aplicadas à lógica de análise de potencial de energias renováveis. Assim, as seguintes categorias de potencial são definidas:

- de mercado, sendo o menor potencial (o que se espera que seja realizado considerando as políticas e condições de mercado);
- econômico (o que considera a análise de viabilidade de sua implantação);
- técnico (baseado na existência de tecnologias para sua realização, sem considerações explícitas de custos);
- e físico, sendo o maior potencial (também conhecido por teórico ou termodinâmico).

O estudo feito por Verbruggen et al. (2010) descreveu a conceituação de potencial de energias renováveis de cinco diferentes autores (visto no Quadro 1). A partir disso, os autores propuseram o uso das seguintes categorias: potencial técnico, potencial econômico, potencial de mercado e potencial de desenvolvimento sustentável. Para os autores, o potencial exequível para implantação em curto prazo é o de mercado, aumentando ao longo do tempo até chegar no potencial de desenvolvimento sustentável. Os mesmos autores indicam que o potencial de desenvolvimento sustentável é a produção de energias renováveis que seria gerada em uma situação em que os pilares da sustentabilidade fossem considerados de uma maneira holística e integrada. Isso contrasta com o mercado e as potencialidades econômicas, que levam em consideração apenas parcialmente as questões sociais e ambientais.

Quadro 1. Classificação de potencial de energias renováveis.

Classificação de potencial	Referência
Teórico, técnico, atual	RETD (2006)
Teórico, técnico, econômico, de implantação, de demanda	Krewitt et al. (2008)
Teórico, geográfico, técnico, econômico e de mercado	Hoogwijk e Graus (2008)
Teórico, técnico e econômico	Resch et al. (2008)
Teórico, técnico e realizável	Stangeland (2007)

Fonte: Verbruggen et al. (2010).

Analisando as diversas classificações de potencial de geração de energia, Resch et al. (2008) indicam que os potenciais técnico, econômico e realizável variam ao longo do tempo

⁴ Em inglês: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.

conforme as barreiras não econômicas, tecnológicas e de política e sociedade são superadas. A definição de cada tipo de potencial, segundo Resch et al. (2008), é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Categorias de potencial de geração de energia.

Potencial	Características
Potencial teórico	Também conhecido como potencial termodinâmico, representa o limite máximo de energia fisicamente disponível a partir de um recurso energético em uma determinada área e período de tempo. Esse potencial geralmente não considera restrições para a conversão e uso da energia disponível. Para sua obtenção, parâmetros físicos gerais devem ser considerados, como, por exemplo, o estoque ou fluxo de energia resultante da fonte energética em questão dentro da região investigada.
Potencial técnico	O potencial técnico é determinado considerando as condições da fronteira técnica, notadamente as perdas dos processos, limites das tecnologias de conversão e barreiras socioambientais, como a área disponível, eficiência de conversão e outras restrições. O cálculo do potencial técnico inclui muitas vezes limitações de natureza estrutural, ecológica, administrativas e sociais, bem como os requisitos legais. Para muitas fontes energéticas esse potencial precisa ser considerado em um contexto dinâmico – com mais investimento em P&D, por exemplo, as tecnologias de conversão podem ser melhoradas e, dessa forma, o potencial técnico poderia aumentar.
Potencial econômico	O potencial econômico é a parcela do potencial técnico que é economicamente rentável (ou atrativo para investidores) sob determinadas condições, incluindo obstáculos e incentivos (regulação, subsídios, taxas etc.) que afetam a rentabilidade atual e futura. Pode ser calculado com base nos empreendimentos já em operação e, em alguns casos, a partir dos custos comparativos de outras fontes e o potencial de mercado previsto (projeções econômicas). Em um contexto de avaliação de potencial de energias renováveis também pode ser entendido como o total de energia que pode ser gerada sem a necessidade de apoio ou intervenções adicionais às existentes no mercado.
Potencial realizável	A partir da utilização desses conceitos podem ser estimados os potenciais realizáveis de médio e longo prazo, assumindo-se a superação das barreiras existentes e a implementação dos incentivos necessários para a expansão dos investimentos e infraestrutura. Assim, parâmetros gerais como taxas de crescimento do mercado e restrições de planejamento devem ser levados em consideração. O potencial realizável também precisa ser visualizado em um contexto dinâmico, sempre tomando como referência um determinado ano.

Fonte: Adaptado de FEAM/MG (2014) e Resch et al. (2008).

Essas categorias de potencial são apresentadas em um esquema gráfico na Figura 2, demonstrando como é a evolução de cada uma ao longo do tempo.

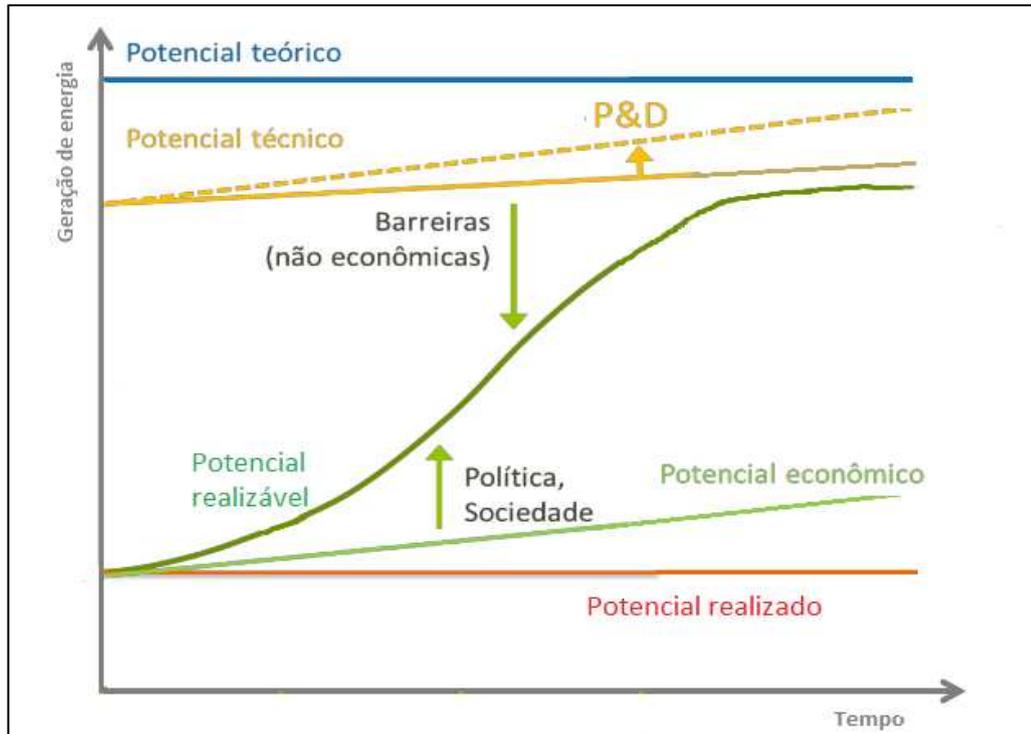


Figura 2. Categorias de potencial em relação à geração de energia.

Fonte: Adaptado de FEAM/MG (2014) e Resch et al. (2008).

Resch et al. (2008) afirmam que se nenhuma ação for tomada para a superação das barreiras existentes para o desenvolvimento de uma certa fonte de energia, o potencial realizado é sempre menor que todas as outras categorias, inclusive do potencial econômico. Nesse sentido, torna-se importante a existência de políticas de incentivo para que o potencial realizado se aproxime em valor do realizável e técnico.

2.3. Barreiras ao desenvolvimento e mecanismos de incentivo às energias renováveis

Analisando o desenvolvimento das energias renováveis, Müller, Brown e Ölz (2011) indicaram que existem basicamente os seguintes tipos de barreiras: técnico-econômicas; não econômicas; incertezas regulatórias e políticas; institucionais e administrativas; de mercado; financeiras; de infraestrutura; de falta de profissionais capacitados; e de aceitação pública e ambiental (Figura 3).

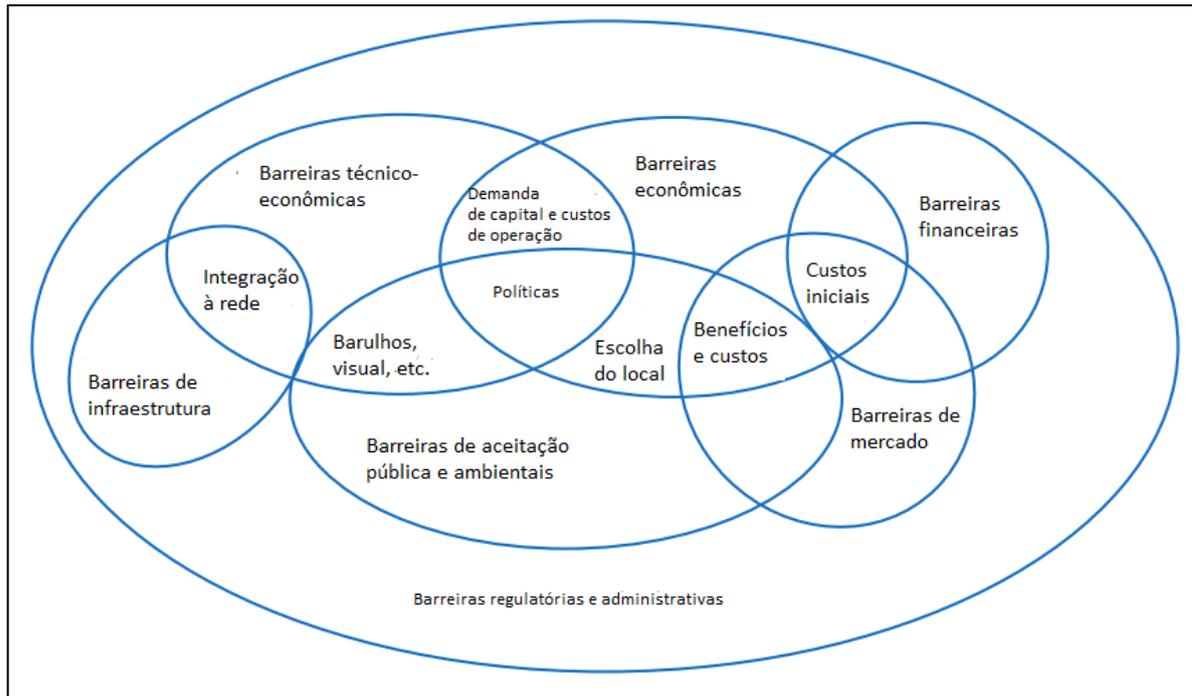


Figura 3. Tipos de barreiras para o desenvolvimento de energias renováveis.

Fonte: Adaptado de Müller, Brown e Ölz (2011).

Nota-se que diferentes tipos de barreiras podem estar relacionados, indicando que a superação de uma barreira pode apoiar a resolução de outras (MÜLLER, BROWN E ÖLZ, 2011). Dessa forma, é importante priorizar as barreiras a serem superadas e focar nessas para a definição dos mecanismos de incentivo.

Para superação dessas barreiras, KPMG (2015) considera que há diversos meios para incentivar e subsidiar as energias renováveis mundialmente, sendo que se referem basicamente a: leis e regulação; recursos para programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação; mecanismos de incentivo financeiro (como melhores preços, etc.); redução de impostos; e oferta de linhas de financiamento especiais (com juros reduzidos ou subsidiados, etc.). A eficácia desses mecanismos varia muito de país para país e se alcançam melhores resultados quando são aplicados conjuntamente.

Segundo Hahn e Jentsch (2012), os tipos de mecanismos de incentivo comumente utilizados para a produção de energia elétrica com biogás podem ser categorizados em diretos, que incentivam a implantação de novas plantas de biogás em curto prazo; e em indiretos, que focam em melhorar as condições de implantação a longo prazo. Também podem ser classificados em regulatórios e voluntários e em direcionados ao investimento ou à geração. Dessa forma, os tipos de incentivos existentes em cada uma dessas categorias são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3. Tipos de incentivo à energia elétrica de biogás.

TIPOS DE INCENTIVOS		Diretos		Indiretos
		Direcionados ao preço	Direcionadas à quantidade	
Regulatórios	Direcionados ao investimento	Incentivos de investimento Créditos fiscais Redução de juros/empréstimos em condições favoráveis	Sistema de concorrência para a concessão de investimento	Impostos ambientais Simplificação de procedimentos de autorização e licenciamento
	Direcionados à geração	Tarifas <i>feed-in</i> Sistema de pagamento fixo	Sistema de concorrência para contratos de longo prazo Sistema de certificados verdes transacionáveis	Encargos de conexão, custos de compensação
Voluntários	Direcionados ao investimento	Programas de acionistas Programas de contribuição	-----	Acordos voluntários
	Direcionados à geração	Tarifas verdes	-----	-----

Fonte: Hahn e Jentsch (2012).

Os mecanismos regulatórios direcionados ao investimento com o objetivo de redução do preço de certa fonte de energia renovável são: incentivos ao investimento (paga-se um valor durante o período de instalação da planta, que normalmente é proporcional à capacidade instalada); créditos fiscais (isenções ou deduções fiscais); e redução de juros/empréstimos em condições favoráveis (empréstimos com taxas de juros reduzidas ou prazo de pagamento estendido).

Para redução do preço, há também os mecanismos direcionados à geração de energia, como a tarifa *feed-in*, em que se paga uma tarifa fixa e subsidiada pela energia gerada por um período pré-determinado. Segundo Hahn e Jentsch (2012), esse é um dos sistemas mais utilizados para incentivo pela sua eficiência, pois torna os investimentos mais atrativos e menos arriscados. O cálculo da tarifa é feito com base nos custos de produção da energia e normalmente há a sua redução progressiva para incentivar a diminuição de custos das tecnologias e garantir mais investimentos nos primeiros anos da criação do incentivo.

Nessa mesma categoria de incentivo à geração de energia por redução de preço há o sistema de pagamento fixo. Esse sistema prevê o pagamento de um prêmio fixo pela capacidade instalada da planta. O valor recebido pela energia gerada é menos previsível do que no sistema *feed-in*, porém acaba por gerar maior coerência entre os preços da geração e de mercado.

Também para incentivar o investimento, mas focado na quantidade de energia a ser gerada, há o sistema de concorrência para a concessão de apoio ao investimento. Outro mecanismo focado na quantidade de energia, mas no sentido de incentivar a geração é o sistema de concorrência para contratos de longo prazo, em que são feitos leilões de venda de energia

com o objetivo de selecionar os empreendimentos que ofertem a menor tarifa, a qual é garantida em um contrato de longo prazo.

O sistema de certificados verdes transacionáveis também é um mecanismo de incentivo baseado na geração e na quantidade de energia. Nesse sistema a energia gerada a partir de fontes renováveis é premiada com um certificado que é comercializado em um mercado paralelo. Hahn e Jentsch (2012) explicam que a vantagem é que a quantidade de certificados emitidos pode variar de acordo para cada tipo de energia gerada, incentivando a geração por fontes ainda em desenvolvimento. Um exemplo é da Itália em que a quantidade de certificados varia pelo tipo de substrato utilizado para a produção de biogás. Assim, uma empresa que não consiga ou queira usar fontes renováveis, pode comprar certificados no mercado, incentivando a produção por outros geradores.

Um dos mecanismos diretos executados voluntariamente é o programa de acionistas, que se refere ao uso de energias renováveis para demonstrar que a empresa é sustentável e, assim, atrair mais acionistas. Nesse sentido, há também os programas de contribuição, em que empresas e sociedade civil fazem doações para viabilizar o uso de fontes renováveis. O terceiro tipo de mecanismo direto voluntário é o de tarifas verdes, ou seja, tarifas de energia mais caras para o consumidor final para viabilizar a geração de energias renováveis.

Como mecanismos indiretos há os impostos ambientais, que incidem sobre a produção de energia com combustíveis fósseis ou sobre as emissões de CO₂. É possível também incentivar as energias renováveis por meio da remoção de subsídios aos combustíveis fósseis e à energia nuclear. Outros mecanismos são: simplificação de procedimentos de autorização e licenciamento e redução de encargos e custos para geração e compensação de energias renováveis.

Segundo Hahn e Jentsch (2012), há ainda diversos mecanismos de incentivo ao uso de biogás na geração de energia elétrica em nível internacional como o financiamento de plantas, financiamento de pesquisa e desenvolvimento e recursos para governos planejarem e implementarem programas de incentivo.

Os mecanismos de incentivo a qualquer tecnologia podem obter resultados diferentes dependendo da região, das tecnologias, dos setores da economia e de outras características do ambiente ao qual se aplicam. Segundo Müller, Brown e Ölz (2011), os mecanismos de incentivo devem se adequar ao nível de maturidade da tecnologia e do mercado nacional e à situação do mercado global para a tecnologia. Na Figura 4 é apresentado um esquema que relaciona os mecanismos aplicáveis em três níveis de maturidade das tecnologias: arranque, decolagem e consolidação.

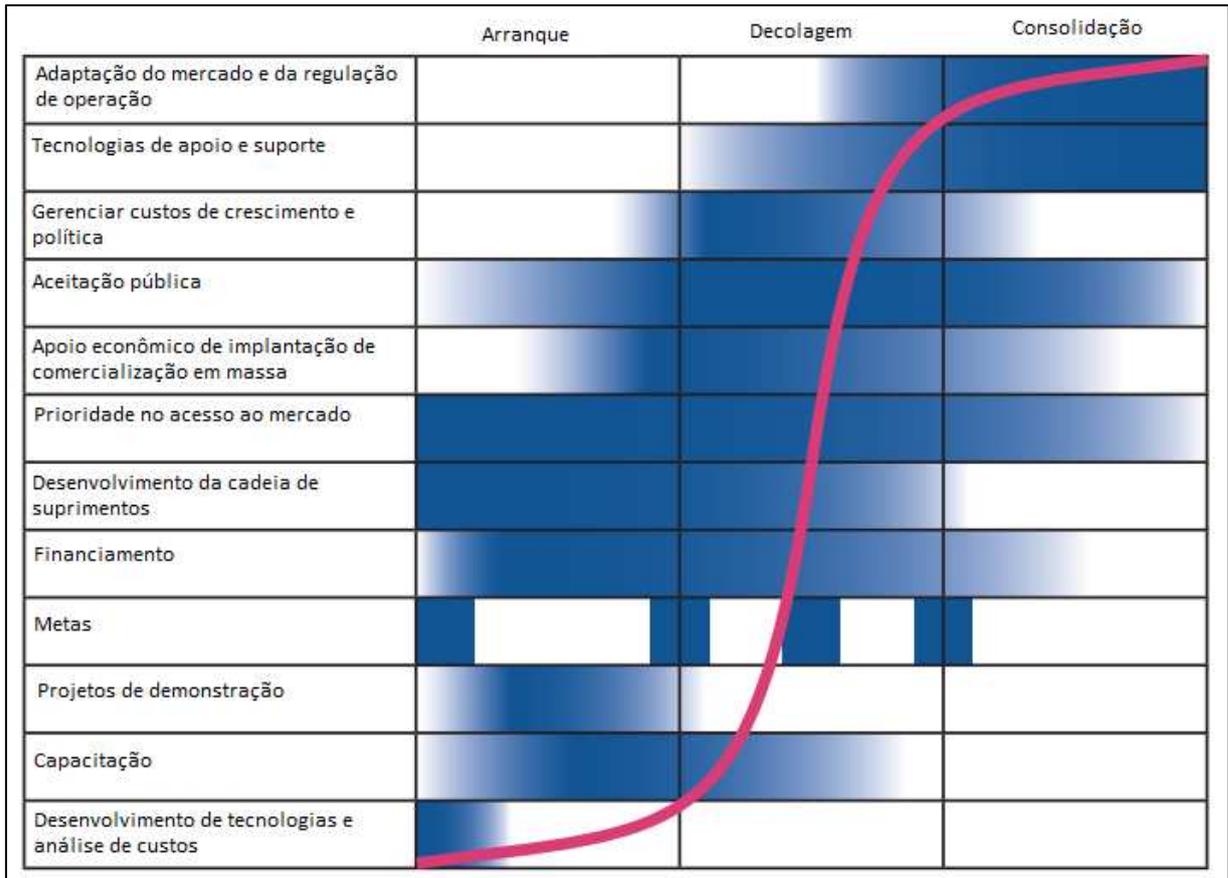


Figura 4. Barreiras para a produção de energias renováveis segundo maturidade da tecnologia.

Fonte: Müller, Brown e Ölz (2011).

Pode-se considerar que parte do setor de biogás do Brasil está na etapa de arranque, especialmente para substratos da agropecuária e pequena escala, porém outra parte está na etapa de consolidação, por exemplo, para os aterros sanitários e indústrias. Isso será explorado ainda nesse estudo, mas se observa que há barreiras relacionadas ao desenvolvimento de tecnologias, capacitação, existência de projetos de demonstração, metas, financiamento, desenvolvimento da cadeia de suprimentos e de prioridade de acesso ao mercado. Essas barreiras estão fortemente ligadas à necessidade de aprendizado e amadurecimento da tecnologia e apoio para entrada do mercado. Nessa fase de arranque, a produção de biogás ainda é pequena em comparação com seu potencial, o que é indicado na Figura 4 pela linha vermelha.

Nesse sentido, é importante compreender que mesmo na fase de decolagem do uso de uma fonte de energia, ainda existem barreiras a serem superadas para sua consolidação. Daí a necessidade de se observar em qual fase de desenvolvimento o biogás está para propor mecanismos de incentivo efetivos e eficazes.

2.4. Diagnóstico do setor de biogás na Europa

Os países europeus são líderes nas discussões sobre as mudanças no clima e a necessidade de redução de emissões de GEE. Por isso, assumiram metas de redução de 8% dessas emissões em relação às de 1990 por meio do Protocolo de Quioto em 1997.

Desde então, em busca de cumprir as metas assumidas, os países europeus vêm incentivando o uso de fontes renováveis de energia em substituição às fontes fósseis, além de medidas de eficiência energética, integração entre os sistemas energéticos dos países, uso de veículos elétricos e uso de tecnologias de informação e comunicação para integração dos sistemas elétricos, entre outras medidas (JOAS et al., 2016; SÜHLEN e HISSCHEMÖLLER, 2014).

Além disso, o biogás também é visto como uma forma de reduzir a dependência dos países europeus em relação ao gás natural proveniente da Rússia e, assim, aumentar a segurança energética.

Outro fator que corroborou para o crescimento do setor de biogás europeu foi o uso de cultivos energéticos como substrato do processo de biodigestão. Os mecanismos de incentivo ao biogás, principalmente a tarifa *feed-in*, tornou viável o uso de milho e outros grãos para a produção de biogás, além dos resíduos. Tudo isso permitiu o aumento da produção e possibilitou a continuidade do crescimento do uso do biogás nos países europeus, especialmente na Alemanha e Áustria (ENGDAHL, 2010).

Nesse sentido, o biogás é uma das fontes de energia que teve seu uso incrementado nos últimos anos na Europa, especialmente nos países mencionados e na Suíça, Itália, Suécia e Reino Unido, por meio de diversos incentivos econômicos e regulatórios.

Dessa forma, nesse trabalho optou-se por focar a análise do panorama do setor europeu de biogás em detrimento de outros países como Estados Unidos, que possuem desenvolvimento do setor, mas ainda bastante incipiente. Também se decidiu por não analisar o setor de biogás da China e Índia, pois a grande maioria dos biodigestores desses países é de escala doméstica, diferindo do objeto desse trabalho, que são os biodigestores de escala produtiva.

2.4.1. Dados de produção de biogás na Europa

A disputa comercial pelo gás natural que ocorreu entre Rússia e Ucrânia, em 2009, colocou em risco o trânsito desse combustível entre Rússia e países da Europa, e motivou esses países consumidores a criar incentivos e políticas públicas para o biogás e o biometano como forma de reduzir a dependência externa. Essa motivação se somou às metas de redução de emissões de GEE assumidas pela Europa, criando um mercado favorável para o biogás como já mencionado (BACHMANN e WELLINGER, 2012).

Assim, em 2016, havia mais de 17 mil plantas de biogás na Europa (EBA, 2018), um crescimento de quase três vezes desde 2009 (Figura 5), ano em que a União Europeia definiu metas de redução de emissão de GEE para o setor energético. Nesse período diversos países implantaram mecanismos de incentivo ao biogás, o que tornou viável esse crescimento, principalmente utilizando cultivos energéticos, como já comentado.

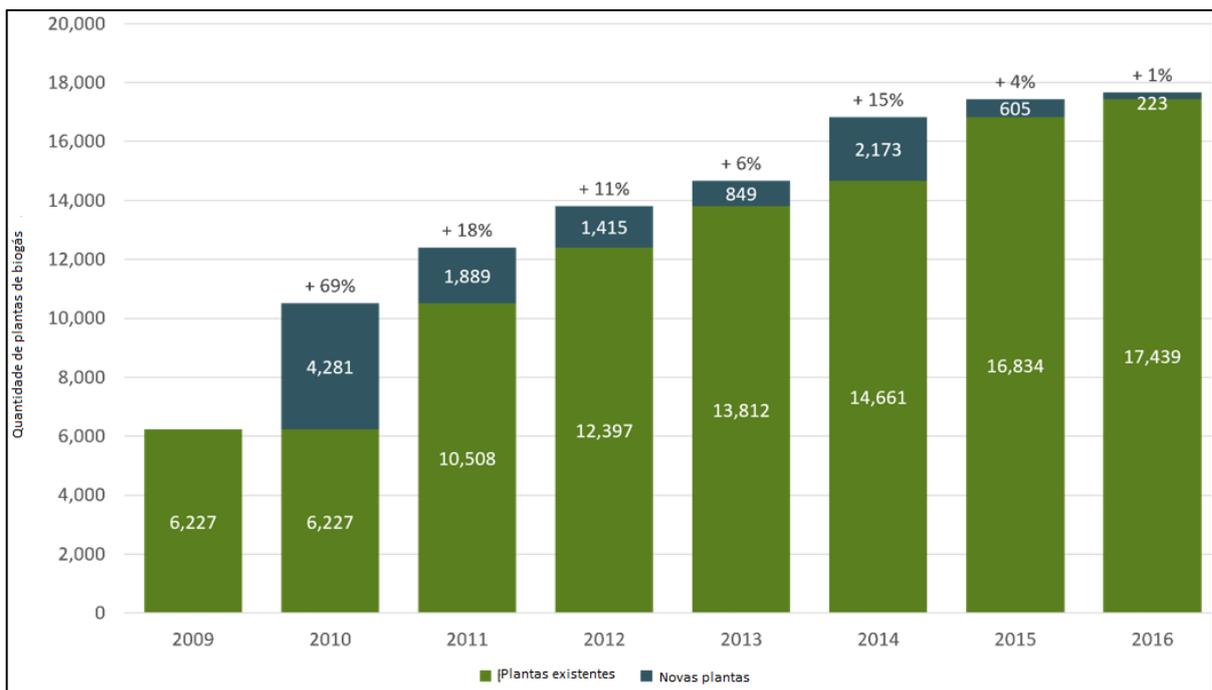


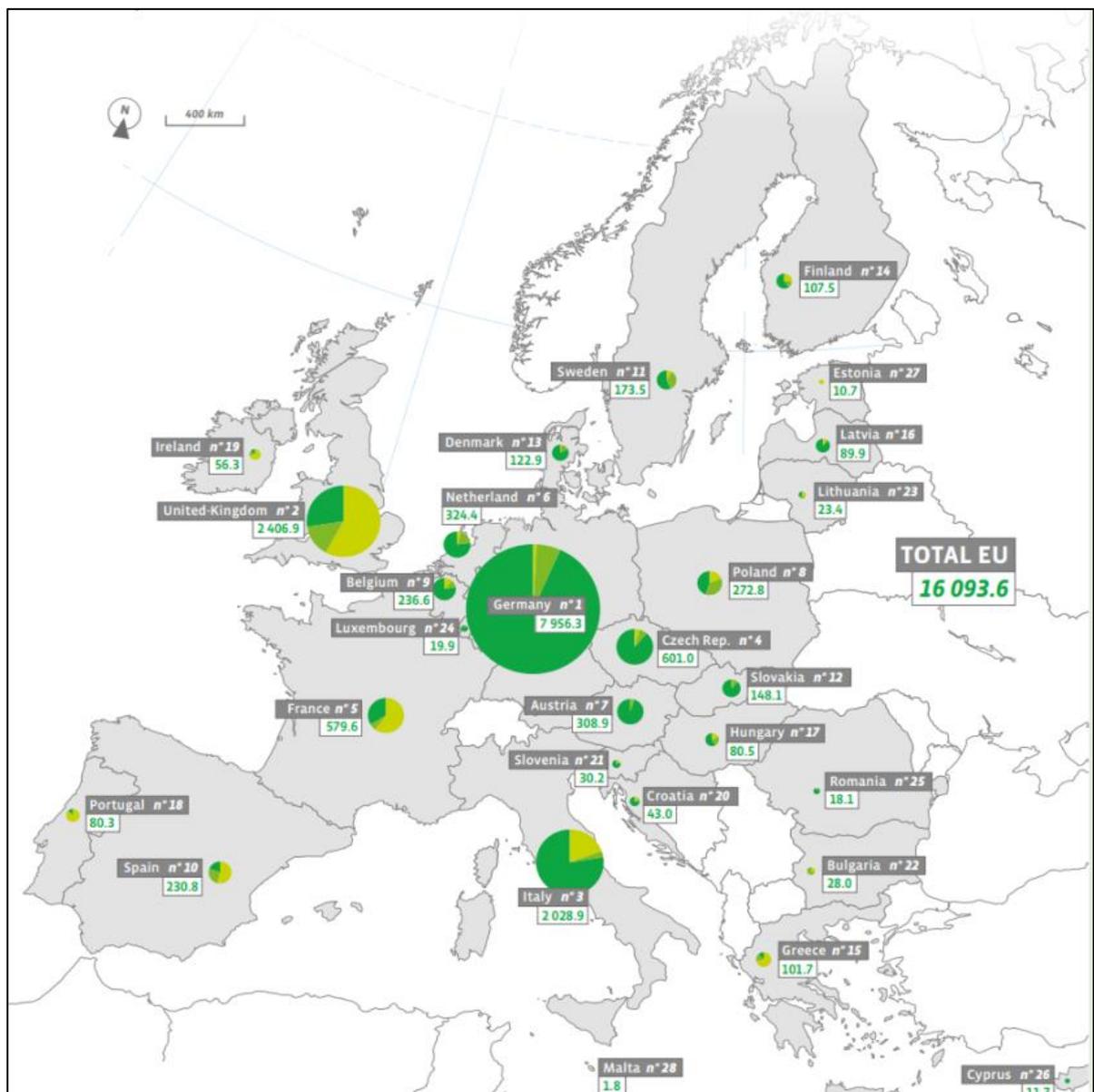
Figura 5. Crescimento da quantidade de plantas na Europa.

Fonte: EBA (2018)

Apesar da grande quantidade de plantas de biogás existentes na Europa, é possível observar a redução da taxa de crescimento desde 2010. Segundo Bochmamm (2018), isso se deve principalmente à redução dos subsídios tarifários oferecidos pelos governos especialmente para a geração de energia elétrica.

Segundo EBA (2018), em 2016, 12.496 plantas utilizaram substratos provenientes da agricultura, 2.838 utilizaram lodo de esgoto, 1.604 eram de aterros sanitários e 688 utilizaram outros resíduos.

A produção primária de biogás na União Europeia em 2016 foi de cerca de 16 Mtep, segundo EUROBSERV'ER (2017). Nesse caso, Alemanha, Reino Unido e Itália foram os líderes em produção de biogás, respectivamente. No mapa da Figura 6 são apresentados os dados de produção de biogás dos 28 países da União Europeia.



Apesar de a quantidade de plantas de biogás na Europa ter quase se estabilizado desde 2015, a capacidade elétrica instalada continuou crescendo, segundo a EBA (2018). A razão para o aumento dessa capacidade pode ser relacionada ao aumento da eficiência de produção de biogás das plantas, o que está diretamente ligada à melhoria da operação das plantas, quantidade de horas de operação, capacitação dos operadores e um ajuste da mistura de substratos, entre outros fatores (BOCHMAMM, 2018). Como esses fatores interferem no retorno financeiro das plantas, provavelmente promoveram o maior incentivo para o aumento da eficiência. Entre 2010 e 2016, o crescimento da capacidade elétrica instalada foi de 140 %, sendo que o ano com maior incremento foi 2012, como se verifica na Figura 7.

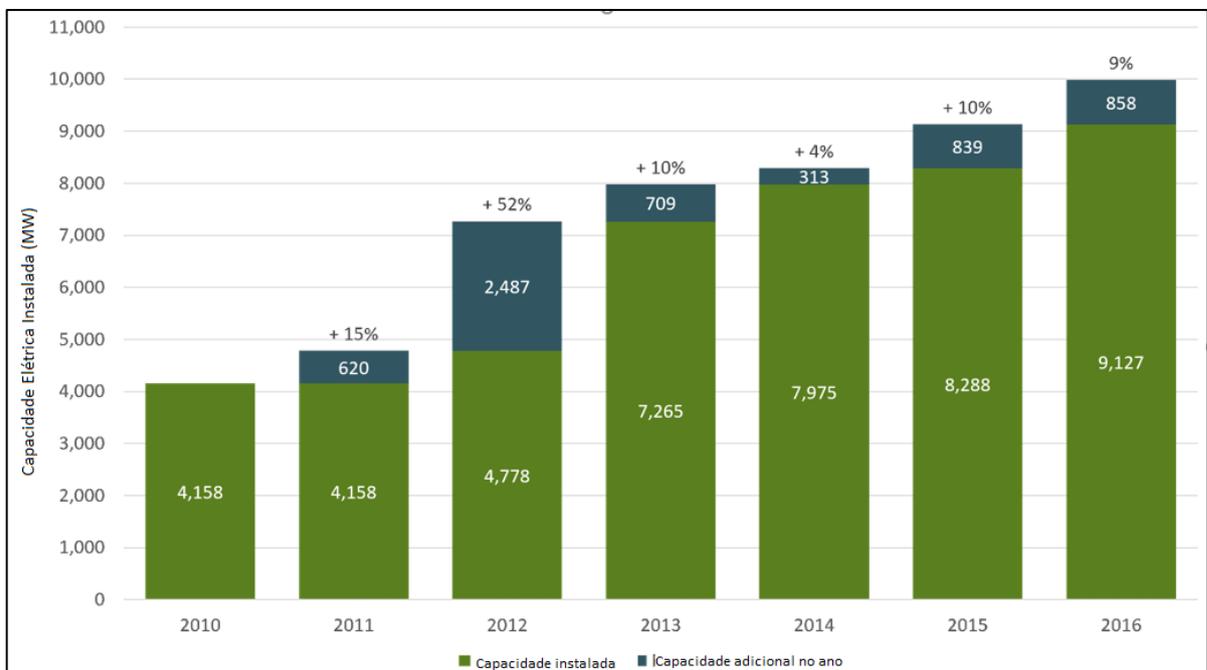


Figura 7. Crescimento da capacidade elétrica instalada (MW) de biogás na Europa.

Fonte: EBA (2018)

Apesar do crescimento dessa capacidade instalada para uso de biogás diretamente, a tendência do setor de biogás parece ser o crescimento da produção de biometano para uso veicular e para injeção na rede de gás natural. A produção europeia em 2016 foi de mais de 17 mil GWh, sendo que em 2011 era de 752 GWh, o que demonstra um crescimento rápido do setor em 5 anos (Figura 8). No final de 2016, havia 480 plantas injetando biometano na rede em toda a Europa, segundo IEA Bioenergy (2015).

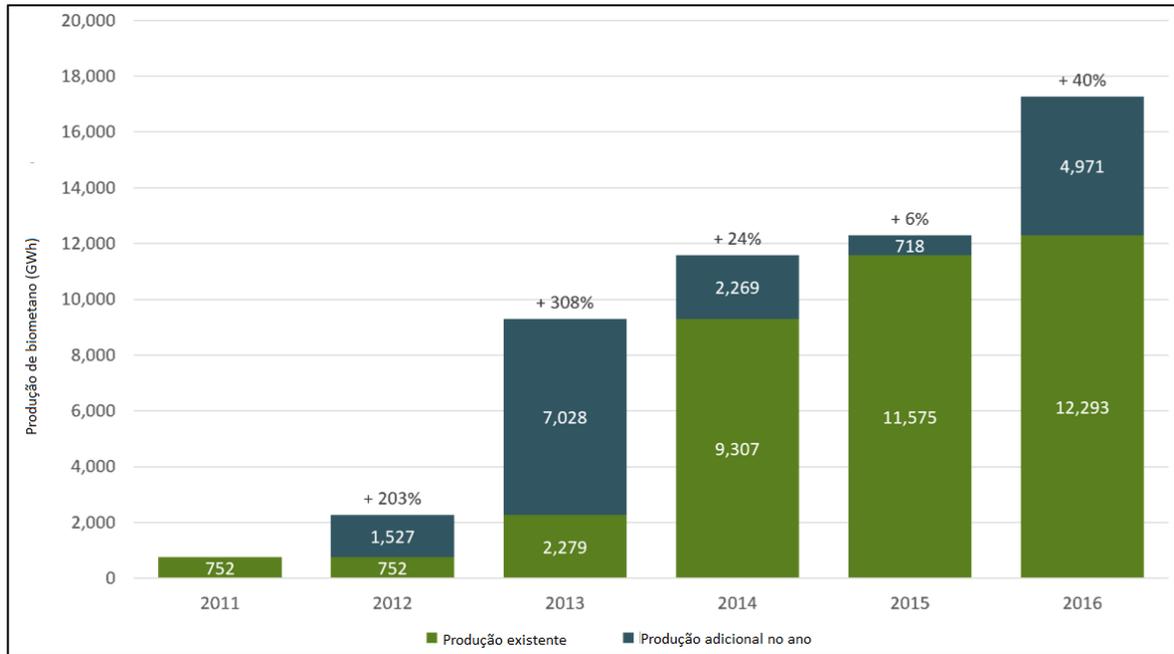


Figura 8. Crescimento da produção de biometano na Europa (GWh).
Fonte: EBA (2018)

Os países que possuíam maior produção de biometano na Europa em 2017 foram: Alemanha (900 GWh), França (133 GWh) e Suécia (78 GWh) (EBA, 2018). Segundo a IEA Bioenergy (2015), em 2015, a Alemanha tinha 188 plantas de biometano em operação com capacidade de injeção de $110.310 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na rede de gás natural.

Os substratos utilizados para a produção de biogás variam entre os países europeus. Em 2015, na Alemanha, Áustria, Holanda, Dinamarca e França a maioria das plantas utilizavam substratos provenientes da agricultura, indústrias e resíduos orgânicos. Suíça e Suécia tinham uma quantidade expressiva de plantas de biogás de sistemas de tratamento de esgoto e no Reino Unido as plantas eram predominantemente de aterros sanitários, de agricultura, resíduos orgânicos e indústrias, nessa ordem decrescente (Figura 9).

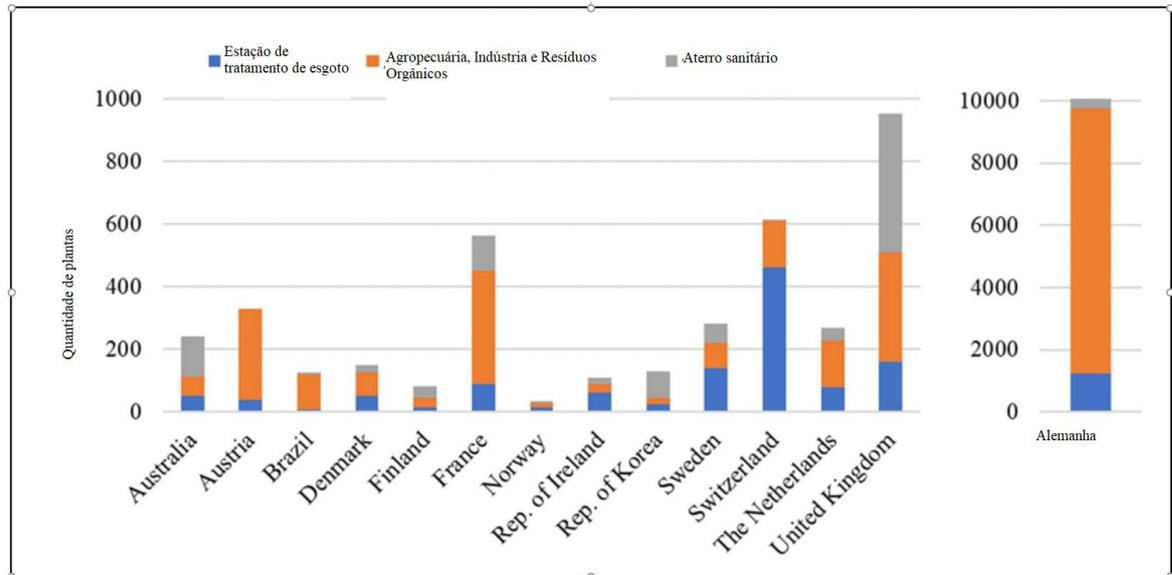


Figura 9. Quantidade de planta de biogás em operação em 2015, segundo substratos utilizados.

Fonte: IEA Bioenergy (2014)

2.4.2. Mecanismos de incentivo ao biogás na União Europeia

Os mecanismos mais comuns de incentivos governamentais para a implantação de plantas de biogás na Europa são as tarifas *feed-in*, subsídios de investimentos e isenções fiscais, todos já definidos na Seção 2.3 (IEA BIOENERGY, 2015).

Um estudo sobre os mercados de biogás da Europa foi publicado pelo consórcio AEBIOM a partir do projeto coordenado pela Associação Europeia de Biomassa. Com a consulta a diversas empresas do setor de bioenergia, foram levantados os fatores que influenciam o setor de biogás. Ao final, identificou-se 50 critérios relevantes, resumidos em oito principais categorias: Dados Básicos dos Países; Políticas Energéticas; Substratos; Modelos de Negócios; Ambiente de Mercado; Regulação; Financiamento; e Facilidade de Captação e Implantação. Assim, foram criados indicadores e definidos pesos para avaliar os critérios, resultando em notas para cada país. Analisando os oito critérios, o resultado do estudo classificou os dez melhores países/mercados para o biogás e o biometano. Para ambos os mercados, os três primeiros colocados foram Eslováquia, Itália e Alemanha (AEBIOM, 2012).

Em um estudo da KPMG (2015) foram analisados os incentivos a energias renováveis em diversos países da Europa, com dados referentes a 2013, e o principal resultado apresentado é o do Quadro 4.

Quadro 4. Resumo dos esquemas de incentivo a energias renováveis na Europa.

País	Metas para energias renováveis		Políticas regulatórias						Incentivos fiscais e financiamento público				
	Tarifa feed-in	Cota obrigatória de uso em plantas de energia elétrica	Sistema de compensação de energia elétrica	Certificados comercializáveis	Leilões	Obrigação de uso do calor em plantas de geração elétrica	Obrigação de uso de biocombustíveis	Subvenções de capital	Créditos de impostos para investimento ou produção	Redução de impostos	Pagamento pela geração de energia	Investimento, financiamento ou subvenção públicos	
Áustria	N	N		N			N	N	N			N	
Bélgica	N		S	S	N	N		N	N	N		N	
Croácia	N	N					N						
Dinamarca	N	N		N	N	N		N	N	N		R	
Estônia	N	N					N				N	N	
Finlândia	N	N			N			N		N	N		
França	R	R			N	R		N	R	N		N	
Alemanha	N	R					N	N	N	N		N	
Grécia	N	R		*				N	N	N		N	
Irlanda	N	N			N	N	S						
Itália	N	R	N	N	N	R	N	N	N	N		N	
Letônia	N	N		*		N				N			
Lituânia	N	R	N					N				N	
Luxemburgo	N	N						N					
Malta	N	N		N				N		N			
Holanda	N	R		R	N			N	N	N	N	N	
Noruega	N		N		N	*		N	N			N	
Polónia	N		N		N	R				N		N	
Rússia	*					*		N					
Eslováquia	N	R			N					N			
Eslovênia	N	N			N	N			N	N		N	
Espanha	N			N	N			N	N		N		
Suécia	N		N		N			N	N	N		N	
Suíça	N	N						N		N			
Reino Unido	R	R	N		N		N	N	R		N	N	

N: Existente em nível nacional; S: existente em nível subnacional; *: Novo; R: Revisado.

Fonte: KPMG (2015).

Como pode ser visto, todos os países da Europa possuem metas de redução de emissões de GEE, sendo esse um dos principais fatores motivadores dos países na implantação de mecanismos de incentivo às fontes de energias renováveis. Além disso, há a necessidade de atendimento da crescente demanda de energia nos países. Nesse sentido, as tarifas *feed-in* são a política regulatória mais aplicada nos países, além da obrigação de uso de biocombustíveis e os certificados verdes comercializáveis. A Alemanha, país com maior produção de biogás da Europa, aplica a tarifa *feed-in* como política regulatória de incentivo, o que demonstra a efetividade desse mecanismo. Porém, esse mecanismo gera custos para o Estado e para o

consumidor, sendo uma política que demanda disposição da população. No caso dos incentivos fiscais e de financiamento público, destacam-se os mecanismos de subvenções de capital e redução de impostos.

Engdahl (2010) também analisou as estratégias da Espanha, Alemanha e Suécia em relação às políticas de incentivos para o biogás em cada país, classificando-as como medidas de apoio econômico, de apoio orientado ao conhecimento e medidas adicionais. Como resultado, o Quadro 5 mostra a existência ou não dessas estratégias nos três países.

Quadro 5. Incentivos à produção e ao uso do biogás em três países da Europa.

Mecanismos de apoio econômico	Suécia	Alemanha	Espanha
Subsídios para investimento	X	X	X
Empréstimos favoráveis ao investimento		X	X
Tarifas feed-in		X	X
Certificados verdes	X		
Apoio indireto pela taxação de combustíveis fósseis	X	X	
Apoio adicional para plantas de pequena escala		X	X
Incentivo para uso de dejetos	X	X	X
Contrapartida financeira para uso de resíduos			X
Incentivo para uso de cultivos energéticos		X	
Conhecimento	Suécia	Alemanha	Espanha
Apoio por meio da informação	X	X	X
Produção de biogás – parte do plano nacional de desenvolvimento rural	X	X	X
Produção de biogás – um meio de tratamento do dejetos	X	X	X
Benefícios adicionais	Suécia	Alemanha	Espanha
Acesso prioritário à rede elétrica		X	X
Acesso prioritário à rede de gás natural		X	
Condições preferenciais para veículos a gás	X		
Rede extensiva de aquecimento urbano	X		

Fonte: Engdahl (2010).

De acordo com o Quadro 5, observa-se que todos adotaram medidas de subsídios ao investimento, mas apenas a Alemanha e a Espanha possuíam tarifas *feed-in* para energia elétrica. A Suécia optou por um programa de certificados verdes para a energia elétrica e de incentivos ao uso de biometano veicular.

A conclusão foi que, apesar dos três países terem diversas medidas de incentivo, a Alemanha se destacou pois adotou incentivos mais vantajosos que os demais países, como por exemplo uma tarifa de *feed-in* para energia elétrica dez vezes maior que da Suécia e três vezes maior que da Espanha (ENGDAHL, 2010) e, por consequência, a produção de biogás era muito superior que os demais, sendo 35 vezes maior que a Suécia e 18 vezes maior que da Espanha.

Assim, o autor considera que a aplicação da tarifa *feed-in* para energia elétrica mais atrativa e o incentivo ao uso de cultivos energéticos foram fatores fundamentais para o crescimento do setor de biogás, que se reflete na produção existente atualmente. No caso da Suécia, observa-se que o foco foi a substituição dos combustíveis veiculares diretamente, sendo que o país é referência nesse uso. Porém, nem Espanha e nem Suécia, apesar de terem aplicado mecanismos parecidos em alguns casos, obtiveram o sucesso da Alemanha no crescimento do setor de biogás.

Dessa forma, é importante levar em conta o sucesso da política de tarifas *feed-in* para energia elétrica de biogás na Alemanha e o seu impacto positivo na cadeia de suprimento do biogás. No entanto, também deve-se destacar o alto custo para o governo que um incentivo como esse pode causar, sendo necessário que se analise qual a disposição de um país para arcar com os investimentos.

Dentre os países membros da Associação Europeia de Biogás, os incentivos concedidos aos operadores de plantas de biogás eram diferenciados em cada país em 2014. Por exemplo, na Suíça o incentivo foi de 328 EUR/MWh para usinas de até 50 kWel, com bônus para o uso de resíduos agrícolas e bônus para utilização de cogeração; na Itália foi de 280 EUR/MWh; na Grécia, de 253 EUR/MWh para usinas abaixo de 3 MW e sem outra forma de subvenção da União Europeia; na Letônia usinas de até 80 kW com atendimento dos índices de eficiente recebiam incentivos de 251 EUR/MWh; na Alemanha o incentivo foi de 250 EUR/MWh para usinas de até 75 kWel, com bônus para utilização de dejetos e produção de biometano; e na Bulgária era de 232 EUR/MWh (EBA, 2014).

Uma clara correlação entre o sistema de apoio financeiro e a forma como o biogás é utilizado é evidente nos países membros da *Task 37*⁵, segundo a IEA Bioenergy (2014). No Reino Unido e na Alemanha, as tarifas *feed-in* para energia elétrica levaram a um crescimento desse uso, enquanto o sistema com isenção de impostos na Suécia favoreceu a utilização do biogás como combustível veicular. Com os benefícios oferecidos, a injeção de biometano na rede de gás natural também está crescendo na França, na Dinamarca e no Reino Unido, como indicado pela IEA Bioenergy (2014).

⁵ A *Task 37* é um grupo de trabalho da Internacional Energy Agency (IEA) que abrange a digestão anaeróbica (DA) de matérias-primas de biomassa, incluindo resíduos agrícolas (por exemplo, estrume e resíduos vegetais), culturas energéticas, águas residuais orgânicas, a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (OFMSW) e resíduos orgânicos industriais. Os principais interesses são a produção de biogás para uso direto de calor e energia, modernização de biogás para biometano, aproveitamento de biogás / biometano para balanceamento de eletricidade e digestão de alta qualidade que pode ser usado como biofertilizante. A *Task 37* aborda toda a cadeia de produção de biogás, desde a coleta de matérias-primas e o pré-tratamento até a modernização do biogás, a aplicação do biofertilizante e a sustentabilidade da cadeia de processo. Os países membros da *Task 37* são Alemanha, Austrália, Áustria, Brasil, Dinamarca, Finlândia, França, Holanda, Irlanda, Noruega, Suécia, Suíça e Reino Unido (IEA BIOENERGY, 2014).

No entanto, o apoio ao biogás sofreu algumas mudanças nos últimos anos em muitos países europeus, seguindo uma tendência de redução e revisão dos mecanismos de incentivo. Na Alemanha, desde 2017 foram implantados os leilões específicos por fontes renováveis de energia, com um prêmio máximo de mercado definido e até uma capacidade máxima definida para cada fonte. A tarifa *feed-in* ainda se aplica à produção de biogás, dependendo da matéria-prima usada e da capacidade da planta, mas com um valor decrescente, segundo Scarlat et al (2018).

Na Áustria, o sistema de subsídios foi alterado para que as tarifas *feed-in* sejam concedidas para a eletricidade de biogás geradas em cogeração e se uma parcela mínima de 30% do substrato for de dejetos, variando conforme a matéria-prima utilizada e a capacidade e a eficiência da planta. Assim, segundo Scarlat et al. (2018), as mudanças na legislação europeia para o biogás mostram uma tendência de redução dos subsídios às usinas de biogás, o que pode levar a um desenvolvimento mais lento no setor de biogás devido à economia desfavorável.

2.4.3. Barreiras e propostas para o setor de biogás na Europa

Apesar do desenvolvimento do setor de biogás na maioria dos países da Europa estar bastante avançando, ainda há barreiras para seu crescimento e consolidação. Engdahl (2010) apresentou uma análise das barreiras à produção e uso de biogás na Suécia, Alemanha e Espanha. As barreiras foram categorizadas entre barreiras econômicas, barreiras de políticas públicas e barreiras relacionadas ao refino de biogás e biometano, conforme apresentado no Quadro 6.

Analisando os resultados, observa-se que a Alemanha, país que teve maior crescimento no setor de biogás da Europa, era o país com menos barreiras econômicas e de políticas públicas. Já a Espanha, país que ainda não tem um setor de biogás tão desenvolvido quanto Suécia e Alemanha, possui diversas barreiras econômicas e de políticas públicas e ainda não possui um mercado de biometano.

Quadro 6. Barreiras para a produção e uso do biogás na Europa.

Barreiras econômicas	Suécia	Alemanha	Espanha
Alto investimento	X	(x)	X
Falta de perspectiva de longo prazo para investimento	X		(x)
Baixa rentabilidade na venda de energia elétrica	X		
Uso do calor produzido	(x)	(x)	(x)
Conhecimento limitado sobre valor do digestato	X		X
Investimentos limitados pela crise econômica		(x)	X
Custo adicional no manejo do substrato	(x)		X
Dificuldades logísticas resultante da dispersão do substrato	X		
Políticas públicas	Suécia	Alemanha	Espanha
Burocracia e dificuldade de obter permissões e licenças	(x)		(x)
Políticas e mecanismos de apoio instáveis	X		X
Falta de aceitação pública e de tecnologia		X	(x)
Refino do biogás e biometano	Suécia	Alemanha	Espanha
Mercado imaturo	X	(x)	-
Custo de refino (<i>upgrading</i>)	X	X	-
Falta de infraestrutura e capacidade de armazenagem	X		-
Falta de postos de abastecimentos	X	X	-
Competição com gás natural	(x)	X	-

“X” significa que a barreira existe, “(x)” barreira existente, mas com pouca significância e “-” significa que o mercado de biometano não existia na Espanha na época do estudo.

Fonte: Engdahl (2010)

Segundo a EBA (2013a), especificamente para o biometano, algumas das barreiras que se observam para o crescimento da produção e uso na Europa são: incentivos financeiros insuficientes, falta de cooperação transfronteiriça, falta de padrões de qualidade comuns para a Europa para injeção na rede de gás, estrutura para uso de gás combustível insuficiente e falta de reconhecimento político.

Assim, em outro estudo, a EBA (2013b) indicou que as condições-chaves para aproveitar o potencial de biometano na Europa são:

- os esquemas nacionais de suporte e incentivo às energias renováveis devem tratar o “gás verde” (biometano) da mesma forma que tratam “eletricidade verde”;
- os Planos de Ação Nacionais para Renováveis devem ser ampliados no sentido de ter uma seção específica sobre biometano, quantificando as metas e determinando as medidas necessárias para atingi-las;
- o biometano importado (devidamente certificado) deve receber tratamento igual (mesmos subsídios e incentivos) ao produzido no mercado nacional;
- registros nacionais sobre o biometano devem ser implantados em todo país que possui produção de biometano;

- os registros nacionais de biometano devem ser desenvolvidos dentro de uma cooperação europeia com coordenação e harmonização das atividades;
- a rede de gás natural europeia deve ser declarada como única, como uma unidade única e fechada de balanço de massa.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA PARA O DIAGNÓSTICO DO SETOR DE BIOGÁS NO BRASIL

Diante do estudo apresentado no Capítulo 2 e da necessidade de conhecer detalhadamente o setor de biogás para analisar e propor medidas de incentivo ao seu uso, foi realizado o diagnóstico do setor de biogás no Brasil. Através da adoção de uma metodologia de pesquisa foi possível levantar todos os dados disponíveis, tais como fonte, escala, produção, localização, etc. Essa metodologia possui três etapas, detalhadas a seguir. A primeira etapa foi composta por um levantamento qualitativo das características do setor de biogás. A segunda etapa envolveu a análise de potencial de produção do biogás no Brasil e a terceira etapa, o levantamento das plantas existentes no País. A segunda e, especialmente, a terceira etapa da metodologia envolveram uma análise quantitativa de dados.

3.1. Metodologia para levantamento do contexto do setor de biogás

Para a análise qualitativa do setor de biogás do Brasil foi realizado um levantamento de informações categorizadas da seguinte forma: projetos de pesquisa e desenvolvimento; ambiente regulatório; políticas públicas; iniciativas do setor privado; fontes de financiamento; tecnologias para biogás no Brasil; e modelos de negócio.

Para o levantamento do potencial de produção de biogás do Brasil foi realizada uma pesquisa sobre estudos publicados em relatórios, livros e artigos científicos em mecanismos de busca e em sites de órgãos do governo em nível nacional e estadual; de agências reguladoras como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); associações relacionadas ao biogás e aos resíduos sólidos; instituições de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e instituições financeiras e empresas privadas. O levantamento foi realizado entre fevereiro e dezembro de 2014 e, posteriormente, atualizado entre janeiro e março de 2018 para incluir ações realizadas desde 2014 relacionadas ao setor de biogás.

3.2. Metodologia para análise do potencial de produção de biogás no Brasil

Após a Etapa 1, foi realizada entre janeiro e setembro de 2015 a busca na internet de estudos publicados em relatórios, livros e artigos científicos sobre o potencial e a produção de biogás do Brasil. Com o levantamento realizado, classificou-se os estudos quanto ao tipo de publicação e data de publicação; data dos dados utilizados; fonte de substrato; região de estudo; definição do conceito de potencial; método de cálculo; forma de apresentação e unidade de medida dos resultados. Dessa forma, foi possível definir quais eram os mais abrangentes e atualizados para que, assim, fossem analisados detalhadamente os valores quantitativos de potencial.

3.3. Metodologia para levantamento de plantas existentes de produção de biogás para fins energéticos do Brasil

Como o potencial de produção de biogás do Brasil está disperso em todo o país e não havia informações completas sobre seu uso energético nos levantamentos realizados durante a Etapa 2, constatou-se a necessidade de realizar uma pesquisa detalhada para obter uma visão mais precisa do crescimento do setor. Portanto, a coleta de dados foi realizada pela autora com o auxílio da equipe do Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás (CIBiogás) entre janeiro e novembro de 2015.

A metodologia de levantamento envolveu uma pesquisa preliminar em ferramentas de busca na internet, bancos de dados do setor de energia, além de consultorias a pesquisadores e especialistas do setor. Os bancos de dados que consultados foram:

- Banco de Informações de Geração da ANEEL (BIG/ANEEL): apresenta dados de geradores de energia elétrica a partir de biogás, incluindo código, nome, capacidade outorgada e instalada e tipo de combustível dividido entre Resíduos da Agropecuária (RA), Resíduos Urbanos (RU) e Resíduos Industriais (RI).
- Banco de projetos de MDL brasileiros da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB): lista todos os projetos que foram registrados no MCT entre 2005 e 2007 no âmbito do MDL e que envolviam a queima de biogás para redução de emissão GEE. Cada um dos projetos está disponível em formato PDF e engloba uma ou diversas propriedades rurais ou aterros sanitários registrados. As informações de cerca de 2700

propriedades rurais e de aterros sanitários foram coletadas dos projetos e organizadas em uma planilha da ferramenta Excel/Microsoft. Esses dados foram importantes por conterem a localização geográfica de propriedades que atualmente aproveitam o biogás para geração de energia.

Foi realizado também o contato com empresas fornecedoras de equipamentos para plantas de biogás, como biodigestores, queimadores de gás e motogeradores, o que permitiu o levantamento de informações importantes. Essas empresas forneceram dados básicos sobre as plantas atendidas como nome, localização e produção de biogás. Para o levantamento foi utilizado o formulário de entrevista para cadastro, apresentado no Apêndice 1.

Todos os dados coletados foram cruzados e organizados em uma planilha do Excel/Microsoft para que pudessem ser comparados e agrupados da seguinte forma:

- Nome da unidade e Nome do proprietário ou responsável;
- Localização: Latitude/Longitude e Município/Estado;
- Categoria: Tipo de substrato e Aplicação do biogás;
- Situação da planta e Data de início da operação;
- Produção de biogás e Capacidade elétrica instalada;
- Dados de contato.

Após a coleta inicial de dados, foi realizado o contato direto com o responsável por cada unidade de produção e uso energético do biogás por meio de telefone ou e-mail, utilizando o mesmo formulário do Apêndice 1, permitindo a complementação do levantamento de dados e a confirmação das informações para o cadastro. A localização geográfica das unidades foi confirmada e ajustada utilizando-se o aplicativo GoogleMaps.

Quando não foi possível o contato direto, foram utilizadas informações do levantamento de dados para realizar estimativas a fim de completar o cadastro (o que ocorreu em 61 das unidades cadastradas). Para o caso de unidades agropecuárias que não tinham conhecimento da sua produção média de biogás, foi utilizada a metodologia de Marques (2015) para estimá-la. Segundo essa metodologia, a partir da quantidade de animais considera-se que apenas 70 % do potencial teórico é convertido em potencial técnico de biogás. Outra forma de se estimar a produção média diária de biogás foi por meio do consumo médio de biogás dos grupos motogeradores utilizados na unidade.

Ao final, as unidades foram categorizadas em cinco classes conforme o tipo de instalação que produz o substrato para a biodigestão e conforme a própria fonte de substrato: Indústria, Agropecuária, Aterro sanitário, Estação de tratamento de esgoto e Codigestão de resíduos e efluentes. Outra classificação utilizada foi em relação à aplicação energética dada ao biogás, dividindo entre produção de: energia elétrica, calor, energia mecânica e biometano.

A partir dos dados de produção de biogás, as unidades foram classificadas de acordo com o porte em sete intervalos quantitativos, mostrados na Tabela 1 do Capítulo 2. Os intervalos estipulados foram baseados na classificação das plantas adotada na Lei de Subsídios ao Biogás aplicada na Alemanha (IEA Bioenergy, 2017).

Como mencionado, não há registro de um levantamento realizado antes no setor de biogás a partir de um procedimento metodológico. Por ser um setor bastante complexo em sua estrutura, a metodologia apresentada foi criada especificamente para esse levantamento, sendo adaptada adequadamente ao longo da sua execução. Os resultados gerados permitiram uma classificação mais detalhada e realista das plantas em operação no Brasil. Uma pequena parte desses resultados foi utilizada em publicações do CIBiogás e da EPE para apresentação do panorama do setor de biogás, porém o detalhamento dos dados, como apresentado a seguir, é exclusivo dessa tese, o que garante o caráter inédito do estudo realizado.

Estima-se que esse levantamento cobriu cerca de 90% das plantas de biogás existentes em 2015. Não foi possível obter dados de todas as plantas, pois para algumas não foram encontrados os dados mínimos para compor o cadastro e outras não havia contatos e informações para a identificação.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. Contexto do setor de biogás no Brasil

Como comentado anteriormente, o conhecimento do setor de biogás é fundamental para que se possa propor e avaliar medidas de incentivo à sua produção e uso energético. Assim, para realizar um diagnóstico do setor de biogás no Brasil foram coletadas informações, em ordem cronológica, de projetos de pesquisa e desenvolvimento, regulamentações, políticas e iniciativas do setor privado executadas nos últimos anos. Além disso, foram analisados alguns modelos de negócio e tecnologias disponíveis, fontes de financiamento, potencial de produção de biogás do país e produção atual. Os resultados desse levantamento, realizado no âmbito da Etapa 1 da metodologia de pesquisa, são descritos a seguir.

4.1.1. Projetos de pesquisa e desenvolvimento

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab) foi concebido pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) em 1983, no intuito de elaborar uma discussão organizada sobre as prioridades da pesquisa em saneamento no Brasil. O Programa se caracterizava por ser uma ação conjunta com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e com órgãos relacionados ao saneamento, companhias de saneamento, universidades e institutos de pesquisa. Em 1987 foram definidas linhas de pesquisa na área de saneamento para o Prosab, abrangendo três linhas de atuação: águas de abastecimento, águas residuárias ⁶ e resíduos sólidos (FINEP, 2006). A partir disso, foram selecionados projetos em editais lançados em 1995, em 1997 e em 2000 e as instituições contempladas formaram uma rede de pesquisa. Esse programa teve financiamento da Finep, do CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Caixa Econômica Federal (CAIXA) e, segundo dados do relatório do Programa, foram investidos pelas quatro instituições um total de cerca de R\$ 19,5 milhões. Ao todo foram publicados sete

⁶ As águas residuárias são uma combinação de efluentes domésticos, despejos industriais, efluentes de estabelecimentos comerciais e institucionais, águas pluviais e de drenagem urbana, assim como efluentes agropecuários (ORTIZ e AMÉRICO-PINHEIRO, 2016).

documentos técnicos, sendo os últimos em 2009 e, após isso, nenhum novo edital foi aberto por esse programa.

O Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), criado em 1996, é um grupo de pesquisa em bioenergia que fazia parte, na época, do Instituto de Eletrotécnica e Energia ⁷ da Universidade de São Paulo. Foi instituído com a finalidade de promover o desenvolvimento das atividades de pesquisa e divulgação de informações científicas, tecnológicas e econômicas para viabilizar o uso da biomassa como fonte eficiente de energia no Brasil (IEE/USP, 2018). Desde 2001, a equipe do CENBIO possui projetos na área de biogás, gerando diversas publicações no tema. Um dos resultados foi o Atlas da Bioenergia do Brasil, publicado em 2009 e atualizado em 2012, em que estão disponíveis mapas e tabelas mostrando a distribuição de potenciais de fontes de bioenergia, como biogás da suinocultura, de aterros e de esgoto, por todas as regiões do Brasil. Desde 2015, os pesquisadores do CENBIO fazem parte do Grupo de Pesquisa em Bioenergia (GBio) do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (USP) (IEE/USP, 2018).

Na década de 1990, a CETESB iniciou uma parceria com, na época, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) para realizar o “Inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa gerados pela degradação anaeróbia de resíduos no período de 1990 a 1994” e, em 1998, publicaram a primeira versão do inventário (CETESB, 2006). Outros destacados trabalhos da CETESB foram a criação, junto ao MCT em 2001, de um banco de dados de locais com geração de metano pelo tratamento de resíduos no País e uma publicação com os resultados da análise desse banco de dados, denominado “Inventário brasileiro de gás metano gerado por resíduos: relatório dos bancos de dados de resíduos sólidos e efluentes líquidos” (CETESB, 2006). Além disso, no final de 2001, essas duas entidades e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo firmaram um convênio e produziram um software que simula a recuperação do biogás (CETESB, 2006).

Em 2014, foi lançada a segunda edição do levantamento de projetos brasileiros publicados na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (CQNUMC) ⁸ e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), desenvolvidos de acordo com as regras do MDL do Protocolo de Quioto e que trataram da recuperação acompanhada da destruição ou aproveitamento do biogás (CETESB, 2014). Nessa publicação, foi citado o potencial de

⁷ Atualmente o instituto se chama Instituto de Energia e Ambiente (IEE).

⁸ Do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

utilização do biogás gerado nos projetos como fonte energética, considerando que a maioria dos projetos ainda não geravam energia, apenas queimava biogás.

Em 2006, por meio do convênio de cooperação técnica entre Itaipu Binacional e a Companhia Paranaense de Energia (Copel), foram implantadas no oeste do estado do Paraná oito unidades de demonstração de produção de biogás e geração de energia elétrica com conexão à rede. As unidades incluíram diferentes escalas, desde uma de pequeno produtor de suínos até um abatedouro com capacidade para o abate de 200 mil aves/dia. Os investimentos foram feitos pela área de P&D da Itaipu Binacional, pela Finep e por proprietários interessados em fazer parte desse programa demonstrativo denominado Programa Geração Distribuída de Energia com Saneamento Ambiental – Programa GD. Participaram do programa o produtor de suínos, Sr. José Carlos Colombari, a Cooperativa Lar de Medianeira/PR e a Granja Starmilk, da cidade de Vera Cruz do Oeste/PR.

Pela Finep foram investidos quase R\$ 2 milhões em um projeto denominado “Geração Distribuída de Energia com Saneamento Ambiental”, executado pelo Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI), Copel, Itaipu Binacional, Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI) entre maio de 2008 e julho de 2011. A propriedade do Sr. José Carlos Colombari foi a primeira a estar conectada à rede de distribuição, injetando energia elétrica gerada em um motorgerador a biogás ou consumindo energia da rede, conforme a demanda interna da propriedade. O biogás era gerado em biodigestores a partir dos efluentes da produção de cerca de 4.000 suínos.

Os testes realizados pela Copel no sistema de conexão à rede da propriedade abriram caminho para que o setor elétrico começasse a considerar a possibilidade da mini e microgeração de energia. A conexão da propriedade à rede foi oficializada por meio de um contrato de microgeração assinado em fevereiro de 2009 junto à Copel, com a anuência especial da ANEEL para esse projeto. Esse Programa gerou resultados que foram determinantes para que Finep, Copel, Itaipu Binacional, Cooperativa Lar e outras instituições fizessem novos investimentos em biogás. O CIBiogás, criado por iniciativa de Itaipu Binacional e outras instituições, é um dos exemplos dessa continuidade.

Em julho de 2010 foi lançada a Chamada Pública 06/2010 “Saneamento Ambiental e Habitação” do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), Ministério das Cidades e Finep. Um dos projetos aprovados nessa chamada foi “Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas a partir do Biogás Produzido em Sistema de Tratamento de Esgotos e Aterros Sanitários para Geração de EE”, denominada posteriormente de Rede Biogás (FINEP, 2010). A execução do projeto foi iniciada em junho de 2013 e em dois anos foram investidos cerca de R\$ 6 milhões pela Finep e

CNPq. As instituições executoras do projeto foram a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o ITAI (JUCÁ, 2014).

A ANEEL lançou em julho de 2012 uma chamada de projetos de P&D denominada Chamada nº 014/2012 - Projeto Estratégico: Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira. Após a aprovação pela Chamada, as empresas do setor elétrico nacional poderiam utilizar os recursos que são obrigadas a investir anualmente em P&D. Segundo a ANEEL, existe um grande potencial ainda pouco explorado no setor de saneamento para o desenvolvimento de novas opções de valorização dos resíduos e efluentes, com um maior ganho do ponto de vista ambiental, social e energético. Neste sentido, a proposição de arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração de energia elétrica a partir de biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos na matriz energética brasileira constitui questão de grande relevância e de complexidade (ANEEL, 2012a).

Ao todo foram submetidas 23 propostas, com valor total de R\$ 476,7 milhões, o que pode sinalizar algum interesse pelas empresas do setor elétrico no uso do biogás como fonte energética. De todas as propostas enviadas, apenas foi concluído o projeto da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), com o título “Produção e comercialização de eletricidade produzida a partir do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça” (ANEEL, 2017). No Anexo 2 (ANEXO 2 - PROJETOS DE P&D CADASTRADOS NA ANEEL - CHAMADA ESTRATÉGICA 014/2012) é apresentada a lista de projetos que foram cadastrados na ANEEL no âmbito da Chamada nº 014/2012.

Segundo levantamento realizado pelo CIBiogás, menos de dez desses projetos foram executados ou pelo menos tiveram sua execução iniciada até 2018. Sugere-se que ao iniciar o planejamento para início da execução, as empresas do setor elétrico que iriam utilizar seus recursos de P&D nesses projetos, perceberam maior complexidade na execução do que a esperada e, assim, maior risco de não haver sucesso na realização dos objetivos perante a ANEEL.

O projeto “Tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do Plano ABC”, também conhecido como Rede Biogásfert, é uma parceria entre Embrapa e Itaipu Binacional e recebeu um investimento total de R\$ 7,38 milhões

no período de quatro anos, a partir de abril de 2013. A iniciativa reuniu especialistas em biogás e em fertilizantes de 14 Unidades Descentralizadas da Embrapa, da Itaipu Binacional, além de pesquisadores do CIBiogás, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), UFSC, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Instituto Nacional de Tecnologia, Fundação Oswaldo Cruz, FPTI e Instituto InMetro (EMBRAPA, 2018). O objetivo do projeto era desenvolver pesquisas, entre 2013 e 2017, para gerar soluções tecnológicas de produção e uso integrados de biogás e biofertilizantes orgânicos e organominerais a partir de dejetos animais.

Pesquisas visando o uso do biometano como combustível para o setor de transportes vêm sendo realizadas no âmbito do CIBiogás, sendo um exemplo o projeto de mobilidade a biometano, no qual vários veículos da Itaipu Binacional são abastecidos. O CIBiogás foi criado em maio de 2013 a partir das ações que a Itaipu Binacional vinha realizando na área de biogás e se constitui em uma instituição científica, tecnológica e de inovação, resultado da parceria entre essa empresa, a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUDI). Outras 19 entidades, todas com atuação direta ou indireta no campo do biogás, estão envolvidas no CIBiogás, entre elas, o Ministério das Relações Exteriores (Itamaraty), o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Eletrobrás/Cepel), o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), a Embrapa, o Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER), a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e a Federação das Indústrias do Paraná (FIEP). O objetivo principal do Centro é tornar o biogás um produto, por meio do desenvolvimento de novos negócios e sua efetiva implementação na matriz energética brasileira (CIBIOGÁS, 2018b). Além disso, o CIBiogás também se destaca nacionalmente no desenvolvimento de tecnologias, como por exemplo o projeto de desenvolvimento de um filtro de H₂S adaptado às condições de suinoculturas, buscando melhorar a eficiência e facilitar a manutenção e operação (CIBIOGÁS, 2017).

Outra iniciativa importante foi o Programa NoPa, resultado de parceria entre a Capes, o Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD) e a Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ⁹). Seu objetivo era apoiar o intercâmbio científico entre grupos de pesquisa brasileiros e alemães e a formação de recursos humanos e incentivar a inovação tecnológica no setor produtivo público e privado a partir de resultados de pesquisas desenvolvidas por instituições qualificadas dos dois países, de modo a contribuir para o desenvolvimento

⁹ Em alemão *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*.

sustentável (CAPES, 2014). Em agosto de 2013, a Capes lançou o Edital nº 057/2013 para seleção de projetos conjuntos de pesquisa no âmbito do Programa i-NoPa, nas áreas de “Energia Heliotérmica” e “Tecnologias de Biogás”. Para a área de biogás as temáticas propostas foram: Tecnologias usadas para o Biogás; Gestão e tratamento de subprodutos do processo de digestão anaeróbica; Estudos de pesquisa em viabilidade econômica, arranjo tecnológico da cadeia de biogás (CAPES, 2014). Nesse período foram realizados eventos no Brasil e na Alemanha para incentivar a realização de parcerias e a submissão de projetos e o resultado, divulgado em outubro de 2013, foi a seleção de quatro projetos conjuntos, com a participação das seguintes universidades brasileiras: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), UFC, PUC-Rio e Universidade Federal de Goiás (UFG) (CAPES, 2013).

Além desses, há outros projetos que buscam desenvolver tecnologias ou arranjos técnicos econômicos que viabilizem o biogás no Brasil. O que mais se observa é a busca por tecnologias adaptadas à realidade do país, apesar da grande oferta de pacotes fechados por empresas europeias. Esses pacotes são equipamentos normalmente denominados de *turn key* ou chave na mão, indicando que vêm prontos para serem operados e com todos os componentes produzidos no país de origem. Dessa forma, o domínio tecnológico acaba sendo das empresas europeias, dificultando que o Brasil desenvolva indústrias para produzir tecnologias similares.

Segundo uma pesquisa realizada no Diretório dos Grupos de Pesquisa do Brasil do CNPq em março de 2015 e de 2018, existiam, respectivamente, 86 e 122 grupos de pesquisa relacionados aos temas biogás, biodigestores e biodigestão (CNPQ, 2015 e CNPQ, 2018). Esse crescimento na quantidade de grupos de pesquisa pode estar ligado à tendência de crescimento do setor, junto com o maior destaque que vem sendo dado em chamadas, notícias e eventos.

A lista com dados desses grupos encontra-se na Tabela 3 e o mapa com a localização dos grupos em 2015 é apresentado na Figura 10. Na Tabela 3 é possível observar que a maioria dos grupos de pesquisa está localizada nas regiões Sul e Sudeste, sendo que a maior parte é da área de Engenharia.

Tabela 3. Grupos de pesquisa em biogás, biodigestores e biodigestão por região (dados de 2015).

Área predominante	Região do Brasil										Total	
	Centro-Oeste		Nordeste		Norte		Sudeste		Sul		2015	2018
	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018		
Ciências Agrárias	5	4	4	5	1		6	8	1	4	17	21
Ciências Biológicas	1	1	1	2						2	2	5
Ciências Exatas e da Terra	1	3	3	3			1	4	4	6	9	16
Ciências Sociais e Aplicadas								1				1
Engenharias	3	8	16	18			18	24	21	26	58	76
Outra								2		1		3
Total Geral	10	16	24	28	1		25	39	26	39	86	122

Fonte: CNPQ (2015) e CNPQ (2018).

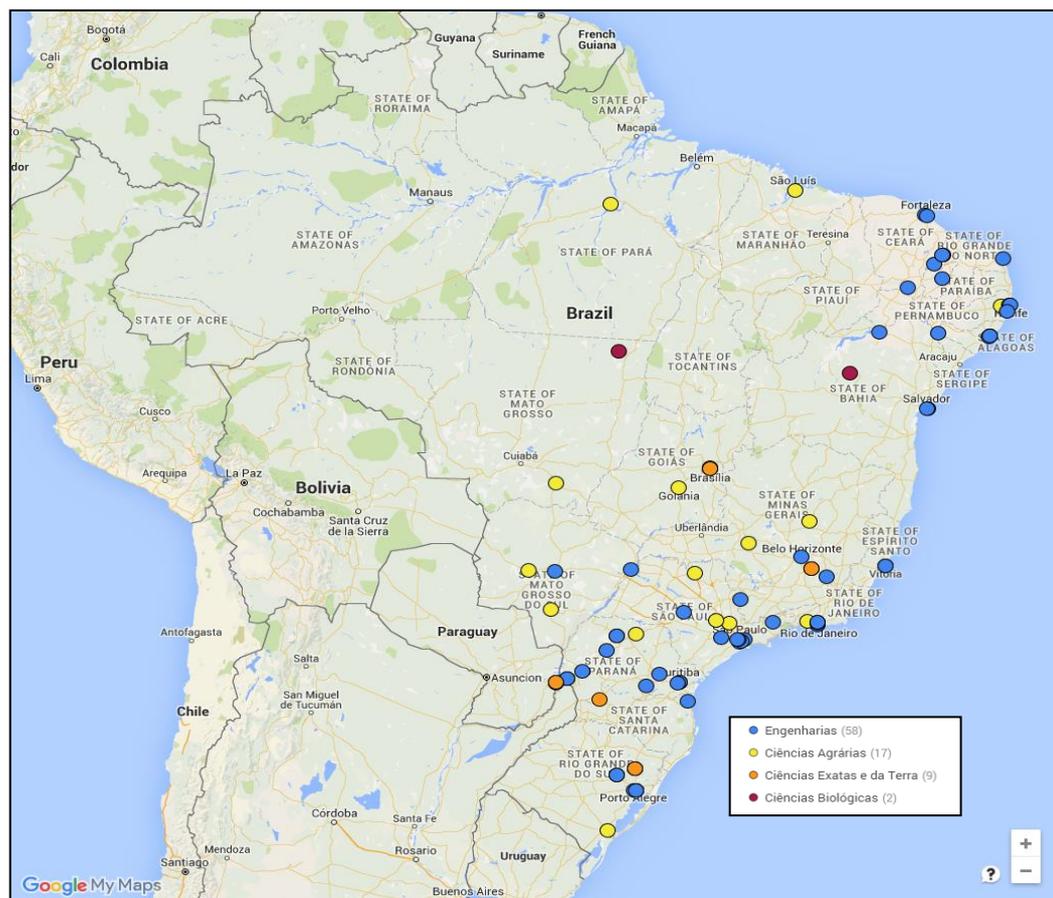


Figura 10. Localização dos grupos de pesquisa em biogás, biodigestores e biodigestão do CNPq em 2015.

Fonte: Elaboração própria baseado em CNPQ (2015).

4.1.2. Ambiente regulatório

A Lei Federal nº. 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010a). Essa política foi regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, o qual traz no Capítulo III - Plano de gerenciamento de resíduos sólidos, um parágrafo único assegurando o aproveitamento da biomassa na produção de energia (BRASIL, 2010b). Considerando a geração de resíduos sólidos no Brasil e a expressiva porcentagem de material orgânico (51,4% segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos), torna-se expressivo o potencial de geração de biogás a partir da biodigestão desses resíduos.

A Resolução Normativa nº 271/2007 da ANEEL alterou o texto da Resolução Normativa nº 077/2004 e estabeleceu:

" (...) os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, aplicáveis aos empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1 MW, para aqueles caracterizados como pequena central hidrelétrica e àqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30 MW, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos."
(ANEEL, 2007)

Especificamente para os empreendimentos que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50 % de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto, assegura-se o direito a 100 % de redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição (TUST e TUSD, respectivamente) (ANEEL, 2007).

A Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, alterada pela Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2015a), estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Essa resolução foi destinada a reduzir barreiras para instalação de geração distribuída (GD) de pequeno porte, que inclui a microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração, de 100 kW a 1 MW. A norma criou o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida para geradores que utilizem fontes

incentivadas de energia - hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada (ANEEL, 2015a).

A Lei nº 6.361/2012 do estado do Rio de Janeiro dispõe sobre a Política Estadual de Gás Natural Renovável (GNR) e visa incentivar a sua produção e o seu consumo, entendido como o gás resultante do processo de purificação do biogás, oriundo de biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. A lei tem como um de seus objetivos prioritários fomentar a utilização do biogás gerado em aterros sanitários e aterros controlados, porém poderão ser captados GNR de outras fontes geradoras, como as resultantes de produção agrícola e estações de tratamento de esgoto, bem como demais setores industriais (RIO DE JANEIRO, 2012). Foi definido que as concessionárias de distribuição de gás canalizado do Estado serão obrigadas a adquirir, de forma compulsória, todo o GNR produzido no Estado até o limite de 10% do volume de gás natural convencional distribuído por cada uma delas, não incluído o volume destinado ao mercado termelétrico. O Governo fornecerá capacitação técnica e disponibilizará linhas de financiamento para aquisição de tecnologias de produção, coleta e transporte de biogás e caberá à Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro (AGENERSA) a fiscalização dos contratos de fornecimento.

O Programa Paulista de Biogás foi instituído pelo Decreto nº 58.659/2012 e tem por objetivo incentivar e ampliar a participação de energias renováveis na matriz energética do Estado e estabelecer a adição de um percentual mínimo de biometano ao gás canalizado comercializado no Estado (SÃO PAULO, 2012). Além desses, há os Decretos nº 60.297 e 60.298/2014 que desoneram bens e equipamentos destinados à geração de energia elétrica ou térmica a partir de gás, biogás (biometano), solar fotovoltaica, resíduos sólidos urbanos, biomassa resultante da industrialização e de resíduos da cana-de-açúcar, além de equipamentos para produção e tratamento de biogás.

Instituído pelo Decreto nº 59.038/2013, o “Programa Paulista de Biocombustíveis” tem o objetivo de incentivar e ampliar a participação de combustíveis renováveis no âmbito da administração direta, das autarquias e das fundações do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013). Para isso, prioriza o uso de álcool, biodiesel e biometano pelos veículos do governo, conforme as possibilidades e viabilidade apresentadas por cada combustível.

A Resolução 08/2015 da ANP regulamentou o biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris destinado ao uso veicular (adicionado ao gás natural veicular - GNV) e às instalações residenciais e comerciais. Em 2017, a ANP publicou uma nova resolução, a nº 685/2017, incluindo a especificação de biometano de aterros sanitários e

tratamento de esgoto, além da agricultura, e reduziu a quantidade mínima de metano de 96% para 90% no biometano (ANP, 2017).

4.1.3. Políticas públicas

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Interligado Nacional (SIN)¹⁰, sistema esse que compõe, junto com o Sistema Isolado, o Setor Elétrico Brasileiro. Instituído pela Lei nº 10.438/2002, implantou, até 31 de dezembro de 2011, um total de 119 empreendimentos, constituído por 41 plantas eólicas, 59 PCHs e 19 usinas térmicas a biomassa. Juntos, esses empreendimentos compõem a capacidade instalada de 2.649,87 MW, compreendendo 963,99 MW em usinas eólicas, 1.152,54 MW em PCHs e 533,34 MW em plantas de biomassa (ELETROBRÁS, 2014).

Coube ao Ministério de Minas e Energia (MME) definir as diretrizes, elaborar o planejamento do Programa e definir o valor econômico de cada fonte; e à Eletrobrás, o papel de agente executora, com a celebração de contratos de compra e venda de energia (CCVE). Para tanto, foi estabelecido que o valor pago pela energia elétrica adquirida, além dos custos administrativos, financeiros e encargos tributários incorridos pela Eletrobrás na contratação desses empreendimentos, fossem rateados entre todas as classes de consumidores finais atendidas pelo SIN, com exceção dos consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda (consumo igual ou inferior a 80 kWh/mês) (MME, 2014). Considerando os mecanismos regulatórios aplicados em outros países para estimular as fontes renováveis, apresentados no Capítulo 2, o Proinfa se enquadra dentro do contexto do sistema *feed-in*, com contratos de longo prazo e uma remuneração garantida pelo governo federal.

Em 2006 foi lançado o Plano Nacional de Agroenergia, com execução prevista até 2011, visando “(...) *organizar e desenvolver proposta de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia.*” (MAPA, 2006). Dentre os desafios citados pelo plano para a cadeia do biogás,

¹⁰ O SIN abrange a maior parte do território brasileiro e é dividido em quatro grandes subsistemas: Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO), Sul (S), Nordeste (NE) e Norte (N). Por se tratar de um sistema hidrotérmico de grande porte de produção e transmissão de energia elétrica, sua operação é realizada de forma centralizada, sob a coordenação do Operador Nacional do Sistema (ONS).

ressaltavam-se: desenvolvimento de estudos e modelos de biodigestores; avaliação do uso de biofertilizante como adubo orgânico; desenvolvimento de equipamentos para o transporte do biofertilizante e para o aproveitamento de biogás como fonte de calor, energia elétrica e combustível; e processos de purificação do biogás, compressão e armazenamento. Apesar de abordar o biogás, os principais resultados do Plano foram relacionados a outras fontes de agroenergia, tais como: criação da Embrapa Agroenergia; introdução do biodiesel na matriz energética nacional (5 % desde janeiro, 2010); criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE); conclusão dos zoneamentos agroecológicos da cana-de-açúcar e da palma; e criação do Programa Nacional de Produção Sustentável da Palma de Óleo (VIEIRA, 2011).

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima foi apresentado em 1º de dezembro de 2008 e visa incentivar o desenvolvimento e aprimoramento de ações de mitigação no Brasil, colaborando com o esforço mundial de redução das emissões de GEE, bem como objetiva a criação de condições internas para lidar com os impactos das mudanças climáticas globais (adaptação). O Plano estrutura-se em quatro eixos: oportunidades de mitigação; impactos, vulnerabilidades e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e educação, capacitação e comunicação (MMA, 2008). Um de seus objetivos específicos é fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis. Nesse contexto insere-se o biogás e o biometano pela Utilização de Resíduos Urbanos para Fins Energéticos, oportunidade citada no Plano.

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) é uma *“política pública que apresenta o detalhamento das ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima pela agropecuária, e de que forma o Brasil pretende cumprir os compromissos assumidos de redução de emissão de Gases de Efeito Estufa por este setor”* (MAPA, 2012). Para isso, foram definidos sete programas, a saber: 1) Recuperação de Pastagens Degradadas; 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; 3) Sistema de Plantio Direto; 4) Fixação Biológica de Nitrogênio; 5) Florestas Plantadas; 6) Tratamento de Dejetos Animais; e 7) Adaptação às Mudanças Climáticas. Há ações para a execução e fortalecimento de cada programa, tais como: assistência técnica, capacitação e informação, estratégias de transferência de tecnologia, dia de campo, seminários, implantação de Unidades de Referência Tecnológica (URTs), campanhas de divulgação, chamadas públicas

e incentivos econômicos e financiamento aos produtores para implementar as atividades do Plano (MAPA, 2012).

O Ministério das Cidades, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA/MCIDADES), tem desenvolvido ações juntamente com o governo alemão, no âmbito da GIZ, visando à condução de um Projeto de Cooperação Técnica com foco no aproveitamento energético de biogás no Brasil. Essa iniciativa, denominada Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), com previsão de vigência de 5 anos a partir de 2013, busca contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de metano e de CO₂ na atmosfera (MCIDADES, 2014). O PROBIOGÁS tinha duas áreas temáticas – sistemas de tratamento de efluentes e de resíduos sólidos – cujas principais linhas de atuação eram: Informações de Base e Condições Quadro; Capacitação; Parcerias Acadêmicas e Empresariais; Boas Práticas e Projetos de Referência. Nesse sentido, o PROBIOGÁS lançou em 2013 a versão em português do Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização, que aborda o tema biogás, indo desde o processo microbiológico até os passos para a construção de uma planta industrial de biogás e a análise financeira de projeto. Além disso, o Projeto desenvolveu ações de capacitação e difusão de conhecimento.

Nesse mesmo ano, a Companhia de Gás de Santa Catarina (SCGás) apresentou à ANP seu programa de biogás/biometano com o objetivo de conhecer a regulamentação para promover a distribuição do combustível através da rede da companhia (SCGÁS, 2013). Além disso, houve a Chamada Pública 01/2015 da Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (Sulgás), lançada com o objetivo de selecionar propostas de novos projetos de empreendimentos e/ou empreendimentos existentes destinados à produção de 200 mil m³.d⁻¹ de biometano para o fornecimento à empresa por um prazo de 20 anos (SULGÁS, 2015). Como indicado pela Sulgás (2015), essa chamada não teve resultados positivos, pois nenhum projeto foi habilitado.

Outra iniciativa governamental importante foi a publicação das Notas Técnicas da EPE que consideram o biogás como fonte de energia renovável no planejamento energético nacional: Nota Técnica DEA 13/2014 - Demanda de Energia 2050 (EPE, 2014a); Nota Técnica DEA 15/2014 - Inventário Energético de Resíduos Rurais (EPE, 2014b) e Nota Técnica DEA 18/2014 - Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (EPE, 2014c).

No nível federal, foi desenvolvida recentemente uma nova política para expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, inclusive o biogás, chamado RenovaBio. Essa política foi sancionada no final de 2017 e utilizará os seguintes instrumentos: estabelecer metas

nacionais de redução de emissões de CO₂ para a matriz de combustíveis, definidas por um período de 10 anos; e certificar a produção de biocombustível, com diferentes graus para cada produtor, em um montante inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido (BRASIL, 2017). O biogás poderá ser beneficiado com essa política, já que tem a menor pegada de carbono em comparação com outros biocombustíveis (etanol, biodiesel, bioquerosene, etc.). No entanto, devido aos custos envolvidos no processo de certificação, apenas grandes usinas devem entrar neste mercado.

Entre 2016 e 2018, os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, promulgaram leis de criação de políticas públicas relacionadas ao biogás, sendo esse um importante marco para o desenvolvimento do setor de biogás nesses estados.

A lei do Rio Grande do Sul foi publicada em maio de 2016 com foco no incentivo ao biometano (RIO GRANDE DO SUL, 2016). As diretrizes da política incluem a criação de linhas de crédito específicas e com subsídios para a produção de biometano, parcerias público-privadas, tratamento tributário diferenciado, a aquisição de biometano pela concessionária estadual e a definição de um percentual mínimo de adição de biometano ao gás natural. Destaca-se que a lei define que a concessionária estadual tem um papel central no transporte e compra do biometano, diferentemente de Santa Catarina e Paraná que abrem a possibilidade de concessão a outros atores.

O estado do Paraná publicou a Política Estadual do Biogás e Biometano em maio de 2018, tendo como objetivo promover a adição de um percentual mínimo de biometano ao gás natural e o estabelecimento de tarifas e preços mínimos para o biometano, a aquisição de energia elétrica gerada a partir do biogás, de biometano para o abastecimento da frota de veículos oficiais e de certificados de descarbonização (CBIOS), a criação de fundo garantidor para projetos de produção de biogás ou biometano de pequeno porte, a criação de linhas de financiamento nas agências financeiras estaduais e o estabelecimento de parcerias público-privadas (PARANÁ, 2018). Uma vantagem da lei paranaense é que empreendimentos de biogás e biometano serão enquadrados como empresas de inovação tecnológica, podendo obter incentivos fiscais, recursos financeiros, subvenção econômica, matérias ou infraestrutura.

A política de biogás de Santa Catarina foi promulgada em julho de 2018 e aborda fortemente as questões de licenciamento ambiental das atividades da cadeia produtiva de proteína animal, relacionando o incentivo ao biogás à redução de impactos ambientais (SANTA CATARINA, 2018). As diretrizes da lei são muito semelhantes às do estado do Paraná, porém a lei catarinense cria e detalha um programa estadual para incentivar a geração e utilização do biogás, de seus derivados e subprodutos.

4.1.4. Iniciativas do setor privado

O setor privado vem se organizando e, individualmente ou em ações conjuntas, tendo iniciativas importantes para consolidar o biogás como fonte energética através das associações criadas.

A Associação Brasileira de Biogás e Metano (ABBM) foi lançada em novembro de 2013 em um evento da área no Rio Grande do Sul (RS) e conta com participantes de diversas categorias, tais como: empresários, produtores rurais, professores, pesquisadores e consultores. A busca por uma maior representação do biogás e biometano na matriz energética foi um dos propósitos para criação desta associação, além da interiorização do gás natural, potencializado pela viabilização das plantas de biometano. A ABBM visa dar apoio institucional, com planejamento setorial e abrangendo questões políticas para fortalecimento de uma cadeia de suprimentos de biogás, com formação de recursos humanos qualificados (PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2013).

Por iniciativa de outro grupo de empresas, a Associação Brasileira do Biogás e Biometano (ABiogás) foi fundada em dezembro de 2013 no município de São Paulo e é composta por empresas e instituições públicas e privadas que atuam em diferentes segmentos do biogás. A missão da Associação é promover a inserção definitiva do biogás e do biometano na matriz energética brasileira, através do desenvolvimento dos diversos segmentos envolvidos em sua produção, regulamentação e utilização (ABIOGÁS, 2014). Além disso, busca-se alcançar metas de participação mais significativas na matriz energética brasileira, destacando-se, assim, o papel da ABiogás, uma vez que reúne todos os segmentos da cadeia no Brasil - pesquisa, produção, transformação e distribuição - possibilitando fortalecimento do setor frente a outras fontes energéticas (OBSERVATÓRIOS, 2014). A ABiogás realiza anualmente o Fórum Brasileiro do Biogás desde 2015, e em 2017 o evento teve mais de 150 participantes. Além disso, organiza seminários técnicos e representa o setor em consultas públicas e eventos do setor energético.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é uma associação voltada à criação, à ampliação, ao desenvolvimento e ao fortalecimento do mercado de gestão de resíduos, em colaboração com os setores público e privado, em busca de condições adequadas à atuação das empresas (ABRELPE, 2014). Além da publicação anual do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, a ABRELPE publicou em 2013 o Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético, que é uma referência importante para o planejamento do setor de biogás (ABRELPE, 2013).

4.1.5. Fontes de financiamento

O Agricultura de Baixo Carbono - Programa ABC visa dar condições para o produtor rural realizar os investimentos necessários à incorporação de alternativas tecnológicas de baixa emissão de carbono no processo produtivo, no âmbito do Plano ABC, citado na seção 4.1.3. Para isso, são disponibilizados recursos por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e do Banco do Brasil (BNDES, 2018). Segundo dados do Observatório ABC (2014), mais de 90% dos recursos investidos no Programa desde 2011 foram desembolsados pelo Banco do Brasil (cerca de R\$ 5,5 bilhões do total de R\$ 6 bilhões).

Dentro das linhas de crédito do Programa Nacional para Agricultura Familiar (PRONAF) há uma específica para questões de sustentabilidade ambiental, o PRONAF Sustentável, que proporciona “(...) o financiamento de investimentos em técnicas que minimizam o impacto da atividade rural ao meio ambiente, bem como permitam ao agricultor melhor convívio com o bioma em que sua propriedade está inserida” (BRASIL, 2013). Essa linha de financiamento pode ser utilizada em projetos de biogás, já que a biodigestão de efluentes e resíduos, além de gerar biogás, reduz o impacto ambiental causado.

O Programa Fundo Clima se destina a aplicar a parcela de recursos reembolsáveis do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, ou Fundo Clima, criado pela Lei nº. 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº. 7.343/2010. O Fundo Clima é um dos instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima apresentado e se constitui em um fundo de natureza contábil, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) com a finalidade de garantir recursos para apoio a projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que tenham como objetivo a mitigação das mudanças climáticas (BNDES, 2018a). A disponibilidade de recursos ocorre através de duas modalidades: reembolsável e não-reembolsável. Os recursos reembolsáveis são administrados pelo BNDES e os não-reembolsáveis são operados pelo MMA. O Programa possui dez subprogramas, a saber Mobilidade Urbana; Cidades Sustentáveis e Mudança do Clima; Máquinas e Equipamentos Eficientes; Energias Renováveis; Resíduos Sólidos; Carvão Vegetal; Combate à Desertificação; Florestas Nativas; Gestão e Serviços de Carbono; e Projetos Inovadores, sendo que o tema biogás pode ser abordado em diversos desses programas, como por exemplo Mobilidade Urbana e Energias Renováveis (BNDES, 2018a).

A Agência de Desenvolvimento Paulista, uma instituição financeira do governo do estado de São Paulo, possui a “Linha Economia Verde” que financia projetos sustentáveis com o objetivo de promover significativa redução de emissões de GEE e minimizar o impacto ao meio ambiente, alinhada à Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) criada pela Lei

Estadual nº 13.798/2009. Para o biogás, alguns dos itens financiáveis são: geração de energia elétrica ou térmica com biogás de aterro; compra e instalação de equipamentos para produção de energia renovável a partir de biogás de aterro e outros; queima de biogás em aterros; geração de energia a partir de resíduos; substituição ou adaptação de equipamentos movidos a GLP por biogás (DESENVOLVE SP, 2018).

O governo do estado de São Paulo também criou os Decretos nº 60.297 e 60.298/2014 que desoneram todos os bens e equipamentos destinados à geração de energia elétrica ou térmica a partir de gás, biogás (biometano), solar fotovoltaica, resíduos sólidos urbanos, biomassa resultante da industrialização e de resíduos da cana-de-açúcar, assim como todos os equipamentos necessários para produção e tratamento de biogás (biometano). A desoneração média aplicada é de 18% (SÃO PAULO, 2014a; 2014b).

Além dessas oportunidades para financiamento, há a linha Finame do BNDES, uma modalidade de financiamento do BNDES feito por intermédio de instituições financeiras credenciadas para produção e aquisição de máquinas e equipamentos novos de fabricação nacional para empresas que estejam credenciadas no BNDES (BNDES, 2018b). Foi criado em 1964, com a denominação Fundo de Financiamento para Aquisição de Máquinas e Equipamentos Industriais, e é administrado pelo BNDES (BRASIL, 1964).

4.1.6. Tecnologias para biogás no Brasil comparadas à Europa

O biogás é uma fonte de energia que pode ser produzida com o uso de diversos tipos de tecnologias, variando sua composição e produtividade conforme o porte, a temperatura necessária para o processo, a temperatura do ambiente externo ao biodigestor, eficiência esperada, etc. No Brasil, as tecnologias utilizadas possuem características específicas por serem adaptadas, na maioria das vezes, a uma demanda por equipamentos de baixo custo de implantação e com maior foco em solução ambiental que em produção de energia.

Além de conhecer as tecnologias utilizadas no Brasil para produção de biogás, é importante compará-las às aplicadas em outros países, com o intuito de entender as diferenças e semelhanças. Por isso é que se optou por analisar os países europeus, uma vez que são os mais avançados mundialmente no uso do biogás em escala comercial.

No Quadro 7 é apresentada uma comparação entre as tecnologias utilizadas para produção de biogás no Brasil e na Europa. Essa comparação foi realizada com base no levantamento de dados apresentado na Seção 4.3.2.

Quadro 7. Comparação entre tecnologias para biogás no Brasil e na Europa.

	Brasil	Europa
Biomassa bruta	Uso de resíduos e efluentes	Uso de resíduos e efluentes e, em alguns países, de cultivos energéticos
	Maior parte das plantas faz apenas pré-tratamento básico do substrato (peneiras rotativas e decantadores)	Uso em larga escala de preparação da biomassa (hidrólise pré-biodigestor e peneiramento)
	Sazonalidade conforme disponibilidade do substrato (Ex.: cana-de-açúcar e mandioca)	Armazenamento em sistema de silagem para produção contínua em todo o ano.
	Descentralização da biodigestão e alguns casos de transporte do biogás em gasoduto para geração de energia	Muitos casos de centralização da biomassa com transporte para um biodigestor central
	Biodigestores retangulares, enterrados e de geomembrana, sem isolamento térmico e sem sistemas de aquecimento do substrato	Biodigestores circulares de inox ou concreto e com isolamento térmico e sistemas de aquecimento do substrato
Substrato	Biodigestores de pequeno, médio e grande porte	Biodigestores de grande porte
	Nível quase nulo de automação, controle e monitoramento da biodigestão	Nível avançado de automação, controle e monitoramento da planta
	Uso predominante de sistemas de biodigestão por via úmida	Uso de sistemas de biodigestão por via úmida e seca
	Aproveitamento de biogás produzido em aterros sanitários, sem separação de resíduos orgânicos para biodigestão	Muitos casos de separação dos resíduos orgânicos para biodigestão, normalmente em codigestão com outros substratos
Digestato	Aplicação como fertilizante na lavoura	Aplicação na lavoura ou produção de fertilizantes orgânicos ou organominerais
	Tratamento para lançamento em corpos de água ou secagem para destinação para aterros	Tratamento para lançamento em corpos de água ou secagem para destinação para aterros
Biogás	Sistemas de armazenamento de biogás com baixo nível tecnológico, como balões ou “travesseiros” em geomembrana	Sistemas de armazenamento com alto nível tecnológico, como balões com camada dupla de geomembrana e pressurização entre elas
	Filtragem do biogás para retirada de H ₂ S pouco frequente. Se existente, é comum o uso de tecnologias simples, como limalha de ferro	Alto padrão de filtragem do biogás
Energia elétrica	Consumo interno, injeção na rede de distribuição ou venda no mercado livre de energia	Subsídios governamentais para geração de energia elétrica com biogás e venda
Energia térmica	Aplicação do biogás na geração de energia térmica para processos industriais, porém com queimadores de baixo nível tecnológico (controle e segurança)	Uso do biogás na calefação, aquecimento dos biodigestores e processos industriais
Energia mecânica	Uso em larga escala de biogás em motobombas para bombeamento de digestato à lavoura, principalmente na suinocultura	Não há informações sobre esse uso na Europa
Biometano	Regulação em desenvolvimento para uso e injeção na rede do biometano	Regulamentação bastante avançada para uso e injeção na rede do biometano
	Casos de transporte do biometano por cilindros até posto de abastecimento ou ponto de injeção na rede, por não haver malha densa de gasodutos no Brasil	Boa infraestrutura de transporte e distribuição de gás nos países da Europa, facilitando a injeção de biometano na rede
	<i>Upgrading</i> do biogás para biometano por tecnologia de pressão (PSA) ou de lavagem do gás (<i>water scrubber</i>)	<i>Upgrading</i> do biogás para biometano por tecnologia de pressão (PSA), de lavagem do gás (<i>water scrubber</i>) e membranas
	Poucos projetos de injeção na rede ou abastecimento direto de veículos	Sistemas de injeção na rede e abastecimento de veículos já consolidados em utilizados em larga escala em vários países

Um trecho da proposta de Programa Nacional de Biogás e Biometano da ABiogás é bastante interessante no sentido de análise das tecnologias.

“Vale destacar que as condições tropicais e subtropicais brasileiras conferem à produção do biogás e do biometano vantagens comparativas em relação às que ocorrem em países frios, que hoje detém conhecimento e tecnologias referenciais mundiais, a despeito da sobrecarga tecnológica da qual precisam lançar mão para consolidar tal produção. Em outras palavras, somos primeiro mundo em termos de clima e biodiversidade para realizar operações de digestão anaeróbica de orgânicos, para obter biogás e biometano e, no entanto, ainda não nos aproveitamos desta vantagem.

O modelo internacional, principalmente europeu, de negócios com biogás consiste em concentrar dejetos e resíduos de vários produtores em um único biodigestor de alta tecnologia. Além de ganho em escala, que proporciona altas concentrações de biogás monitoradas, isto é feito para compensar a influência do clima frio e da escassa biodiversidade encontrados nos países do Hemisfério Norte. Além disso, a estrutura fundiária nestes países promove grande proximidade entre os produtores agrícolas, o que favorece uma logística de transporte de dejetos brutos ao biodigestor de alta tecnologia, o mesmo ocorrendo com o transporte do digestato (efluente do biodigestor para ser usado como fertilizante orgânico) para as lavouras dos produtores envolvidos.

A opção brasileira em geral se dá pelo emprego de biodigestores de média tecnologia para grandes produtores de resíduos e efluentes orgânicos e biodigestores de baixa tecnologia para conjuntos de pequenos produtores em operações condominiais. Os ganhos de eficiência e confiabilidade dos sistemas de produção de biogás com soluções adaptadas e tropicalizadas são essenciais para a implementação de políticas públicas.” (ABIOGÁS, 2015).

4.1.7. Modelos de negócio

A partir da combinação dos substratos e das aplicações energéticas, diversos arranjos técnico-econômicos podem ser realizados, tornando cada modelo de negócio do biogás único.

Além disso, os modelos de negócio variam também conforme o local onde o substrato está disponível. A produção de biogás pode ocorrer em um local onde haja grande produção de efluentes ou resíduos de forma concentrada ou em uma central que pode receber substratos de diversos fornecedores e, assim, tornar o processo viável. Existe também a possibilidade de se produzir biogás de maneira descentralizada e transportá-lo por uma rede de gás para gerar energia elétrica, ou destiná-lo ao uso térmico ou refino.

A escolha pela aplicação energética deve ser baseada, antes de tudo, na demanda energética da propriedade rural, indústria, estação de tratamento de esgoto (ETE) ou aterro em que a planta estiver instalada. Ou seja, deve-se analisar se a demanda é por energia elétrica, calor ou combustível e qual o regime dessa demanda diariamente, mensalmente e anualmente. Também é possível haver modelos de negócio que integrem mais de uma aplicação energética.

Ainda é possível haver modelos diferentes conforme a escolha da forma de consumo ou venda da energia, podendo gerar recursos econômicos (custo evitado) ou financeiros (venda), como é possível ver na Figura 11.

Figura 11. Modelos de negócio para a geração de recursos econômicos ou financeiros com biogás.

Energia elétrica	Calor	Biometano
<ul style="list-style-type: none"> •Autoconsumo •Compensação – Mercado regulado •Venda por leilão ou chamada pública - Mercado regulado •Venda – Mercado livre 	<ul style="list-style-type: none"> •Autoconsumo •Venda diretamente ao consumidor (indústrias) 	<ul style="list-style-type: none"> •Autoconsumo •Venda - Diretamente ao consumidor (veículos e indústrias) •Venda - Concessionária de gás

A seguir são descritos alguns dos modelos de negócio conforme a aplicação energética. Porém, é importante destacar que a viabilidade econômica de cada modelo deve ser analisada individualmente, pois as condições variam bastante.

4.1.7.1. Geração de energia elétrica

Considerando-se os casos em que o uso mais adequado para o biogás é a geração de energia elétrica, é necessário avaliar as possibilidades de consumo da energia elétrica gerada dentre as seguintes opções: consumo próprio (isolado ou em geração distribuída), modelo de compensação via geração distribuída, venda em leilão ou venda no mercado livre. Para essa tomada de decisão é necessário avaliar o custo evitado ou o valor da tarifa para comercialização e os riscos e oportunidades de cada modelo.

A energia elétrica gerada em uma planta de biogás pode ser aproveitada para consumo na própria planta em um sistema conectado ou desconectado da rede elétrica. No caso da conexão da planta à rede de distribuição, dentro do modelo de compensação via GD, conforme regulamenta a Resolução Normativa ANEEL N° 687/2015, as modalidades enquadradas são:

- Autoconsumo - caso a geração seja maior que o consumo, o excedente é injetado na rede elétrica, gerando créditos de energia. Quando a geração for menor que o consumo, será utilizada a energia da própria rede elétrica. Os créditos podem ser utilizados para abater o consumo em até 60 meses;
- Autoconsumo remoto – o consumidor poderá usar os créditos para abater a fatura de outros imóveis cuja conta esteja sob a mesma titularidade;
- Condomínios – os condomínios podem fazer a compensação de forma conjunta das contas de suas unidades;

- Consórcios/Cooperativas – interessados isolados se unem e fazem a compensação conjunta das faturas.

Essas modalidades permitem que diversos modelos de negócio sejam estabelecidos para viabilizar investimentos na geração de energia elétrica a partir de biogás. Porém, uma das barreiras para a viabilidade é a cobrança do ICMS na energia gerada, que inviabiliza alguns projetos de menor porte.

Por meio do Convênio ICMS nº 6/2013, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da ANEEL. Até julho de 2018, segundo o CONFAZ (2018), 20 estados e o Distrito Federal já haviam aderido a esse convênio, permitindo reduzir consideravelmente o tempo de retorno dos investimentos e tornando-os economicamente mais viáveis. Esse mecanismo pode ajudar a incentivar o uso energético do biogás (BELIN et al., 2015).

Para plantas de pequeno e médio porte, os modelos de autoconsumo e compensação via GD são os mais atrativos, pois é possível obter tarifas por unidade de energia produzida maiores do que as negociadas no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL)¹¹, capazes de viabilizar esse perfil de projeto com geração menor do que 5 MW. Porém, na área rural o valor da tarifa de energia elétrica é menor que na área urbana ou para indústrias e essa é uma variável que pode interferir bastante na viabilidade do projeto de biogás, por gerar um custo evitado menor.

Plantas de grande porte, onde o processo de produção do biogás é centralizado, como nas indústrias ou aterros sanitários, têm comumente o potencial de produção superior a 5 MW, excluindo a opção de compensação de energia elétrica. Assim, essas plantas podem optar por comercializar energia no ACR ou no ACL.

É interessante destacar que o fato de o biogás poder ser armazenado confere uma vantagem competitiva em relação a outras fontes de energia renováveis não convencionais (solar e eólica). Com a estocagem do biogás, a planta pode decidir pelo momento mais adequado para geração e despacho de energia elétrica. Com isso, em unidades consumidoras

¹¹ O ACR é o ambiente em que operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição são precedidas de licitação e o ACL é o ambiente em que operações de compra e venda de energia elétrica ocorrem por contratos bilaterais livremente negociados.

que tem diferença de valor de tarifa ao longo do dia, é possível ao operador da planta fazer a opção de usar a geração a biogás em momentos que a energia da rede está mais cara.

Dessa forma, a energia elétrica pode ser considerada uma das formas de geração mais versáteis para o biogás, uma vez que a grande maioria dos locais com bom potencial de produção de biogás são também atendidas pela rede de distribuição de energia elétrica, a qual é bastante densa e abrange quase todo o território nacional.

4.1.7.2. Geração de calor

Esse modelo de negócio depende da demanda por calor dentro da própria unidade produtiva ou muito próximo à planta, para que seja viável. Essa demanda comumente já é atendida por combustíveis como GLP, lenha ou gás natural, e o tipo e custo do combustível que será substituído também interferem bastante na viabilidade.

Esse tipo de aplicação é a que possui soluções tecnológicas de mais baixo custo, sendo por isso mais recorrente em plantas de pequena e média escala. Na pecuária, a aplicação ocorre normalmente no aquecimento dos animais, especialmente no sul do Brasil (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014). Na indústria, a demanda é para os processos produtivos em geral como de fecularias, cervejarias, laticínios ou abatedouros e, por isso, esse setor é o que mais utiliza o biogás para geração de calor, segundo dados apresentados na Figura 29 e Figura 30. Em muitos casos, a indústria já possui o sistema de biodigestão para tratamento de seus efluentes e queima o biogás em *flare*. Assim, o investimento necessário é baixo, pois envolve transporte do biogás para o ponto de queima e adaptação de caldeiras e queimadores.

No entanto, outros modelos de negócio poderiam ser mais atrativos para essas indústrias, como processos de cogeração de energia elétrica e calor utilizando turbinas a vapor. De qualquer forma, modelos de negócio que considerem a geração de calor são muito importantes, já que alcançam viabilidade econômica em uma grande parcela do setor de biogás.

4.1.7.3. Produção de biometano

Atualmente as tecnologias para produção de biometano têm custo mais elevado que a produção de biogás devido ao processo de refino e, por isso, apenas se tornam viáveis em plantas de média ou grande escala. Dessa forma, comumente apenas grandes plantas têm viabilidade para essa aplicação energética (JENDE et al., 2016).

Uma das possibilidades de aplicação do biometano é de injeção na rede de gás natural para abastecimento de veículos ou uso industrial ou residencial. Para isso, como ainda não existe obrigação de mistura de biometano ao gás natural, apenas a autorização para tal desde

que atendendo à regulamentação existente, o biometano precisa ter preço competitivo com o gás natural, o que ainda não é possível na maioria dos projetos.

Os modelos de negócio com foco na produção de biometano para uso veicular em alguns casos, apesar de viáveis economicamente, esbarram na barreira da logística de abastecimento, uma vez que somente a criação de um grande mercado consumidor e produtor viabilizaria a implantação de diversos postos de abastecimento em regiões onde hoje não existe a opção de abastecimento com o GNV. Em regiões onde já existe abastecimento de GNV e frota de carros convertidos, é possível aproveitar a logística existente de abastecimento. Assim, o biometano se mostra mais facilmente aplicável em frotas próprias, que podem ser abastecidas em um posto centralizado, onde é possível controlar o atendimento da demanda pelo combustível.

O biometano também pode ser utilizado para o aproveitamento do potencial local para geração descentralizada e abastecimento de tratores e máquinas agrícolas, em substituição ao óleo diesel (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014). Ainda que o óleo diesel comercializado seja constituído de uma mistura com biodiesel, a proporção deste é relativamente menor e a substituição do óleo diesel comercial pelo biometano promoveria a redução dos impactos ambientais, além de vantagens econômicas pelo fato de se adotar um biocombustível produzido localmente em detrimento de um combustível transportado por longas distâncias em caminhões também a óleo diesel.

Excepcionalmente, o biometano também pode ser utilizado para geração de energia elétrica em projetos de maior porte, onde os ganhos de eficiência passam a compensar o investimento no refino do biogás (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014).

4.1.8. Conclusões

Analisando os dados, quanto à P&D, pode-se dizer que a maior parte das iniciativas ocorreu nos dez últimos anos e, em especial, na região Sul do Brasil, o que é coerente com a disponibilidade de resíduos da pecuária intensiva, especialmente suinocultura, bovinocultura de leite e avicultura, para produção de biogás e com a problemática ambiental relacionada à disposição desses resíduos. A partir de 2012 houve chamadas de projetos em nível nacional e com a participação de instituições internacionais, o que sinaliza a dimensão que o tema começa a tomar no país. Em alguns casos, observou-se que não há relatórios ou publicações acessíveis pela internet apresentando os resultados dos projetos e o retorno dos recursos investidos. Isso

prejudica o desenvolvimento das tecnologias e a execução de outros projetos, pois o conhecimento que foi gerado não é compartilhado.

Assim, para a viabilização do biogás como fonte energética será necessário investimento em pesquisa e desenvolvimento com recursos do setor público e do privado e execução do investimento com eficiência para alcançar bons resultados e divulga-los para o setor. Além da melhoria das tecnologias nacionais existentes, será importante a adaptação das tecnologias estrangeiras que estão sendo trazidas ao país. Nesse caso, é essencial que haja mão de obra nacional capacitada para atuar na área, garantindo o crescimento da cadeia produtiva em torno do biogás e, conseqüentemente, os benefícios para o crescimento das regiões envolvidas e do país

Em seguida foram analisadas as políticas e programas do setor público para o biogás nos últimos anos, e observou-se que há leis de incentivo à produção de biogás, como a PNRS e as do Rio de Janeiro, São Paulo Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná; há também resoluções da ANEEL e ANP relacionados ao biogás e biometano e leis estaduais incentivando o uso do biometano complementarmente ao gás natural. No caso das leis estaduais de biogás, não há até o momento nenhuma regulamentação dessas leis, que defina, por exemplo, o preço e a quantidade de biometano a ser injetado na rede. Além disso, entre os anos de 2015 e 2018, 20 dos 26 estados brasileiros e o Distrito Federal concederam isenção do imposto sobre a venda de energia elétrica através do sistema de compensação da Resolução ANEEL nº 482/1012, segundo o CONFAZ (2018). Isso torna a geração distribuída mais viável economicamente, sendo um importante propulsor do uso do biogás.

No nível federal, foi desenvolvida recentemente uma nova política para expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, inclusive o biogás, chamada *RenovaBio*. Essa política foi sancionada no final de 2017 e utiliza o mecanismo de certificados verdes. O biogás poderá ser beneficiado com essa política, já que tem a menor pegada de carbono em comparação com outros biocombustíveis (etanol, biodiesel, bioquerosene, etc.). No entanto, devido aos custos envolvidos no processo de certificação, provavelmente apenas grandes usinas terão viabilidade para entrar neste mercado. Além disso, o *Renovabio* apenas prevê a geração de certificados para o biometano, excluindo assim uma boa parcela das plantas do país que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica, calor ou energia mecânica. Segundo dados desse estudo, apenas 2% das plantas e 0,4 % do volume de biogás do Brasil eram destinados para a produção de biometano. Mesmo considerando a perspectiva de crescimento do setor a longo prazo, apenas uma parte do setor de biogás poderia ser beneficiado pelo *Renovabio*, inclusive porque plantas de pequena escala não se viabilizam para produção de biometano.

Outro ponto importante a ser destacado é que o biometano ainda é um combustível com tecnologias em desenvolvimento e consolidação, ou seja, os modelos de negócio para viabilização dos projetos ainda estão em definição. Com isso, o preço do biometano pode ficar acima do valor dos combustíveis que pode substituir, como gás natural ou gasolina, prejudicando a entrada do biometano no mercado. Não havendo um mandato para compra de biometano mesmo com preço mais elevado que o substituto, os projetos não se viabilizariam e, conseqüentemente, nem entrariam no mercado de certificados. Dessa forma, fica claro que o Renovabio não pode ser considerado, a princípio, uma política definitiva e completa de incentivo ao biogás como nova fonte de energia renovável. No entanto, é notável que será interessante para parte do setor e poderia apoiar no seu crescimento.

As políticas públicas são muito importantes para permitir que uma tecnologia sustentável se torne viável até que seus custos de implementação sejam absorvidos pelo mercado. Assim, embora existam várias iniciativas que incentivem o uso do biogás no país, é essencial que elas sejam organizadas e coordenadas para objetivos comuns. Portanto, o papel do Estado é uma prioridade na construção de uma política pública agregada para incentivar o biogás. Nesse sentido, observa-se que nos últimos anos, o ambiente político e regulatório do Brasil foi se tornando mais favorável para o setor de biogás, demonstrando que provavelmente o potencial energético do setor está sendo visto pelo Estado. As regulações para geração distribuída e para o biometano foram marcos importantes, além da inclusão em 2014 do biogás em estudos da EPE. Outro ponto que demonstra a melhoria desse ambiente, é a criação de políticas públicas estaduais para o biogás em alguns estados. Porém, a maioria dos estados brasileiros ainda não dá sinais de movimentação para criação de políticas públicas específicas, o que indica ainda que há barreiras a serem superadas.

No caso das políticas públicas estaduais para biogás que estão em discussão ou que já foram promulgadas, considera-se que são muito importantes para incentivar investimentos e dar base para que instituições relacionadas ao governo implementem programas no sentido de executar essas políticas. De qualquer forma, ainda se percebe a falta de uma política em nível nacional que seja abrangente para todos os setores com potencial de produção de biogás e para todas as formas de energia em que pode ser aproveitado.

Analisando os planos e programas mencionados constatou-se que o Plano de Agroenergia promoveu resultados mais significativos na área de biodiesel e na área industrial sucroalcooleira, apesar de possuir metas para o biogás. Já no Plano ABC, o foco é a redução de emissões de carbono e, com isso, não se garante que será gerado biogás para aplicação energética no tratamento dos dejetos. De qualquer forma, é uma iniciativa que vem trazendo

resultados positivos, por disponibilizar uma linha de crédito com condições interessantes para o biogás. O Probiogás destaca-se por ter sido um projeto que objetivava o uso energético do biogás e tinha apoio técnico e financeiro de instituições alemãs, país avançado na geração de biogás. No entanto, além de já ter sido encerrado, era um projeto do Ministério das Cidades, com foco na questão de biogás para saneamento urbano. Porém, as publicações feitas pelo projeto são de alto nível técnico e estão disponíveis para visualização no site do Ministério.

Importante destacar que, além do Probiogás, não há um programa específico para incentivar o biogás no Brasil, diferentemente do etanol e do biodiesel. Assim, fica claro que o setor de biogás, por seu potencial para o país, também deveria ter a oportunidade de ter um programa de incentivo específico que considerasse sua complexidade e benefícios, a exemplo do que ocorreu com o etanol e o biodiesel, setores já consolidados no país. Porém, em julho de 2018 foi lançado um projeto de incentivo ao biogás no agronegócio do sul do Brasil que terá recursos do Fundo Global de Meio Ambiente (GEF, sigla em inglês) e será implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO, sigla em inglês), com a coordenação do MME, MCTIC, Itaipu Binacional e CIBiogás.

Analisando as iniciativas do setor privado, observa-se que, apesar da produção de biogás ter se iniciado há alguns anos em algumas empresas, apenas em 2013 foram criadas associações de empresas e instituições para representá-las e unificar suas reivindicações. Essas associações auxiliam na criação de uma política pública para o biogás e buscam garantir que seja factível e conectada à realidade do setor. Adicionalmente, é importante que se tenha uma noção real da dimensão do setor do biogás no país, ou seja, que sejam mapeados os empreendimentos existentes.

A ABBM é uma associação com pouca representatividade no mercado e na esfera pública, participando de poucos eventos e sendo pouco conhecida pelo setor. Já a ABiogás, tem uma atuação mais dinâmica e abrangente, contribuindo em consultas públicas, eventos, articulação com os governos para criação de leis, normativas e regulações específicas. Porém, deve-se levar em conta que a ABiogás representa os interesses de seus associados, que na grande maioria são grandes empresas do setor de produção de biogás ou de equipamentos. Dessa forma, parte do setor de biogás pode não estar sendo representada pela ABiogás, sendo importante que haja outros fóruns e espaços para que todos participem.

Outro contexto analisado nesse estudo foi sobre os mecanismos de financiamento disponíveis. Esses mecanismos são importantes para garantir a implantação de plantas de biogás em larga escala e é necessário que haja recursos disponíveis para financiamento a taxas de juro atrativas, considerando que em alguns casos o investimento possui certo risco, pelas incertezas

tecnológicas. Com isso, seria importante haver mais linha de financiamento adaptadas às tecnologias disponíveis e às necessidades do setor produtivo, garantindo a expansão do uso e os ganhos de escala, como redução de custos de instalação, operação e manutenção.

Em relação ao nível tecnológico das plantas de biogás do Brasil, observa-se que ainda é baixo e, conseqüente, baixa também é a eficiência de aproveitamento do potencial de produção de biogás do substrato e do potencial energético do biogás produzido. Assim, uma das formas de tornar a produção de biogás mais atrativa economicamente seria incentivando o uso de tecnologias mais eficientes, mesmo que isso resultasse em um maior investimento inicial. Em alguns casos, quando está se investindo em uma planta, há a tendência de tentar reduzir custos iniciais em detrimento dos custos de operação e manutenção. Ou seja, a redução do investimento inicial por uso de tecnologias de baixo nível tecnológico pode causar situações em que os custos de operação ou manutenção acabem por ser mais altos do que seriam se utilizado um equipamento de nível tecnológico adequado. Dessa forma, é importante analisar o nível tecnológico das plantas de biogás e acompanhar o avanço, já que isso pode influenciar o crescimento sustentável do setor e reduzir a percepção de risco do investidor.

4.2. Análise do potencial de produção de biogás para fins energéticos no Brasil

O estudo do potencial de produção do biogás de uma região ou país é importante para orientar o mercado nos investimentos e o Estado na definição de políticas públicas e no planejamento. Além da quantidade de biogás que pode ser gerado, é interessante que os dados estejam espacializados, ou seja, sejam localizados geograficamente para serem visualizados em mapas. Com isso, os dados de potencial se tornam mais precisos para um planejamento detalhado.

Além disso, é importante que se defina qual a abordagem de estudo de potencial que está sendo feita, por exemplo, teórico, técnico, econômico ou outros, já mencionados no Capítulo 2. Essas diferentes abordagens produzem diferentes resultados de potencial de produção de biogás, o que interfere fortemente no planejamento e investimentos.

Assim, a seguir apresenta-se os resultados da Etapa 2 da metodologia de pesquisa caracterizados a partir de diferentes abordagens de estudos de potencial, após os estudos que foram publicados no Brasil entre 1999 e 2017, e são detalhados os resultados de um dos estudos considerados mais completos e atualizados.

4.2.1. Estudos de potencial de produção de biogás realizados no Brasil

O levantamento realizado resultou em 22 estudos publicados entre 1999 e 2017 que quantificaram o potencial de produção de biogás no Brasil. A Tabela 4 sintetiza algumas informações sobre tais estudos.

Dentre os estudos analisados, as publicações da EPE realizadas em 2014 foram um marco no desenvolvimento do setor de biogás do Brasil. O estudo do potencial de produção de biogás por uma instituição de pesquisa energética é chave para que essa fonte de energia passe a ser considerada no planejamento energético nacional. Esses estudos da EPE são, provavelmente, os mais abrangentes, detalhados e atualizados para o potencial de biogás do Brasil e, por isso, são apresentados a seguir.

Tabela 4. Estudos de potencial de produção de biogás do Brasil entre 1999 e 2014.

	Título	Tipo	Data	Biomassa ou Substrato	Região de estudo	Referência
1	Energy supply from municipal wastes: the potential of biogas-fuelled buses in Brazil	Revista científica	1999	RSU	Grandes municípios do Brasil	Kuwahara et al. (1999)
2	Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos	Anais de Evento	2003	Vinhaça	Brasil	Pompermayer e Júnior (2003)
3	Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits	Revista científica	2003	RSU	Brasil	Oliveira e Rosa (2003)
4	Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil	Relatório	2004	RSU	Brasil	CEPEA (2004)
5	Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil	Revista científica	2005	RSU, esgoto, vinhaça, suinocultura e bovinocultura de leite	Brasil	Salomon e Lora (2005)
6	Potencial de geração de excedentes de energia elétrica com o biogás produzido a partir da biodigestão da vinhaça na indústria sucroenergética brasileira	Anais de Evento	2006	Vinhaça	Brasil	Lamonica (2006)
7	Atlas de Bioenergia do Brasil	Atlas	2009	Suinocultura e esgoto urbano	Brasil	CENBIO (2009)
8	Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil	Dissertação mestrado	dez/09	Esgoto, indústrias, RSU e resíduos agropecuários	Brasil	Zanette (2009)
9	Inventário do potencial de geração de metano no estado de Santa Catarina	Relatório	2010	Pecuária, indústria, esgoto, RSU	Santa Catarina	UFSC e SCGAS (2010)
10	Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável	Resumo executivo	nov/10	Esgoto e RSU	86 municípios do Brasil	PNUD e MMA (2010)
11	Estimativa de produção de biogás e potencial energético dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais	Dissertação mestrado	2012	RSU	Minas Gerais	Figueiredo (2012)

	Título	Tipo	Data	Biomassa ou Substrato	Região de estudo	Referência
12	Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas	Relatório	2012	Resíduos agrossilvopastoris e agroindústrias	Brasil	IPEA (2012)
13	Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos	Atlas	2013	RSU	Brasil	ABRELPE (2013)
14	Atlas de Bioenergia do Espírito Santo	Atlas	2013	Resíduos agrícolas, Efluentes e RSU	Espírito Santo	ASPE (2013)
15	Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina	Revista científica	jun/13	Dejetos de suínos	Santa Catarina	Ritter et al. (2013)
16	Reduction of emissions from Brazilian cattle raising and the generation of energy: Intensification and confinement potentials	Revista científica	2014	Bovinocultura de leite	Brasil	Palermo et al. (2014)
17	Estimativa do potencial de produção de biogás e energia na indústria de abate de frangos no Brasil	Revista científica	2014	Abatedouros de aves	Brasil	Malaggi e Souza (2014)
18	Elaboração de atlas com o potencial de geração de energia elétrica proveniente da biomassa residual em Alagoas	Anais de evento	2014	RSU, ETEs, pecuária	Alagoas	Salomon et al. (2014)
19	Potencial de Energias Renováveis: Volume II –Biomassa, resíduos e hidroeletricidade	Relatório	abr/14	Resíduos	Minas Gerais	FEAM/MG (2014)
20	Nota técnica DEA 15/14 - Inventário Energético de Resíduos Rurais	Nota técnica	out/14	Resíduos agrícolas e da pecuária	Brasil	EPE (2014b)
21	Nota técnica DEA 18/14 - Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos	Nota técnica	out/14	RSU	Brasil	EPE (2014c)
22	Demanda de energia 2050	Nota técnica	2014	Agropecuária, indústria, aterros e ETEs		EPE (2014a)

4.2.2. Potencial de produção de biogás do Brasil – Resultados da EPE

No estudo de demanda de energia para 2050 (EPE, 2014a) e nos inventários energéticos de resíduos agrícolas (EPE, 2014b) e de resíduos sólidos urbanos (EPE, 2014c) da EPE já se reconhece a importância do biogás e da autoprodução de energia elétrica do setor energético brasileiro. O potencial técnico em 2011 para os resíduos agrícolas era de cerca de 14,3 milhões de $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ de biometano combustível e de 3.478 MW de capacidade elétrica instalada (EPE, 2014b). Para os resíduos sólidos urbanos, o potencial técnico era de 4,2 milhões $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ de biometano combustível e capacidade elétrica instalada de 868 MW (EPE, 2014c). Isso totaliza um potencial técnico de 18,5 milhões de $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ de biometano combustível e 4.346 MW de capacidade instalada para a geração de energia elétrica.

É importante notar que esses valores não consideram o potencial do esgoto sanitário e dos resíduos e efluentes industriais, como do setor sucroenergético. Em 2004, o potencial de produção de biometano dos resíduos da indústria de cana-de-açúcar foi estimado por Zanette

(2009) como sendo 4,05 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ e da indústria de papel e celulose de 7,83 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

Sendo assim, o potencial técnico de produção do combustível biometano no Brasil em 2014 seria de cerca de 30 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Esses estudos indicam um potencial técnico significativo de produção e uso energético do biogás, destacando-se as regiões agrícolas do país. Apesar disso, é importante considerar que no Brasil o potencial de biogás é distribuído em todo o território, o que dificulta a exploração em alguns casos. Na Figura 12 é apresentado um mapa do Brasil com o potencial disponível de biogás dos resíduos da pecuária, onde é possível observar o potencial considerável do interior do país e a sua dispersão espacial.

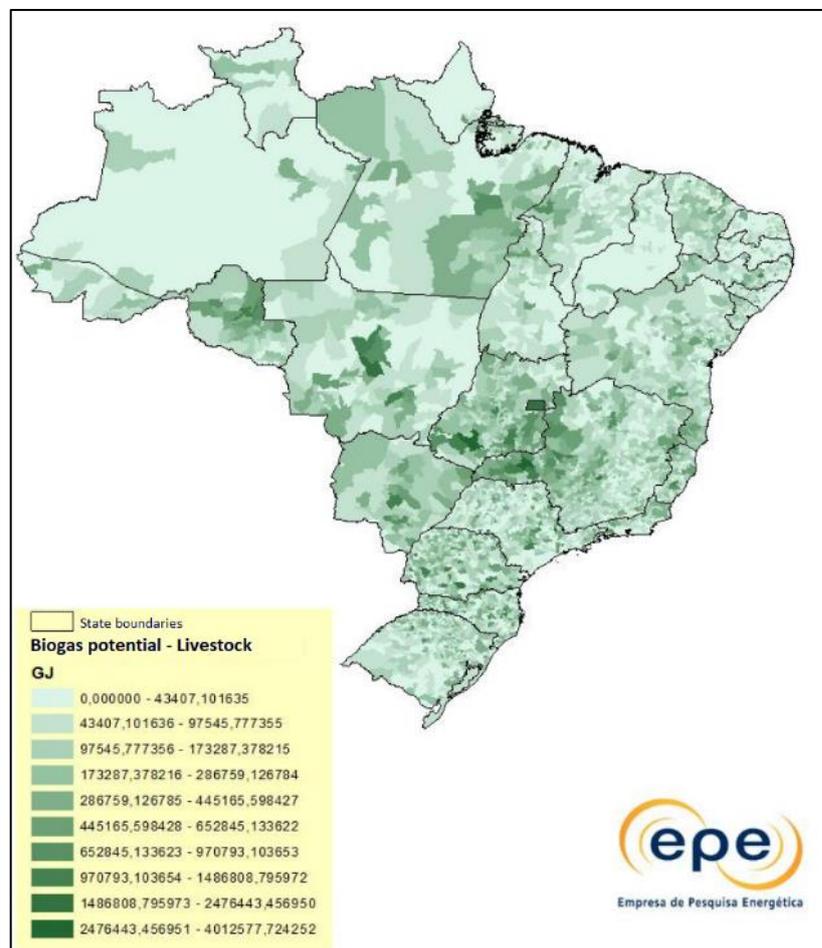


Figura 12. Mapa do potencial de produção de biogás a partir de resíduos da pecuária no Brasil.

Fonte: EPE (2014b).

Além disso, comparando o mapa da Figura 12 com o mapa de gasodutos de gás natural do país (Figura 13), é possível concluir que a produção potencial de biogás e biometano estão relativamente longe da infraestrutura de gás. Isso dificultaria ainda mais o aproveitamento desse potencial para a produção de biometano para injeção na rede.

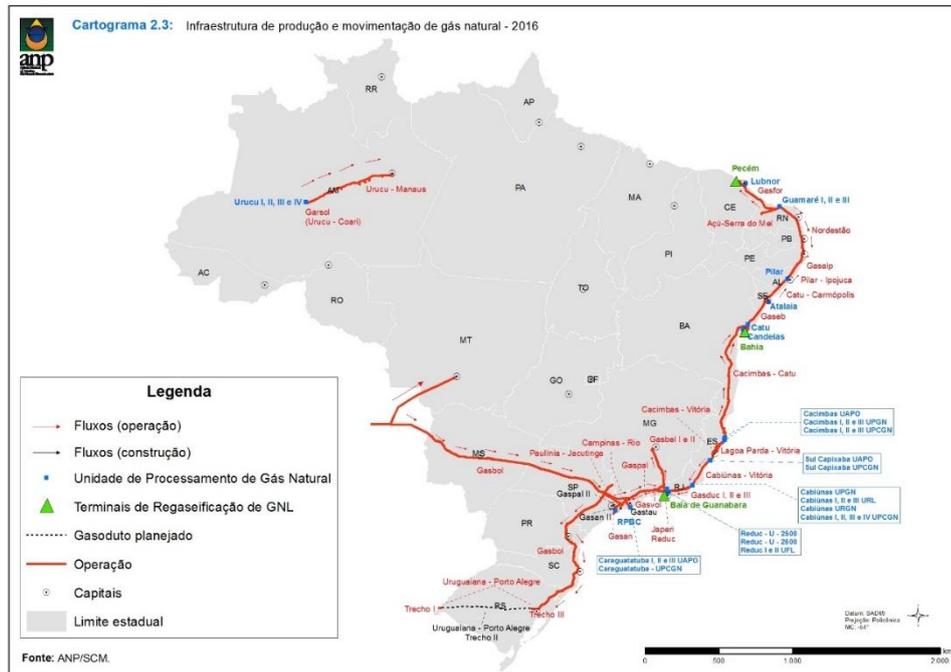


Figura 13. Mapa da infraestrutura de produção e movimentação de gás natural do Brasil.
Fonte: ANP/SCM (2016).

O relatório da EPE sobre a demanda de energia no Brasil em 2050 apresentou uma projeção para a produção de biogás considerando todas as categorias de resíduos e efluentes e o potencial econômico, que é menor que o potencial teórico ou o técnico¹². Para definir o potencial econômico, dois cenários foram utilizados pela EPE para a estimativa: políticas atuais (PA) e novas políticas (NP) para incentivar essa fonte de energia. Além disso, a EPE analisou o potencial econômico da aplicação do biogás na geração de energia elétrica em capacidade instalada (MW) e quantidade de biogás utilizado para eletricidade. Essa quantidade, por questão de convenção, foi apresentada em biometano equivalente ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$). Também foi estimado o potencial econômico se o biogás fosse aplicado na produção de biometano combustível.

Assim, considerando a aplicação do biogás na geração de energia elétrica, o resultado no cenário de PA seria de uma capacidade instalada de produção de eletricidade de 2.850 MW e, para o cenário de NP, seria equivalente a 5.188 MW (EPE, 2014d). Essa capacidade instalada seria equivalente a 15,25 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ de biometano equivalente no cenário PA e 28,39 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ de biometano equivalente no cenário NP, o que representaria 7% do potencial teórico no cenário PA e 13% no cenário de NP (EPE, 2014d). Como forma de compreender a

¹² O potencial teórico de produção de biogás seria de 217,52 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ de biometano equivalente em 2050 (EPE, 2014a).

dimensão desse potencial, o consumo médio de gás natural do Brasil em 2016, segundo a ANP (2017), foi de 25,6 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

Na Figura 14 e na Figura 15 é possível observar a projeção da produção de eletricidade a partir do biogás até 2050 (MW médio) e a quantidade de biometano equivalente ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), respectivamente.

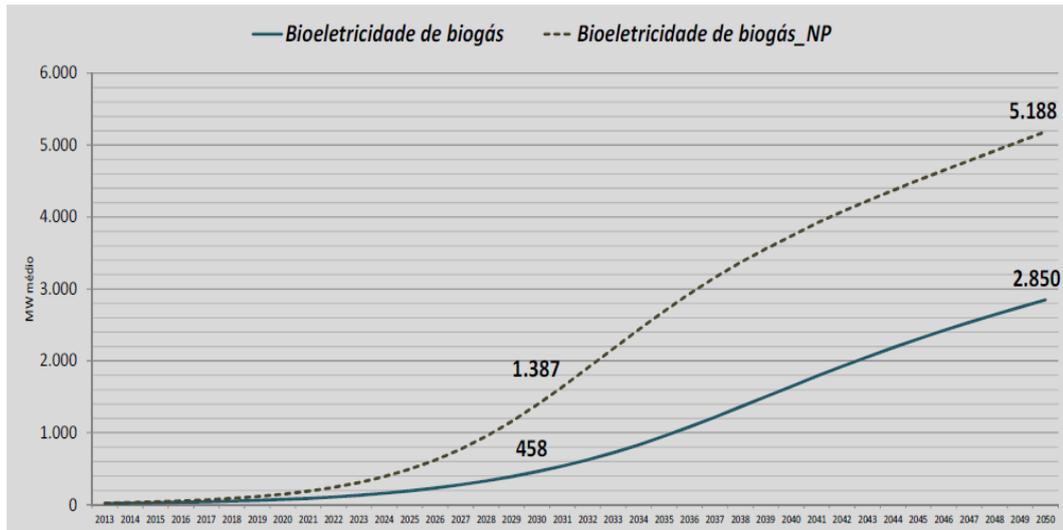


Figura 14. Projeção da penetração do biogás como fonte para geração de energia elétrica até 2050, em MW médio.

Fonte: EPE (2014a)

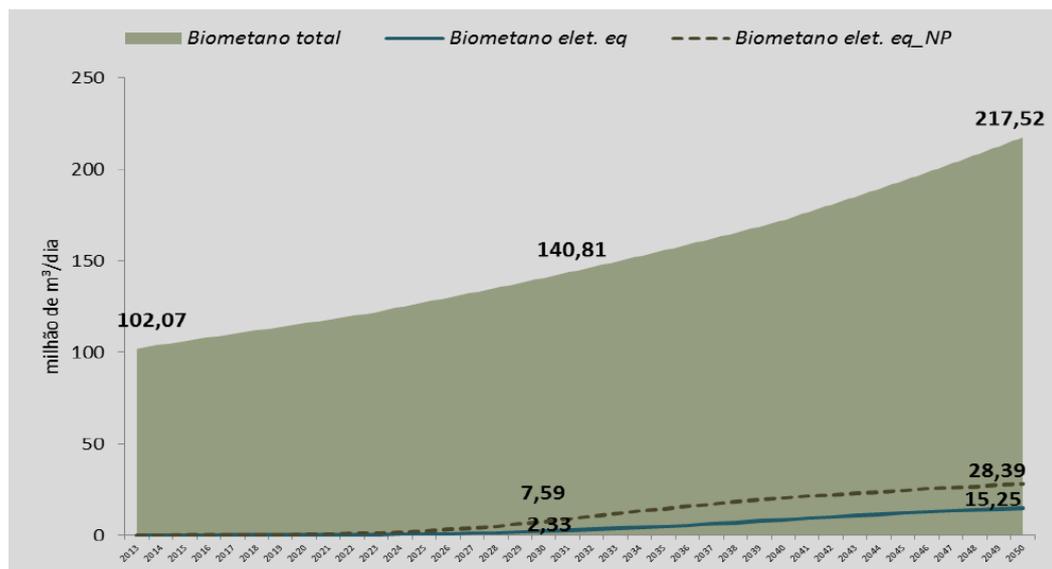


Figura 15. Projeção da penetração do biogás como fonte para energia elétrica até 2050, em biometano equivalente versus potencial teórico.

Fonte: EPE (2014a)

Em 2017, a EPE publicou o “Plano Decenal de Expansão de Energia 2026”, que tem como uma de suas premissas socioambientais a compatibilidade das emissões de GEE associadas à expansão da produção e uso de energia com as diretrizes propostas na NDC brasileira (MME/EPE, 2017). Sendo assim, para 2026, a capacidade instalada utilizando o biogás como fonte de energia será de 273 MW, dados semelhantes ao relatório anterior. Em comparação com outras fontes renováveis alternativas, como a energia solar fotovoltaica (capacidade instalada de 3.611 MW para 2026), o biogás não terá uma participação tão grande na capacidade instalada de eletricidade, mas é considerável o aumento em relação à participação atual (Figura 16).

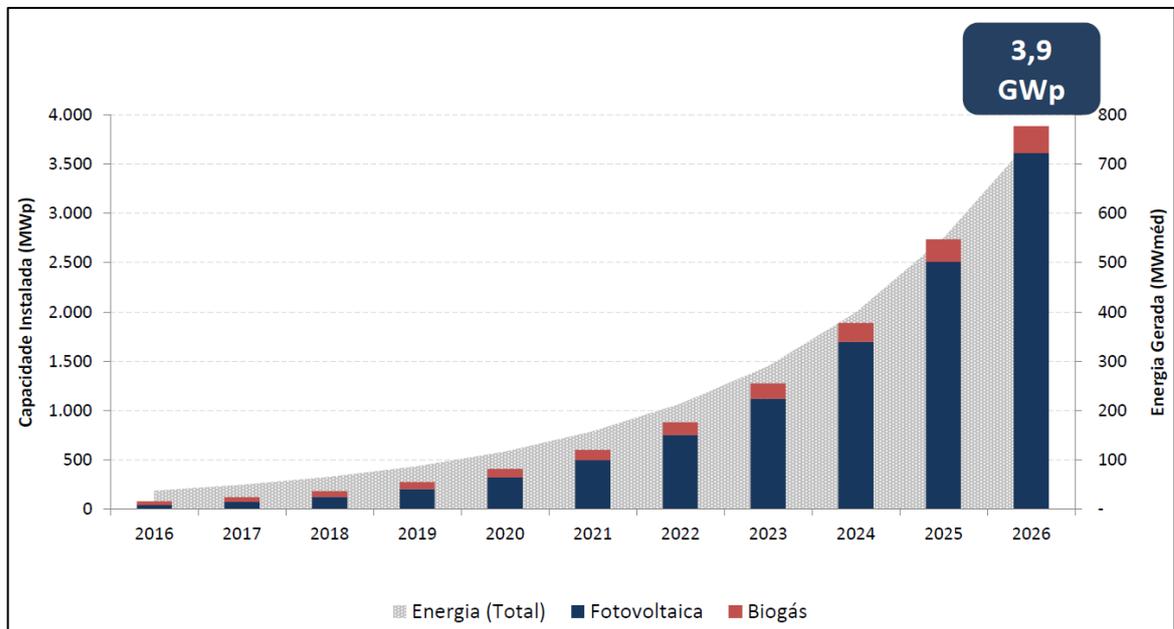


Figura 16. Projeção de crescimento da geração de energia elétrica e da capacidade instalada com biogás e solar fotovoltaica até 2026.

Fonte: MME/EPE (2017).

No entanto, se a opção fosse usar o biogás como combustível na forma de biometano, a estimativa para 2050 seria de produzir 66,24 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ no cenário NP e 36 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ no cenário PA, segundo EPE (2014a). Estes seriam equivalentes a 16% do potencial teórico no cenário atual e 30% no novo cenário de novas políticas (Figura 17).

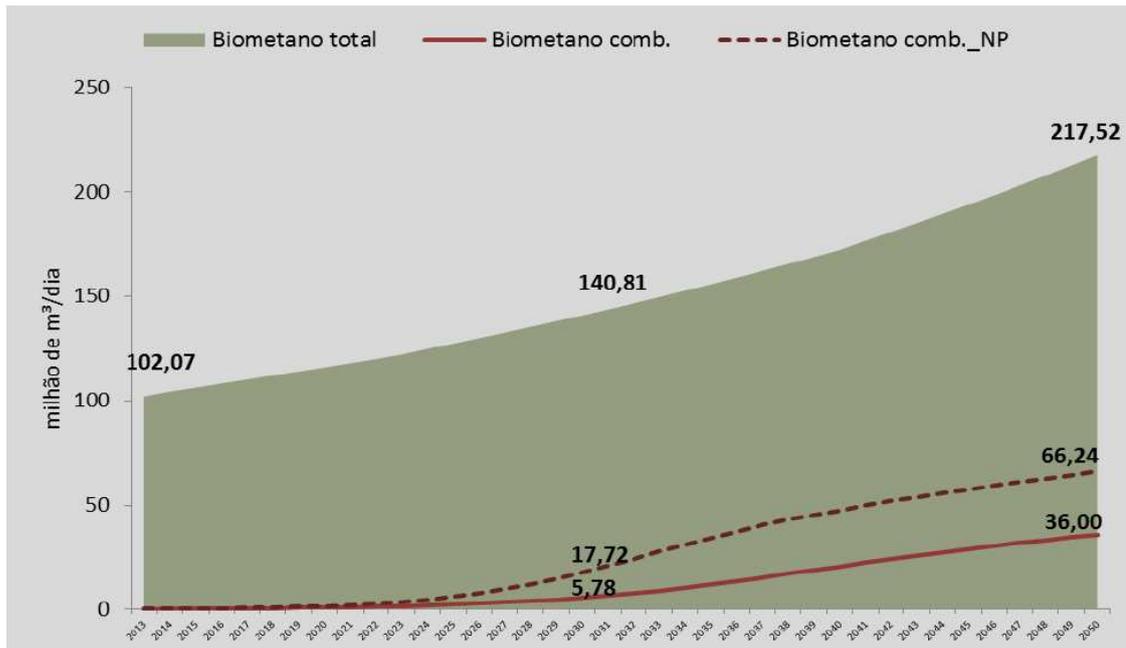


Figura 17. Projeção da penetração do biogás para a produção de biometano combustível até 2050 versus potencial teórico.

Fonte: EPE (2014d).

De acordo com os dados apresentados nas Figuras 15 e 17, o aproveitamento do potencial teórico seria maior para o biometano como combustível do que para o seu uso na geração de eletricidade em ambos os cenários. Provavelmente isso ocorra porque projetos de biometano combustível podem ser mais viáveis economicamente pelo fato do biometano substituir o gás natural, que tem um valor maior que o da eletricidade, se comparado ao conteúdo energético (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014).

De qualquer forma, os planos mostram que existe um grande potencial para a produção de biogás no Brasil visando tanto a geração de eletricidade quanto de biometano. No entanto, para se tornar realidade é necessária a adoção de políticas para promover o desenvolvimento do setor e um crescimento ainda maior.

4.2.3. Conclusões

Nessa etapa de levantamento e a análise de estudos de potencial de produção de biogás no Brasil já publicados, observou-se que, dentre os 22 estudos de potencial de biogás analisados, grande parte deles foi publicada no âmbito científico, principalmente entre 1999 e 2008. Observa-se que a partir de 2009 começaram a haver mais publicações de instituições e empresas. O aumento da quantidade de publicações de instituições e empresas pode ser um

indicativo que o setor começou a despertar mais interesse por haver iniciativas de produção de sucesso. Outra causa desse maior interesse pode ter sido o crescimento do setor de biogás internacionalmente e a necessidade de medidas ambientais, como a redução de emissões de GEE e o tratamento de efluentes.

Ainda acerca dos estudos de potencial, observou-se que os dados utilizados como base para os cálculos são de períodos variados, inclusive em um mesmo estudo para substratos diferentes. Como algumas bases de dados não são atualizadas anualmente, os resultados não refletem, necessariamente, o potencial do ano do estudo. Além disso, o uso de dados de diferentes períodos dificulta a comparação entre os estudos de uma mesma região e o agrupamento de estudos de regiões diferentes. Ademais, os resíduos sólidos urbanos foram o foco da maioria dos estudos, possivelmente por serem disponibilizados em aterros que produzem biogás naturalmente e em grandes quantidades concentradas e serem uma questão ambiental visível para mais pessoas por estarem próximos a centros urbanos. Em relação à área de abrangência dos estudos, a maioria analisou o potencial para todo o país, porém há alguns estudos que analisaram o potencial em nível estadual. Estudos que considerem todo o país são interessantes para balizar o desenvolvimento do setor e de políticas públicas nacionalmente, porém, muitas vezes, apresentam menor precisão por analisar uma grande área e demandar generalizações consideráveis, o que torna importante os levantamentos em nível estadual.

Também foi possível observar que a maioria dos estudos não definia exatamente qual a categoria de potencial que estava analisando, conforme conceitos apresentados no Capítulo 2.2, o que pode gerar interpretações e comparações errôneas dos resultados, prejudicando o entendimento do setor pelos tomadores de decisão do poder público e investidores. Sobre as metodologias utilizadas, observa-se que alguns estudos aplicaram metodologias de cálculo de emissões de GEE do IPCC, o que é justificável em casos que a produção de biogás não é o objetivo em si da atividade, como é o caso de aterros sanitários. Porém, essas metodologias não são adequadas quando se pensa na produção de biogás como atividade fim, ou seja, a instalação de um sistema para produzir e utilizar biogás. Nesse caso, as metodologias devem considerar que as tecnologias instaladas buscam uma eficiência para a produção máxima de biogás possível e não apenas coleta do biogás produzido naturalmente. Daí a importância de deixar claro o contexto em que um estudo de potencial se insere para garantir sua correta interpretação.

Metodologias focadas na produção de biogás como atividade econômica demandam parâmetros de cálculo coerentes com isso. O que se observa é que muitos dos parâmetros utilizados nos estudos foram gerados em pesquisas de décadas atrás, o que não os invalida, mas podem não estar coerentes com as atuais tecnologias de produção de biogás. Além disso, em

muitos casos esses parâmetros foram gerados em pesquisas que consideravam majoritariamente a biodigestão como um meio para tratamento do efluente, focando-se na eficiência do tratamento e não na eficiência da produção de biogás de um substrato ou mistura de vários substratos. Assim, considera-se imprescindível para o desenvolvimento do setor a definição de parâmetros de produção de biogás adequada à visão mercadológica dessa fonte de energia.

Outra dificuldade na análise dos estudos é a falta de uniformidade na forma de apresentação dos resultados e, especialmente, na unidade de medida utilizada. Assim, a falta de uma metodologia de estudo de potencial unificada ou de um padrão de apresentação dos dados acaba dificultando a análise do potencial indicado pelos estudos. Para o desenvolvimento do setor de biogás do Brasil é imprescindível haver bancos de dados e métodos validados e unificados para levantamento do potencial de produção de biogás dos substratos mais comuns do Brasil. Com isso será possível analisar o setor e propor políticas e mecanismos de incentivo para que o potencial seja realizado. Apesar disso, os estudos analisados são, sem dúvida, boas referências sobre o potencial brasileiro de produção de biogás e juntos motivam a busca pelo crescimento do setor e a valorização dessa fonte de energia renovável.

4.3. Levantamento de plantas existentes de produção de biogás para fins energéticos do Brasil

Apesar do setor de biogás brasileiro não ser tão expressivo quanto em países europeus como Alemanha e Itália, já existem algumas unidades de produção e uso energético do biogás no país. Uma das fontes de informações sobre as unidades existentes foi o Banco de Informações de Geradores (BIG) da ANEEL, em que estão cadastradas as usinas outorgadas para geração de energia elétrica de todo o SIN, incluindo o biogás.

Os dados utilizados dessa fonte de informação foram o nome e proprietário do empreendimento, o município e estado em que está instalado, a data de entrada em operação, a potência instalada e a fonte utilizada para gerar a energia elétrica. Essas informações foram utilizadas como base para a busca de informações adicionais do cadastro.

Porém, o BIG só contempla as plantas que geram energia elétrica e estão conectadas ao sistema. Assim, as plantas que geram energia elétrica para o próprio consumo ou que aplicam o biogás na produção de calor, energia mecânica ou biometano não estão incluídas no BIG e não se encontravam listadas em nenhum banco de dados até 2016. Assim, como resultado da

Etapa 3 da metodologia de pesquisa foi criado um banco de dados completo com as plantas de biogás com fins energéticos existentes no Brasil, o que é detalhado nessa seção.

4.3.1. Usinas termelétricas a biogás – BIG/ANEEL

Em 2015, existiam 22 usinas termelétricas a biogás conectadas à rede elétrica, conforme dados do BIG da ANEEL, as quais apresentavam uma potência instalada total de 77,5 MW (ANEEL, 2015b). Esses dados de 2015 foram utilizados como base para o levantamento de plantas de biogás realizado nesse estudo.

Os resíduos sólidos urbanos eram a fonte de biogás mais utilizada, tendo a maior quantidade de unidades (metade do total) e a maior parte da capacidade instalada no Brasil. Os resíduos de animais e agroindustriais possuíam a outra metade das 22 usinas a biogás, mas apenas 4% da capacidade instalada. Esse perfil se justifica pela maior concentração física dos resíduos sólidos nos aterros dos grandes centros urbanos, em relação aos resíduos da pecuária e da agroindústria. Apesar da menor capacidade elétrica instalada, o biogás da área rural é um importante vetor de sustentabilidade e desenvolvimento. Alguns dados das usinas termelétricas a biogás existentes no BIG da ANEEL em 2015 podem ser observados na Figura 18.

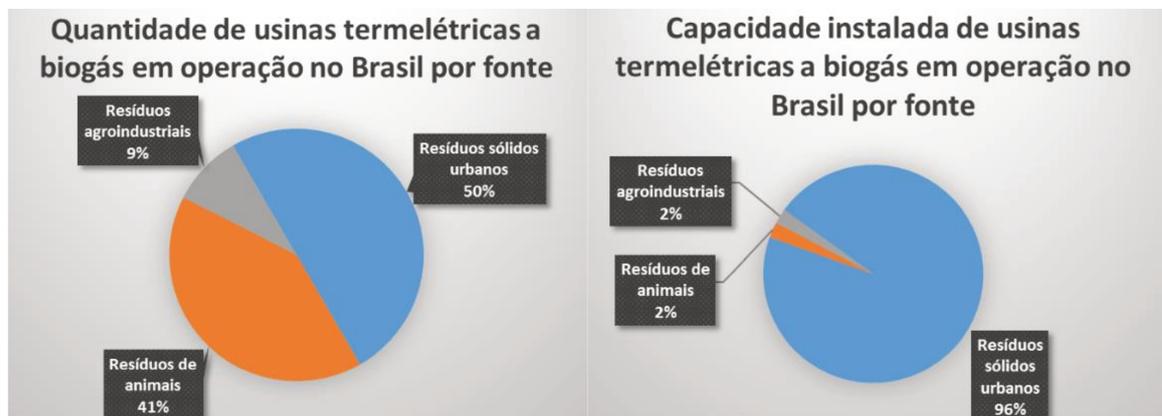


Figura 18. Usinas termelétricas a biogás do Brasil - Quantidade e capacidade instalada.

Fonte: ANEEL (2015b)

Além das plantas em operação, a ANEEL disponibilizava informações das usinas outorgadas no período de 1998 a 2015, em construção ou com construção não iniciada. Essas duas últimas categorias juntas correspondiam a uma capacidade de 99 MW a ser adicionada ao sistema, o que totalizaria aproximadamente 177 MW. No Anexo 3 (ANEXO 3 - CAPACIDADE ELÉTRICA INSTALADA NO BRASIL - USINAS TERMELÉTRICAS A BIOGÁS)

encontra-se a lista das plantas a biogás em operação, em construção e com construção não iniciada registradas na ANEEL em 2015.

Analisando a evolução da geração de energia elétrica com biogás em conexão com o SIN, dados da ANEEL (2018) indicam a existência de 141 geradores em operação, sendo 104 em geração distribuída com 14 MW de capacidade elétrica instalada, 37 usinas com 159 MW, totalizando 173 MW de capacidade elétrica instalada a partir de biogás. Além disso, havia dois empreendimentos em construção e quatro aguardando início da construção, os quais totalizam 93 MW de capacidade elétrica instalada.

Comparando-se a capacidade instalada em operação em 2015 (78 MW) e 2018 (159 MW), observa-se um aumento de 100 % em três anos, sendo um crescimento expressivo para uma fonte de energia que ainda possui diversas barreiras ao seu desenvolvimento.

4.3.2. Plantas de biogás para energia

O resultado da pesquisa realizada mostrou que em 2015 havia 127 usinas de biogás em operação no Brasil, com uma produção de aproximadamente $1,6$ milhão de $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Além dessas, 22 plantas estavam em processo de planejamento ou instalação e 10 em reforma, totalizando 159 unidades cadastradas. A quantidade de plantas e a produção de biogás, de acordo com o porte e situação, são mostradas na Figura 19 e na Figura 20, respectivamente.

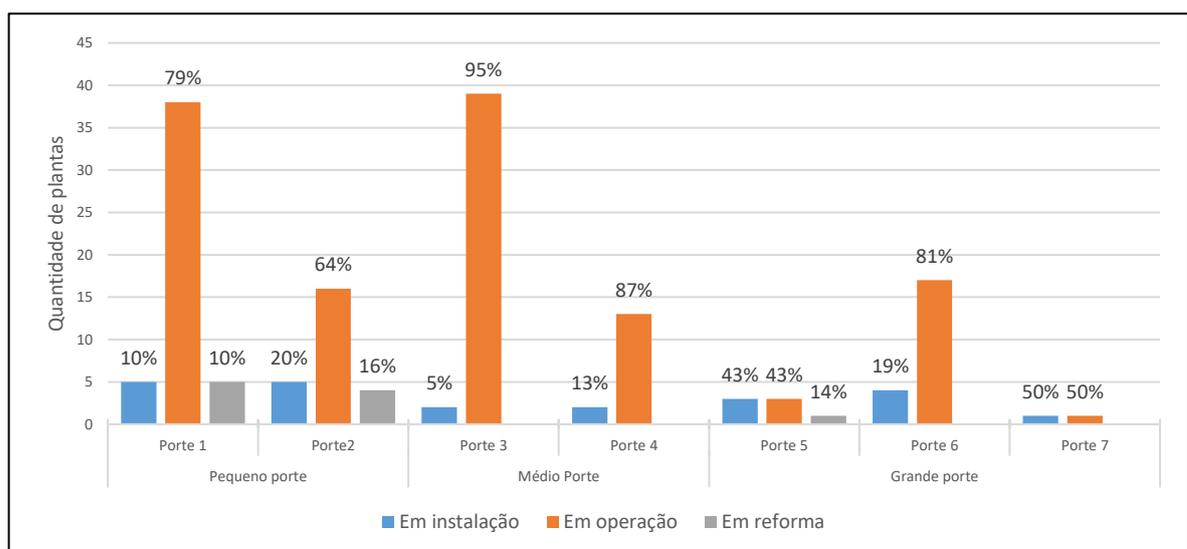


Figura 19. Quantidade de unidades produtoras de energia a partir de biogás por situação e porte no Brasil, em 2015.

Observa-se que quase 80% do número de plantas em operação eram de pequeno ou médio porte, ou seja, com produção de biogás inferior a $12.500 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. No entanto, 63% do volume de biogás utilizado energeticamente era proveniente de grandes plantas, ou seja, cuja produção excedia $12.501 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Esta tendência foi repetida em plantas que estavam em fase de instalação ou renovação.

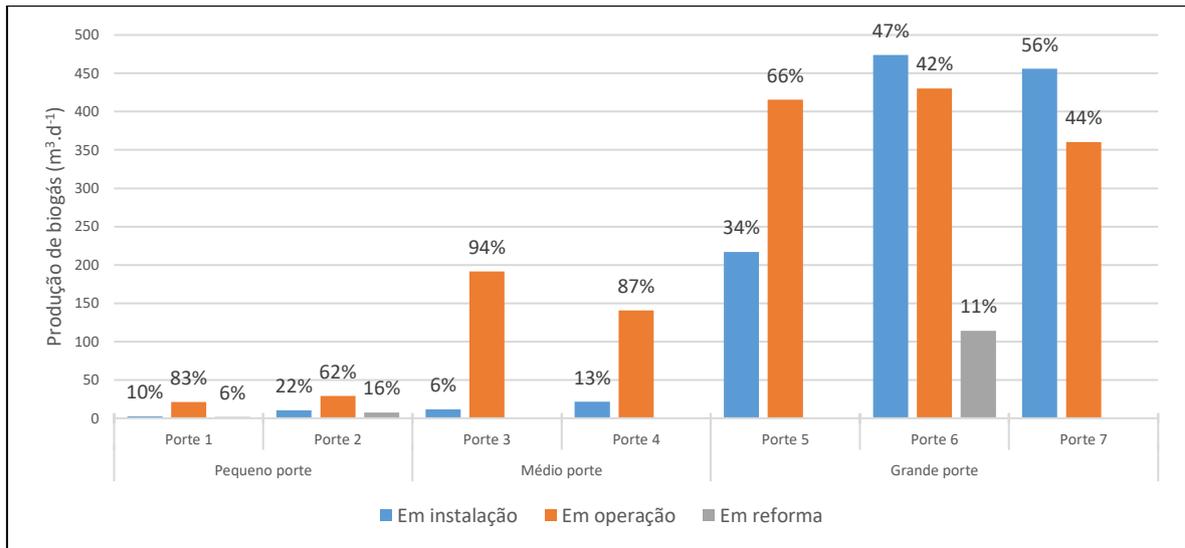


Figura 20. Produção de biogás para produção de energia por situação e porte no Brasil, em 2015.

Em relação à distribuição espacial, em 2015 as 159 unidades cadastradas estavam localizadas principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país (Figura 21).

A Figura 22 mostra a distribuição espacial das unidades em operação em função do porte. É possível observar que 17 das 21 unidades de grande porte em operação concentravam-se em regiões como noroeste do estado do Paraná e região metropolitana de São Paulo, diferentemente das unidades de pequeno e médio porte, indicando uma tendência de concentração da produção de biogás de grande porte no Brasil em grandes centros urbanos ou em regiões com indústrias.

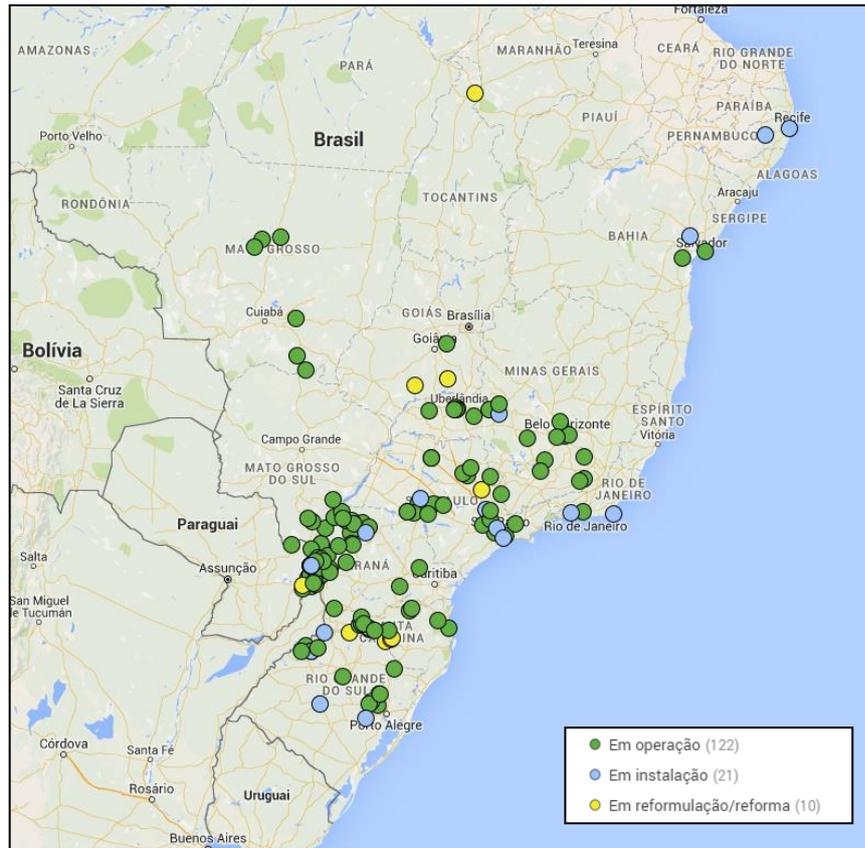


Figura 21. Localização das unidades conforme situação, em 2015.

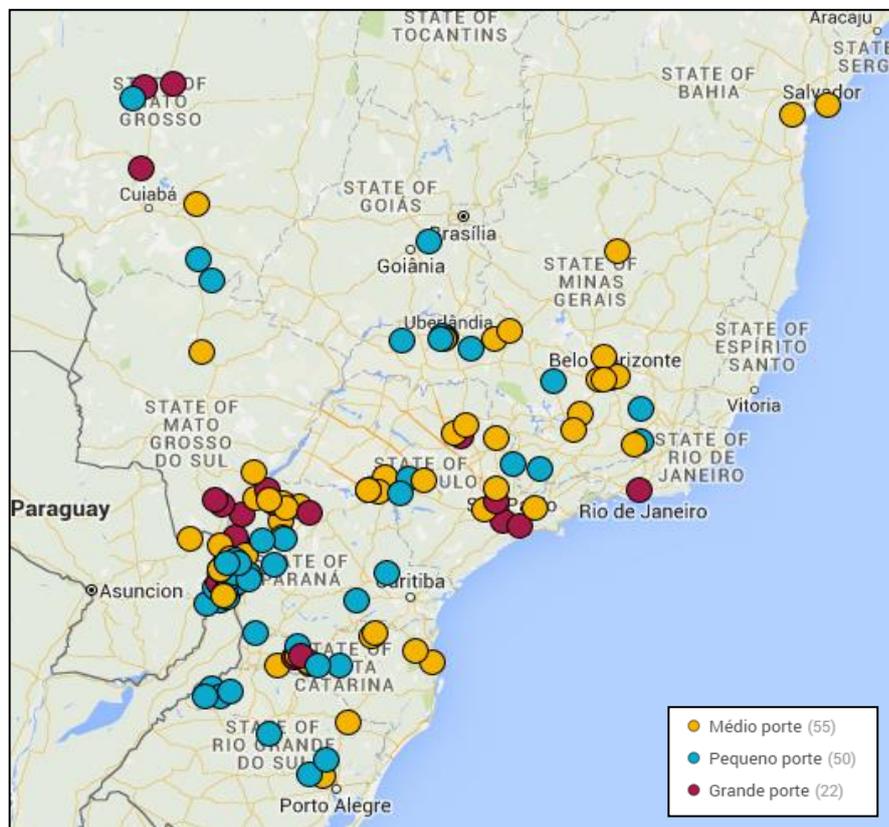


Figura 22. Localização das unidades em operação conforme porte, em 2015.

A classificação quanto ao tipo de substrato pode ser vista na Tabela 5. Verifica-se que quase 80% do número total de plantas utilizavam substratos agrícolas e industriais para a produção de biogás. Entretanto, sobre a produção diária de biogás, a maior parcela provinha de aterros sanitários, seguida de substratos da agropecuária e da indústria.

Tabela 5. Quantidade de unidades e produção de biogás por categoria de substrato no Brasil em 2015.

Substrato/Tipo de planta	Plantas		Produção de biogás	
	(unidades)		(m ³ .d ⁻¹)	
Estação de tratamento de esgoto	7	5%	85.052	5%
Resíduos orgânicos	8	6%	13.905	1%
Agropecuária	60	47%	469.038	29%
Indústria	43	34%	368.206	22%
Aterro sanitário	9	7%	705.190	43%
Total	127	100%	1.641.391	100%

Assim, seguindo a classificação de porte da Tabela 1, foi possível distribuir as plantas a partir dos diferentes substratos e o resultado pode ser visto na Figura 23. Apesar do maior número de plantas estar relacionado ao substrato agropecuário, sua grande maioria é de pequeno porte, o que reduz a participação relativa deste substrato na produção total de biogás. Essa relação inversa aparece também com o substrato de aterros sanitários, sendo pouco expressivo em termos de unidades de plantas, porém responsável por mais de 40% da produção total de biogás em 2015.

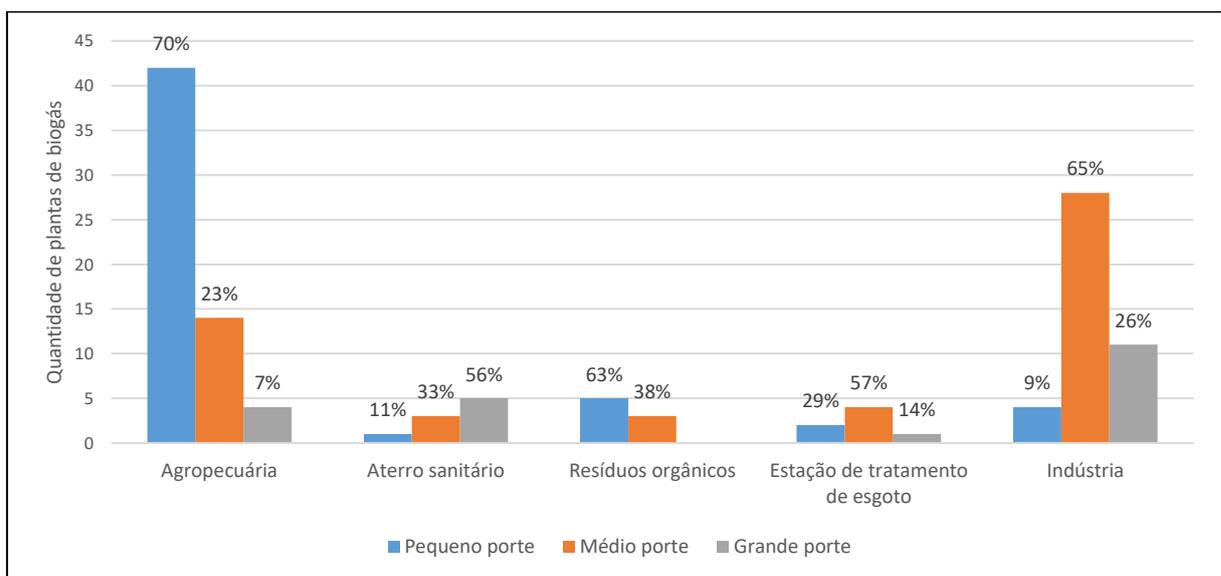


Figura 23. Quantidade de plantas de biogás em operação de acordo com substrato e porte, em 2015.

Assim, ainda que as grandes usinas sejam menos representativas em termos de quantidade de plantas, elas foram as principais responsáveis pela produção de biogás. A Figura 24 mostra a grande participação das plantas de grande porte na produção de biogás das categorias de aterros sanitários, agropecuária e estações de tratamento de esgoto. No caso de plantas de resíduos orgânicos e de indústrias, a maioria da produção foi proveniente de plantas de tamanho médio, o que no caso das plantas de resíduos orgânicos fez pouca diferença na produção de biogás em virtude do incipiente aproveitamento desse substrato.

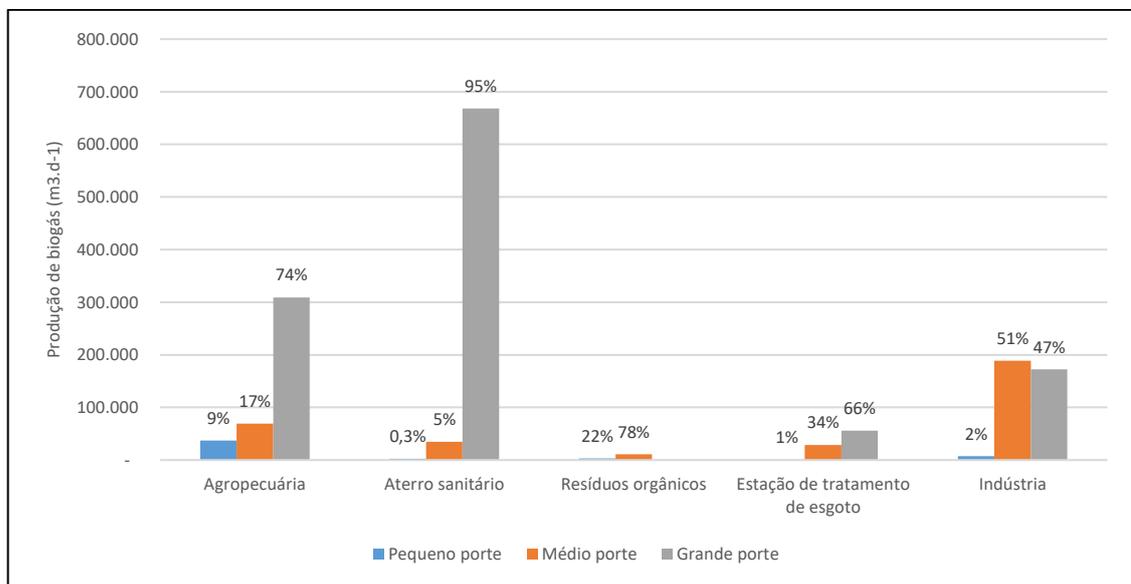


Figura 24. Quantidade de biogás produzido segundo substrato e porte – Plantas em operação em 2015.

A maior produção energética de biogás é proveniente dos aterros, mesmo representando apenas 7% do total das unidades, o que é justificado pelo fato dos aterros possuírem uma maior concentração espacial de substratos comparada aos demais setores, facilitando o aproveitamento centralizado do biogás.

As usinas de biogás da categoria agropecuária são principalmente de suinocultura (85%). Isso ocorre provavelmente como resultado da pressão da sociedade e órgãos ambientais para a implementação de sistemas de tratamento de dejetos. Além disso, a viabilidade de aproveitamento direto ou de comercialização dos efluentes da suinocultura ainda é baixa, devido à grande quantidade de água proporcionalmente à quantidade de nutrientes para o solo, o que tem permitido o seu uso na produção de biogás. Efluentes de atividades pecuaristas que têm grande concentração volumétrica de nutrientes, como a avicultura de corte, têm maior

viabilidade econômica de aproveitamento direto para a fertilização e, conseqüentemente, não estão tão disponíveis para a produção de biogás.

Outras justificativas são o grande número de biodigestores que foram instalados na suinocultura no Brasil entre 2006 e 2008 pelos projetos no âmbito do MDL para a queima de biogás e posterior aproveitamento para a geração de energia; e a disseminação mais ampla de projetos de uso de biogás no setor. Segundo Coimbra-Araújo et al. (2014), a instalação de biodigestores na suinocultura também é motivada para autoprodução de energia nas fazendas visando reduzir custos com a compra de combustível, eletricidade ou GLP.

Nota-se que essa distribuição do porte das plantas impacta diretamente nas questões de logística dos projetos de biogás e, conseqüentemente, na viabilidade econômica do projeto. Nos casos em que o substrato está mais concentrado, a demanda pelo seu transporte é reduzida, melhorando a viabilidade do projeto. No entanto, as plantas de pequeno porte, apesar da dificuldade de encontrar modelos de negócio viáveis, são também importantes em um momento mundial de demanda por energia sustentável e distribuída.

Sobre a principal aplicação energética do biogás produzido no Brasil em 2015, das 127 unidades em operação quase a metade utilizava o biogás para a geração de calor, seguida da geração de energia elétrica. Porém, quando se considerou a produção de biogás para fins energéticos ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$) esse perfil se inverteu, conforme pode ser observado na Tabela 6. Esse fato é explicado por outra associação: entre o aproveitamento energético e o porte das unidades, detalhado a seguir.

Tabela 6. Aplicação energética do biogás no Brasil em 2015.

Substrato/Tipo de planta	Plantas		Produção de biogás	
	Unidades		($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	
Energia elétrica	56	44%	1.075.626	65,5%
Calor ²	62	49%	513.507	31,3%
Energia mecânica (bombeamento) ³	6	5%	45.377	2,8%
Biometano	3	2%	6.880	0,4%
Total	127	100%	1.641.391	100%

¹ Por questão de convenção e disponibilidade de dados, considera-se que todo o biogás da planta é aplicado no principal uso energético, apesar de haver plantas com múltiplas aplicações.

² Não há plantas de cogeração de calor e energia elétrica (CHP) a partir de biogás no Brasil segundo o estudo.

³ Algumas plantas na agropecuária utilizam biogás em motobombas para bombeamento de digestato para o cultivo de grãos.

Em relação à quantidade de unidades, a Figura 25 mostra que 53% das que têm como principal uso a geração de calor são de médio porte, percentual esse praticamente equivalente ao das unidades de pequeno porte que utilizam o biogás principalmente para a geração de energia elétrica.

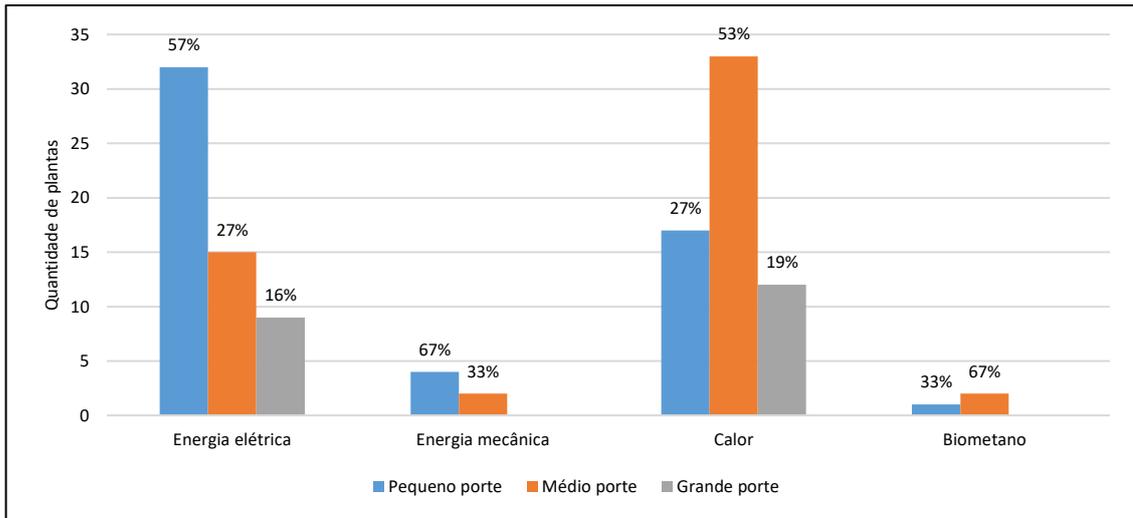


Figura 25. Quantidade de plantas de biogás em operação de acordo com a aplicação energética e porte, em 2015.

No entanto, quando se analisa o volume de produção de biogás em relação ao uso energético, mostrado na Figura 26, a maior parte da geração de energia elétrica ocorre em unidades de grande porte (88%) e a produção de calor é similar entre as unidades de grande e médio porte.

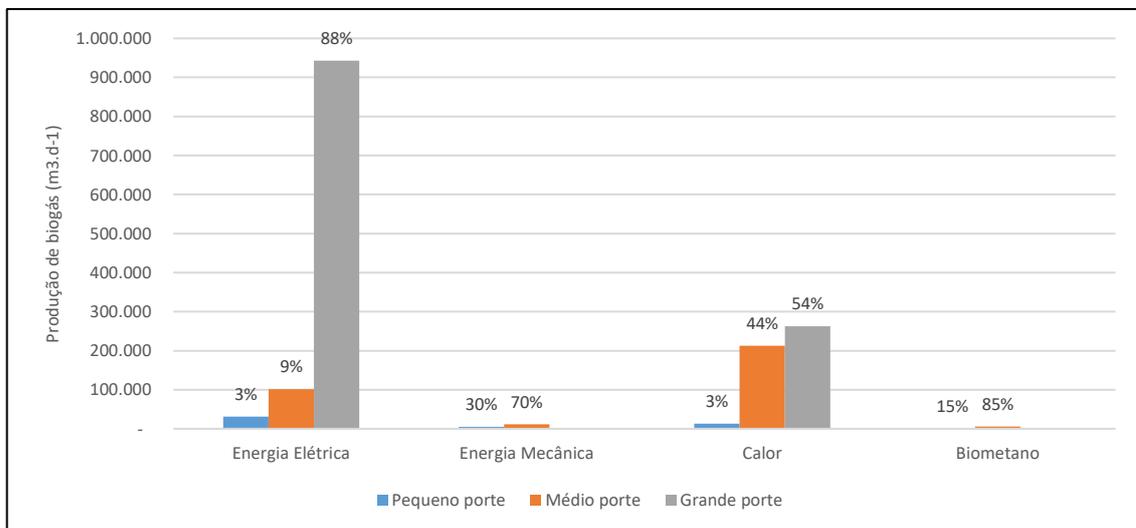


Figura 26. Quantidade de biogás produzido de acordo com a aplicação energética e porte, em 2015.

Portanto, mais unidades, principalmente de médio porte, utilizam o biogás para a produção de calor, mas o principal destino da produção do biogás é a geração de energia elétrica. Isso pode estar relacionado à grande malha de rede de transmissão e distribuição de energia elétrica existente no País, facilitando a venda da energia gerada; e, também, à elevada demanda de energia elétrica em toda a atividade produtiva e industrial.

Ainda analisando a produção de energia elétrica, em março de 2015 havia 22 unidades geradoras de energia elétrica a partir de biogás conectadas à rede do SIN (ANEEL, 2015a). Considerando que, segundo o levantamento, há 56 unidades que geram majoritariamente energia elétrica, conclui-se que havia mais unidades não conectadas à rede elétrica.

No entanto, há uma tendência de crescimento da quantidade de plantas conectadas à rede de distribuição do SIN após a divulgação da Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2015a) que altera a Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2012b), por trazer mecanismos que tornaram a microgeração mais atrativa, como já comentado.

Analisando a distribuição espacial das unidades, as da categoria aterro sanitário se localizam próximas aos grandes centros urbanos, como a região metropolitana de São Paulo e do Rio de Janeiro, visto na Figura 27. Há uma concentração de estações de tratamento de esgoto com aproveitamento energético do biogás no estado de Minas Gerais, resultado de projetos da empresa estadual de saneamento para o aproveitamento desse potencial.

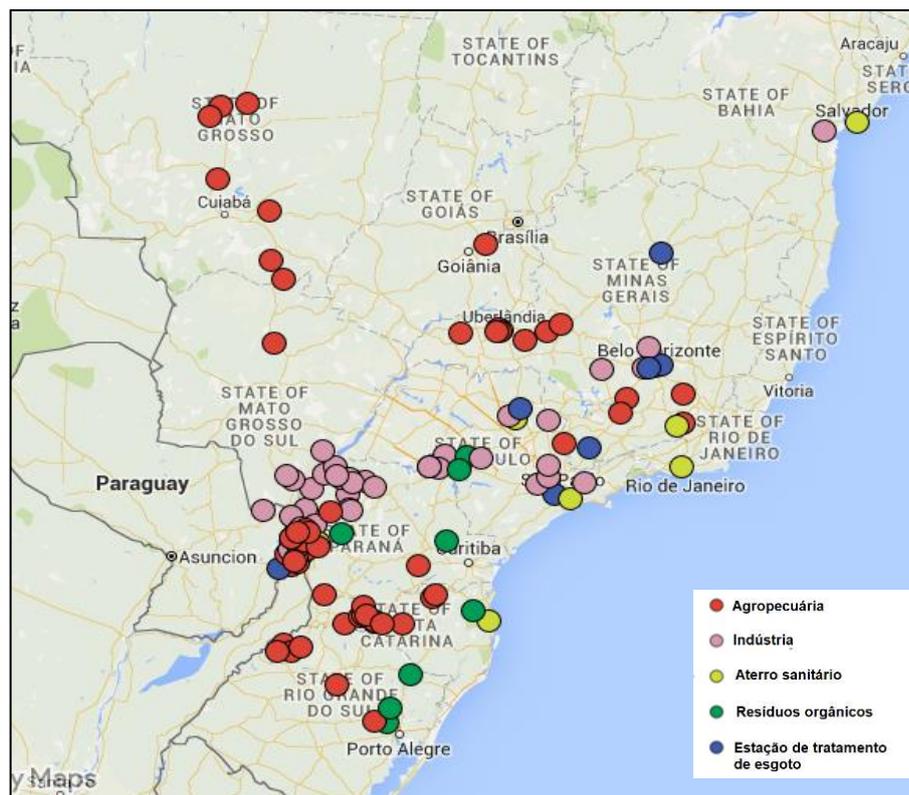


Figura 27. Localização das plantas segundo substrato utilizado.

No caso da indústria, nota-se uma concentração de unidades na região Noroeste do estado do Paraná, Sul do Mato Grosso do Sul e Sul de São Paulo, sendo resultado principalmente da implantação de diversos projetos de produção de biogás a partir de efluentes da indústria de

mandioca. O setor de mandioca representava 67% das usinas de biogás provenientes de efluentes industriais em operação no Brasil em 2015. Provavelmente, muitas dessas usinas viram no biogás uma maneira de reduzir a dependência de lenha ou cavacos comprados. Em alguns casos, o biogás substituiu quase 60% da lenha ou cavaco de madeira consumida, garantindo o suprimento de energia própria para a indústria a partir de seu efluente (DANIEL e FAGNANI, 2004).

O resultado da distribuição espacial das plantas foi o esperado, considerando que o setor agropecuário tem um potencial de produção de biogás expressivo, segundo dados da EPE (2014b), mas distribuído e disperso. No caso das indústrias e dos aterros sanitários, o substrato está mais concentrado, sendo possível produzir mais biogás em um mesmo local.

A distribuição das unidades conforme a aplicação energética do biogás é bastante dispersa, como pode ser observado na Figura 28, apesar de haver uma pequena tendência para o seu uso na produção de calor no interior do país. Porém, como o uso do biogás é escolhido pela demanda energética que há na unidade ou arredores ou pelas tecnologias de geração disponíveis, acaba por não haver uma grande correlação entre a localização geográfica e o uso energético.

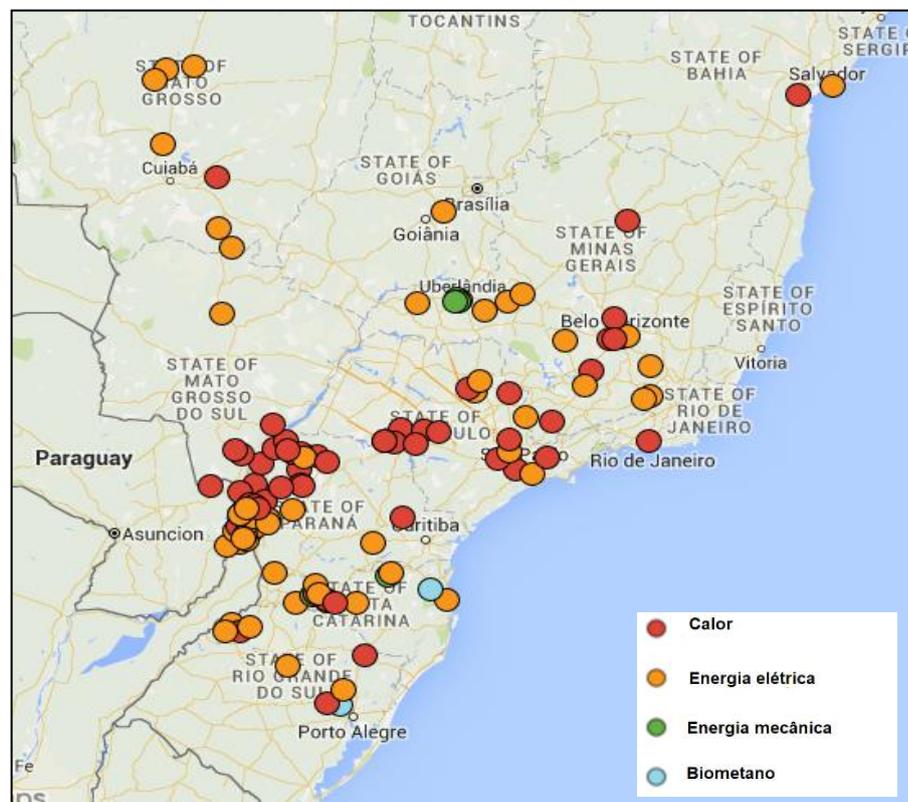


Figura 28. Localização das plantas de biogás segundo uso energético.

Novamente, há uma correlação distinta entre o número de unidades produtoras de biogás por setor da economia e a produção de energia em si em cada setor, fruto da diferença de porte das plantas. A maior parte das unidades que geram energia elétrica é da agropecuária (Figura 29), mas a maior parte do biogás produzido para esse fim é proveniente dos aterros sanitários (Figura 30). A única exceção é no caso da produção de calor: o setor industrial é o que mais tem unidades a partir do biogás e o que aplica mais biogás nesse uso (95%), provavelmente pela grande demanda de calor nos seus processos produtivos. Segundo dados do levantamento, as plantas industriais que utilizavam biogás para geração de calor eram principalmente as feccularias, cervejarias, abatedouros e alimentícias, na substituição de GLP, lenha e cavaco.

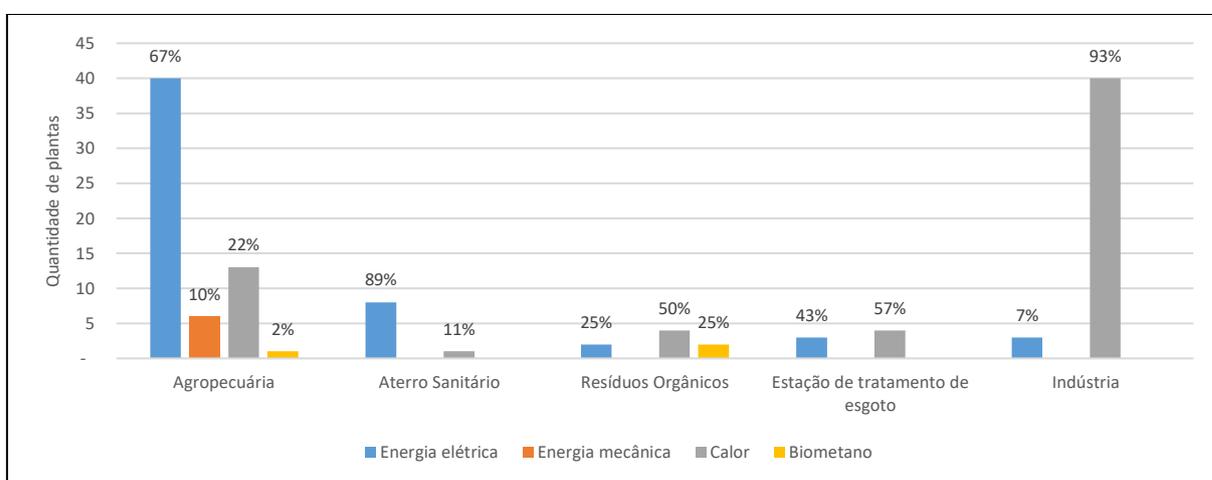


Figura 29. Quantidade de plantas de biogás em operação segundo substrato utilizado e aplicação energética, em 2015.

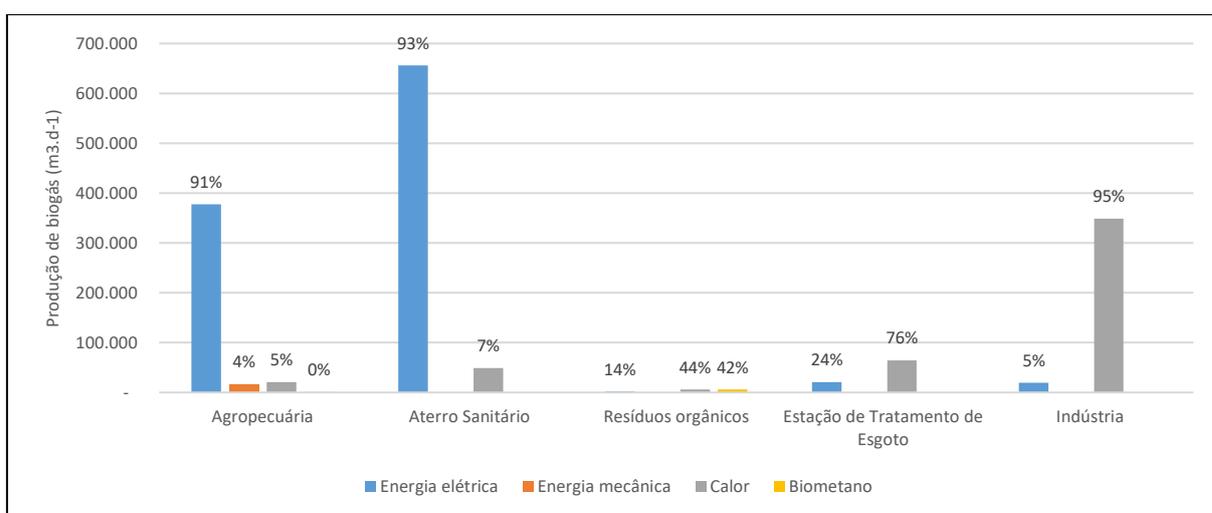


Figura 30. Volume de biogás produzido pelas plantas em operação em 2015, segundo substrato utilizado e aplicação energética.

Assim, analisando os dados apresentados até o momento, conclui-se que os aterros sanitários são os que mais geram biogás e que direcionam seu uso para produção de energia elétrica, apesar da pouca quantidade de unidades. A agropecuária também aplica a maior parte do biogás produzido na geração de energia elétrica (91%), apesar de também possuir unidades que o utilizam na geração de calor e energia mecânica.

Esses resultados refletem a disponibilidade de tecnologias para aplicação de biogás e utilização para a produção de energia. A geração de eletricidade e calor tem tecnologias e assistência técnica mais acessíveis a pequenos produtores ou indústrias localizadas no interior do País. Além disso, a adaptação do equipamento para geração de eletricidade ou calor utilizando o biogás é, na maioria dos casos, mais fácil do que para o uso de biometano, especialmente quando se observa que o gás natural não está disponível em todo o território nacional.

Mesmo assim, a existência de quatro plantas de produção de biometano no Brasil, conforme levantamento realizado nesse estudo (Tabela 7), mostra a tendência de aplicação do biogás em usos mais econômicos e rentáveis e a disseminação de tecnologia para essa produção no Brasil, seguindo uma tendência internacional. Estes sinais são positivos para o setor, aumentando a atratividade do investimento. Assim, observa-se que o setor brasileiro de biogás possui um tamanho significativo e apresenta tendência de crescimento e uso de tecnologias mais avançadas, como para a produção de biometano.

Tabela 7. Plantas de produção de biometano no Brasil em 2016.

Localização	Substrato	Aplicação do biometano	Capacidade (Nm³biogás.h⁻¹)	Data de início de operação
Marechal Cândido Rondon/PR	Resíduos da suinocultura e gado leiteiro	Eletricidade	50	2009
Montenegro/RS	Codigestão de resíduos de produção de galinhas poedeiras, indústria de laticínios, de sucos e de celulose e abatedouros.	Combustível veicular	500	2012
Santa Helena/PR	Codigestão de resíduos de produção de aves poedeiras e gado de corte	Combustível veicular	42	2013
São Pedro da Aldeia/RJ	Aterro sanitário	Calor	1.200	2016

4.3.3. Conclusões

Na terceira etapa do estudo foi realizado um levantamento das plantas de produção de biogás existentes no país. Isso possibilitou uma visão geral do setor em relação a aspectos como a localização e porte das unidades, aplicação do biogás e substratos utilizados. É notável a evolução do setor nos últimos anos e o aumento de notícias e publicações sobre o tema, porém com esse estudo foi possível ter uma noção mais precisa da sua dimensão. Em 2015, havia 127 unidades de produção de energia a partir de biogás no Brasil, produzindo cerca de 1,6 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. A maioria das plantas é de pequeno e médio porte com produção de até 12,500 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, porém 85% do volume de biogás produzido no Brasil é proveniente de plantas de grande porte. Ou seja, em 2015, 15% das plantas de biogás no Brasil produziram cerca de 85% do volume total de biogás. A maioria das unidades de produção de biogás no Brasil usavam substratos industriais e agrícolas, mas a maior quantidade de biogás era de aterros sanitários.

Analisando os dados coletados, considera-se que os produtores brasileiros de biogás poderiam ser divididos em dois grupos por escala de produção: um pequeno, formado por grandes produtores com características e vantagens intrínsecas em larga escala (por exemplo, indústrias e grandes aterros sanitários); e outro grande, formado por pequenos produtores que, embora tenham menor potencial individualmente, precisam ser considerados em uma análise coletiva. Essa diferença deve ser considerada ao projetar políticas públicas e implementar incentivos para o biogás para garantir que atendam às particularidades dos dois grupos.

O uso de biogás no Brasil é muito diverso. A maioria das plantas produz eletricidade, seguida pela produção de calor. Mas é importante considerar as regulamentações atuais, projetos de P&D e os esforços de mercado no Brasil para superar as diversas barreiras da produção de biometano. Segundo Thrän et al. (2014), mesmo considerando os altos custos de implantação e operação, o biometano é o energético proveniente do biogás mais atrativo economicamente, por seu alto valor de mercado. Assim, o biometano poderia ser importante para aumentar a oferta de gás natural em todo o país, garantindo a disponibilidade de energia para o desenvolvimento da economia.

Conclui-se que o setor de biogás no Brasil ainda é pequeno em relação ao setor energético do país, mas é uma fonte com um grande potencial e que já vem mostrando sinais de desenvolvimento. O aumento do uso de biogás pode trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais para o Brasil, além de aumentar a segurança energética e diversificar a matriz energética brasileira. Assim, fica clara a necessidade de medidas para superar as barreiras ao

desenvolvimento do setor de biogás, apoiadas em políticas públicas e estruturadas para a realidade brasileira e no sentido de inserir e consolidar outra fonte de energia renovável.

5. ANÁLISE DE BARREIRAS E PROPOSTAS DE AÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR DE BIOGÁS

Como apresentado nos capítulos anteriores, o potencial de produção de biogás do Brasil ainda é pouco aproveitado, apesar dos benefícios sociais, econômicos e ambientais que pode gerar. Isso ocorre porque existem algumas barreiras ao seu desenvolvimento, da mesma forma que ocorre com qualquer nova tecnologia alternativa que é inserida no mercado. Nesse capítulo são descritas as principais barreiras identificadas na análise dos resultados do diagnóstico do setor de biogás no Brasil (Capítulo 4) e os mecanismos que poderiam ser implantados para sua superação, à luz da experiência internacional.

5.1. Barreiras existentes ao desenvolvimento do setor no Brasil

Como apresentado anteriormente nesse estudo, o Brasil tem grande disponibilidade de resíduos da agropecuária, indústria e área urbana para produção de biogás. No entanto, o crescimento da sua produção e seu uso energético ainda é tímido, apesar das ações adotadas no setor público e privado. Isso se deve às barreiras que dificultam o desenvolvimento desse setor.

Nesse sentido, um estudo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OECD) e da Agência Internacional de Energia (IEA) (OECD/IEA, 2009) sobre a recuperação e uso do metano no setor energético destacou a existência de barreiras legais e regulatórias relacionadas ao aproveitamento do metano nos aterros e à obtenção do acesso à rede de energia elétrica para a comercialização da energia gerada em aterros e fazendas. O estudo também relatou a ausência de uma agenda de políticas abrangentes para a recuperação e uso do metano em diversos países, inclusive no Brasil.

Um levantamento realizado em 2016 pelo PROBIOGAS identificou e analisou as barreiras existentes para o desenvolvimento do setor de biogás no Brasil. As barreiras identificadas por meio das entrevistas aos atores do setor foram agrupadas em quatro enfoques: (i) relação incerta entre o custo do projeto e seu benefício comercial; (ii) reduzida quantidade de projetos de referência bem-sucedidos em escala comercial; (iii) dificuldade no acesso a informações técnicas, comerciais e legais; e (iv) inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás Jende et al. (2016).

A Fundação Estadual do Meio Ambiente do estado de Minas Gerais (FEAM/MG) cita em seu estudo sobre o potencial de biogás de Minas Gerais que a dificuldade de crescimento do setor também pode ser atribuída, em partes, ao baixo nível tecnológico adotado nas usinas de biogás; ao reduzido controle operacional do processo, o que limita a produtividade e linearidade na geração de biogás; às barreiras de cunho legal, devido à necessidade de regularização destes empreendimentos enquanto unidades de produção e/ou autoconsumo de energia; ou ainda, barreiras econômicas, devido à necessidade de investimentos diante da falta de assertividade quanto à rentabilidade efetiva destas instalações (FEAM/MG, 2015).

Da mesma forma, a ABiogás (2015) indicou que as barreiras encontradas para disseminação do uso de biogás no setor de saneamento refletem as barreiras encontradas nos outros setores: baixa disseminação de conhecimento e de acesso à informação e a tecnologias existentes e comprovadamente eficazes na produção de energia elétrica e de calor; falta de conhecimento do setor de saneamento sobre as reais potencialidades de aproveitamento do biogás; dificuldades para o aproveitamento de linhas de financiamento; custos consideravelmente altos de importação de tecnologias; e falta de *know-how* próprio e de pessoal capacitado para operar e manter plantas de biogás.

Quando se analisa especificamente o setor de RSU, se esbarra em dificuldades relacionadas à coleta e à separação dos resíduos orgânicos; e à dificuldade de retirada de biogás de aterros que não foram projetados para isso. Segundo Zanette (2009), pode-se considerar que as barreiras ao aproveitamento energético do biogás de RSU são principalmente: gestão dos serviços de coleta e tratamento de resíduos sólidos e efluentes; barreiras econômicas e financeiras; e baixo grau de coordenação entre os órgãos do governo para a definição de políticas e elaboração de programas.

O Quadro 8 lista várias barreiras relacionadas ao aproveitamento do biogás de RSU identificadas em entrevistas feitas por Quadros et al. (2016) com profissionais de empresas públicas e privadas do setor de biogás para o projeto “Desenvolvimento de arranjos técnicos e institucionais para o aproveitamento de biogás, através da geração de energia elétrica, oriundo de resíduos sólidos urbanos”, da Chamada Estratégica ANEEL nº 14/2012, mencionada anteriormente.

Importante destacar que, para os outros substratos utilizados para a produção de biogás além do RSU, pode-se considerar que essas barreiras também ocorrem. Sendo assim, as barreiras ao crescimento do setor de biogás brasileiro poderiam ser agrupadas como apresentado nas subseções a seguir.

Quadro 8. Barreiras ao desenvolvimento do setor de biogás de RSU do Brasil.

Setor	Barreiras
Visão do setor público	<ul style="list-style-type: none"> • Preços baixos da eletricidade. • Taxação alta sobre os equipamentos. • Falta de mão de obra especializada. • Preços elevados da tecnologia utilizada. • Necessidade de coleta seletiva de resíduos. • A população não acredita nos gestores públicos. • Os municípios não possuem recursos para o setor. • Falta de visão ou interesses políticos mal-intencionados. • Falta de informação sobre o aproveitamento do biogás. • Falta de regulamentação sobre a injeção de biometano na rede de gás natural. • Falta de parcerias entre empresas, universidades, etc. • Desconhecimento técnico sobre o real potencial de aproveitamento do biogás. • Falta de tecnologia nacional. • Deficiência de recursos humanos no setor do biogás (falta de capacitações) • Falta de participação do biogás na matriz energética. • Desconhecimento de instalações em empresas industriais que estão utilizando seus resíduos para a geração de biogás, para consumo próprio. • Falta de um plano específico para o biogás com metas exclusivas sobre a geração, a qualidade, seus usos finais e as perspectivas em todos os setores envolvidos
Visão do setor privado	<ul style="list-style-type: none"> • Complexidade das leis brasileiras com relação à tributação e leis ambientais / regulatórias. • Intermitência na geração do biogás. • Presença de contaminantes como siloxanos no biogás gerado em aterros sanitários. • Falta de interesse público por esse tipo de energia. • Os equipamentos devem ser importados. • Elevada carga tributária. • Falta de fiscalização do setor, para que sejam cumpridas as metas estabelecidas. • Falta que o poder público analise melhor as propostas recebidas. • Problema com o porte das instalações. É complicado viabilizar projetos abaixo de 1 MW, no caso dos aterros sanitários. • Falta de assessoramento para o processo de geração do biogás. • Problemas técnicos na conexão com a rede de distribuição. • Falta de profissionais qualificados. • Falta de incentivos para o setor do biogás. • Falta conhecimento sobre as tecnologias existentes, suas capacidades, limitações e potencial. • Falta de parcerias com entidades de pesquisa, empresas, universidades, etc. • Falta de conscientização das empresas sobre a contaminação causada ao se verter os efluentes industriais nos corpos da água.

Fonte: Albarracín (2016)

É importante considerar que a percepção da barreira de “Falta de tecnologia nacional” para a produção e uso energético do biogás pode não ser exatamente a ausência de tecnologias, mas sim a percepção de que as existentes não são confiáveis do ponto de vista de eficiência e durabilidade. Assim, considerando que os altos custos de importação e dificuldade de financiamento também são barreiras difíceis de serem superadas, torna-se fundamental haver incentivo à nacionalização das tecnologias para o biogás para o desenvolvimento do setor.

5.1.1. Barreiras relacionadas ao conhecimento

Observa-se que há pouca disponibilidade de informação técnica, comercial e legal organizada e/ou acessível aos atores do setor. Considerando a complexidade do setor de biogás, a falta de informação e conhecimento realmente pode se tornar uma barreira importante para o seu desenvolvimento. A diversidade de arranjos comerciais possíveis com o biogás inserida em uma diversidade de mercados e culturas de negócios, como é o caso no Brasil, exige grandes esforços para a identificação, projeção e realização do próprio modelo de negócio de cada empreendedor (ABIOGAS, 2015).

A disponibilidade de profissionais também é apontada como barreira por diversos autores. Segundo Quadros et al. (2016a), isso acontece porque não existem no país cursos técnicos, de graduação e de pós-graduação em número e qualidade adequados, havendo também escassez de parcerias com universidades com o objetivo de formar e treinar recursos humanos para esse tipo de tecnologia.

A pouca quantidade de projetos de biogás bem-sucedidos e conhecidos também é uma barreira ao setor, pois acabam por não reduzir a percepção de risco do investimento. Nesse sentido, a ABiogás (2015) destaca que os projetos de biogás ainda exigem um alto grau de “pioneirismo” entre os empreendedores.

O que se observa é que os autores citam a falta de informação, além da falta de profissionais capacitados, como uma das barreiras para o desenvolvimento do setor de biogás, pois dificulta a difusão da tecnologia e, conseqüentemente, a sua análise como opção energética alternativa. Porém, como listado na Subseção 4.1.1, há diversos projetos de P&D e estudos desenvolvidos nos últimos anos ou em desenvolvimento. Então, o que se pode concluir é que além da falta de informação, a grande barreira é a organização e difusão das informações e do conhecimento já existentes.

5.1.2. Barreiras relacionadas ao desenvolvimento tecnológico

A disponibilidade de tecnologias nacionais para a produção de biogás e para o aproveitamento energético ainda é incipiente, principalmente para projetos com expectativa de alta eficiência para viabilização econômica. Os projetos de produção de biometano são os mais afetados por demandarem tecnologias avançadas para o refino do biogás.

Além disso, mesmo em casos que a tecnologia está disponível para instalação, há problemas de instabilidade na operação, demandando mais horas de manutenção que o informado pelo fornecedor do equipamento. Isso gera custos com a manutenção e reduz a receita pelas horas paradas. Nesse sentido, a falta de mão-de-obra local para manutenção torna esses problemas mais graves, inclusive causando a parada das plantas por vários dias.

Algumas consequências dessa barreira tecnológica podem ser: a desmotivação para implantação do projeto; prejuízo da imagem do biogás como opção energética, nos casos em que as plantas não operam bem; ou importação dos equipamentos.

No caso de importação, ocorre o aumento dos custos do projeto e o impedimento de uso de financiamentos Finame, que exigem no mínimo 60% de nacionalização. Ademais, nesses casos os projetos não são aproveitados no seu máximo para o desenvolvimento industrial do país, prejudicando o setor de biogás a longo prazo. Ao final, a alta necessidade de importação de equipamentos encarece a realização de novos projetos, impactando negativamente a viabilidade financeira de empreendimentos (ABIOGAS, 2015).

Sendo assim, a barreira tecnológica ao biogás passa pela falta de uma cadeia de valor estabelecida no País, inclusive nas regiões do interior, onde há grande potencial de biogás.

5.1.3. Barreiras relacionadas ao ambiente financeiro e econômico

As barreiras financeiras e econômicas ao crescimento do setor de biogás brasileiro são relacionadas às dificuldades de encontrar um modelo de negócio viável para muitos casos. Isso é notório em projetos de pequena escala, nos quais as receitas com a venda ou substituição energética não cobrem o custo das instalações.

Segundo ABiogás (2015), apesar das potenciais oportunidades econômicas encontradas no ambiente de negócios brasileiro, a relação entre o custo de projetos de biogás e de biometano e seu benefício comercial muitas vezes não é suficientemente atraente para investidores.

O biogás ainda é uma fonte de energia em crescimento no país e, sendo assim, o aproveitamento de todo seu potencial passa por uma curva de aprendizado em que o custo unitário específico da energia gerada se reduz conforme a quantidade de plantas aumenta. Considerando isso, não ocorre uma concorrência igualitária quando o biogás é inserido juntamente com fontes já consolidadas em um leilão de energia, por exemplo, ou quando compete com o valor do gás natural.

No caso do biometano, a EPE (2018) realizou um estudo sobre a economicidade do aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos em aterro para produção de biometano, calculando

ao final a tarifa resultante da simulação para a viabilidade econômica. Os resultados dos cenários definidos variaram entre 1,04 R\$/m³ a 1,85 R\$/m³ de biometano, tendo menor custo o biometano produzido em empreendimentos de grande escala (>45.000m³/dia de biogás). Na mesma época, segundo o estudo o preço do gás natural estava variando entre 0,91 R\$/m³ até 1,12 R\$/m³. Ou seja, os empreendimentos de biometano de maior escala já seriam competitivos no Brasil, ao passo que, segundo a EPE (2018) os projetos de menor escala necessitariam de uma precificação adequada dos atributos ambientais para se viabilizarem.

Assim, os valores de comercialização do biogás e do biometano ainda são dificultadores dos modelos de negócio praticados, demandando bastante pioneirismo e assunção de risco pelos investidores.

5.1.4. Barreiras relacionadas ao ambiente político e regulatório

O Brasil possui políticas públicas que beneficiam o biogás indiretamente, porém nenhuma focada nessa fonte de energia. O biogás demanda uma política específica que considere sua complexidade em relação à localização do potencial, substratos, tecnologias e aplicação energética. A complexidade do biogás e as sinergias entre os vários benefícios como geração de energia e tratamento de resíduos e efluentes demandam uma política integrada horizontalmente (intersetorial) e verticalmente (federal, estadual, municipal) (ABIOGAS, 2015).

Nesse sentido, as políticas para o biogás que vêm sendo desenvolvidas em alguns estados brasileiros, como São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, são boas iniciativas. No entanto, são ações isoladas que deveriam ser respaldadas ou atender a uma política federal, num esforço maior para estimular a produção e uso do biogás como foi feito com outras fontes de energia renovável no Brasil.

Além disso, a falta de obrigação de mistura de biometano no gás natural¹³, como ocorre com o etanol e o biodiesel, é uma barreira ao crescimento do uso de biogás no Brasil ao não criar um mercado consumidor garantido.

¹³ Ainda que a obrigatoriedade de um percentual de mistura de etanol na gasolina e de biodiesel no diesel seja decorrente de razões operacionais, não se pode negar que o fato de haver uma regulamentação para tal mistura estimula a produção e uso desses biocombustíveis.

5.2. Propostas de mecanismos para superar as barreiras no setor de biogás

Para dinamizar o aproveitamento energético do biogás, seguindo a experiência internacional, o país precisa desenvolver e implementar um conjunto de políticas de apoio. Essas políticas podem ser classificadas em políticas pelo lado da demanda, pelo lado da oferta e políticas transversais. Como citado por Engdahl (2010), políticas pelo lado da demanda apoiam, por exemplo, a criação de um mercado consumidor; políticas pelo lado da oferta visam melhorar a viabilidade dos projetos em implantação, promover projetos de P&D, etc.; e políticas transversais atuam basicamente na estruturação do setor.

Segundo Quadros et al. (2016b), a análise das diversas experiências de fomento ao aproveitamento energético do biogás ao redor do mundo mostra, em um primeiro ponto, que o sucesso de qualquer iniciativa é dependente de um bom entrosamento entre os diversos tipos de políticas pelo lado da demanda e da oferta, bem como de políticas sobre o tratamento e disposição de resíduos e políticas transversais.

Importante destacar que a escolha pelas políticas de incentivo por um país ou estado deve ser pautada em uma análise minuciosa de sua realidade econômica, social e tecnológica e do potencial de produção de biogás em relação à localização e aos substratos disponíveis. Além disso, essas políticas devem considerar que, segundo o levantamento dessa tese, há dois grupos de plantas de biogás com características bastante diferentes no Brasil: as de grande porte e as de pequeno porte.

5.2.1. Políticas focadas na geração de energia

As ações direcionadas à geração de energia também são conhecidas como políticas pelo lado da demanda, pois incentivam a fonte aumentando e/ou remunerando melhor a energia gerada. A maioria dos países europeus utiliza esse tipo de política para incentivar as fontes renováveis, porém isso gera um custo adicional para os governos e os consumidores, que nem sempre é possível considerar em países em desenvolvimento. Mas, vale destacar a importância das políticas que atuam sobre a demanda com a finalidade de dinamizar o aproveitamento energético do biogás, promovendo a recuperação de resíduos, reduzindo impactos ambientais e diminuindo a dependência energética com a geração descentralizada de energia (QUADROS et al., 2016).

Assim, uma das políticas focadas na geração que já é bastante comum no Brasil e está começando a ser utilizada em países europeus, como a Alemanha, e poderia ser aplicada ao biogás é a de leilões de energia elétrica. Atualmente são definidos preços-teto e preços iniciais diferenciados para energia elétrica proveniente de hidrelétricas, parques eólicos, projetos de biomassa e fonte solar (EPE, 2018). Recentemente, no Leilão A4 de energia elétrica em 2018 foram definidos os valores iniciais para disputa com os empreendimentos já outorgados, com ou sem contrato, em: 211,81 R\$.MWh⁻¹ para hidrelétricas (PCH e CGH); 173,76 R\$.MWh⁻¹ para parques eólicos; 230,66 R\$.MWh⁻¹ para projetos a biomassa; e 310,25 R\$.MWh⁻¹ para a fonte solar (EPE, 2018).

Os projetos de biogás de grande porte se enquadram nos valores para biomassa, mas acabam por concorrer com fontes como o bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de madeira, combustíveis bastante consolidados na geração de eletricidade. De qualquer forma, em 2016 um projeto de biogás foi vencedor no Leilão A-5, com capacidade instalada de 20,893 MW e 13,700 MW médio ao valor 251,00 R\$.MWh⁻¹. A usina Biogás Bonfim será instalada em São Paulo pela empresa Raízen Energia S/A e deve entrar em operação até 2021 (EPE, 2016). O biogás será produzido a partir da vinhaça, efluente da produção de etanol, e os investimentos na planta estão orçados em R\$ 129 milhões (FGV ENERGIA, 2017). Esse fato é um indicativo de que projetos de biogás de grande porte podem ser competitivos em leilões, já que a escala do empreendimento aumenta a viabilidade econômica.

Um aspecto importante se refere à natureza da fonte de energia, pois da mesma forma que outros empreendimentos de fontes renováveis alternativas, a produção de energia elétrica a partir do biogás de alguns substratos também é intermitente em virtude da disponibilidade desse insumo. Por exemplo, a produção de biogás a partir da vinhaça em uma usina sucroenergética ocorre apenas durante a safra, ou seja, cerca de seis meses durante o ano. Em outros casos, como RSU ou na agropecuária a variação ao longo do ano é menor. De qualquer forma, a contabilização da energia gerada deve ser feita de modo a considerar esse aspecto nos estudos de viabilidade econômica.

Dessa forma, poderiam ser definidos valores referência específicos para o biogás e ainda dividindo por tipo de substrato, o que garantiria uma remuneração para o projeto condizente com os custos da tecnologia, ainda em desenvolvimento e consolidação. Isso seria importante para tornar justa a concorrência de plantas diferenciadas e que teriam custos diferentes consequentemente. Por exemplo, para as plantas de aterros sanitários que já produzem o biogás e demandam investimentos apenas para captação e geração de energia, poder-se-ia praticar um

valor menor de energia elétrica do que plantas de biogás com substrato da pecuária, que demandam a instalação do biodigestor além do sistema de geração de energia elétrica.

Outro tipo de política que pode incentivar o setor de biogás é a criação de leis que obriguem a mistura de biometano ao gás natural. Esse incentivo é aplicado ao etanol em relação à gasolina e ao biodiesel em relação ao óleo diesel no Brasil e tem bons resultados na consolidação do mercado desses combustíveis. Porém, por ter composição similar ao gás natural, a proporção de biometano pode ser máxima (de até 100%), diferindo das misturas com etanol e biodiesel. Essa característica torna o biometano mais flexível e viável, pois a mistura pode variar conforme a disponibilidade.

Na Europa isso já ocorre em larga escala em países como a Suécia e Dinamarca, especialmente para o uso no transporte público, havendo inclusive metas de 100% de uso de biometano nos próximos anos, segundo Boesgaard (2017).

Nesse sentido, São Paulo é o estado mais avançado na discussão dessa mistura por meio do Programa Paulista de Biogás, já apresentado anteriormente. Em março de 2017 foi instalado o Comitê Gestor do Programa tendo como um dos seus objetivos a definição do percentual de biometano que deve ser injetado na rede de gás natural do estado e o preço a ser pago para os produtores. O estado do Rio de Janeiro também tem uma lei que define em 10% a mistura, porém ainda não foi regulamentada e, assim, não está sendo praticada.

Considera-se que esse incentivo ao biogás seria um dos mais eficientes para o caso de plantas de médio e grande porte. No entanto, a injeção dependeria da existência de uma infraestrutura adequada, com uma rede de gasodutos próxima às plantas, o que ocorre basicamente nos grandes centros urbanos próximos à região litorânea brasileira, como pôde ser observado na Figura 13.

A instalação de novas redes de gás são concessões de cada estado e por isso, deve ser realizada pelas concessionárias, que nem sempre consideram que é viável instalar uma rede especificamente para biometano em regiões onde ainda não há disponibilidade de gás natural. Isso justifica o fato de alguns produtores realizarem o transporte do biometano comprimido em cilindros para um posto de abastecimento, segundo dados do levantamento de plantas de biogás realizado nessa tese. Dessa forma, seria muito importante que se permitisse aos estados realizar a concessão de transporte de gás a outros atores quando a concessionária não tiver interesse no projeto. A flexibilização da política de concessão de transporte de gás dos estados seria mais uma forma de incentivar expansão da malha de gasodutos e a produção de biometano, principalmente no interior do país. Apenas para comparação, a Alemanha tinha 31.405 km de

gasodutos de transporte de gás em 2012 enquanto o Brasil tinha apenas 9.244 km (EPE, 2014e), sendo que a Alemanha possui uma área 24 vezes menor que o Brasil.

A política de certificados verdes também é uma opção de incentivo ao biogás, podendo ser baseada na redução de emissões de carbono, como ocorre no Renovabio, ou nos benefícios de serviços ambientais. Em todos os casos, deve-se considerar que os mecanismos de certificação e comercialização dos certificados encarecem os custos dos projetos, o que atrelado aos baixos preços dos certificados, pode não promover ganhos de receita relevantes. Para plantas de grande porte os ganhos com a certificação são principalmente os indiretos, como por exemplo, marketing e melhora da imagem da empresa; para plantas de pequeno e médio porte ou projetos com baixa capacidade de investimento, os custos elevados e a baixa receita podem inviabilizar a busca pela certificação.

Importante destacar que diversos países europeus aplicam esse mecanismo para incentivar o uso de energias renováveis como citado na seção 2.4.2, juntamente com outros mecanismos. No Brasil, os certificados verdes, poderiam ser um mecanismo importante a ser aplicado conjuntamente com outros tipos de incentivos, possibilitando que o setor de biogás seja beneficiado.

5.2.2. Políticas focadas no investimento

As políticas de incentivo focadas no investimento visam ofertar mais energia, podendo ser adotados incentivos fiscais ou de crédito, apoio a projetos de P&D e apoio na desburocratização de processos de licenciamento, autorização e conexão à rede.

Uma importante forma de incentivo ao biogás é a disponibilização de linhas de crédito específicas e adaptadas às particularidades dos projetos. O período de carência do financiamento deve ser adequado ao tempo que uma planta de biogás leva para ser construída e operar em regime ótimo, pois, por ser um processo biológico, o tempo de partida pode ser mais longo que uma planta de energia eólica ou solar. Além disso, as plantas de biogás demandam tecnologias ainda em desenvolvimento que podem não alcançar a eficiência esperada no início da operação.

A Alemanha e a Itália, países com a maior quantidade de plantas de biogás da Europa, aplicaram diversos mecanismos de incentivo ao biogás pelo lado do investimento. Políticas focadas no investimento, como redução de juros e aumento do tempo de carência, reduzem a sensação de risco de investidores e aumentam a viabilidade econômica de projetos, especialmente quando se considera que são projetos muitas vezes inovadores no país. Assim,

segundo a EBA (2017), esse tipo de política, conjuntamente com outras políticas de incentivo, vem demonstrando ser importante para o desenvolvimento do setor de energias renováveis em geral, especialmente para o biogás.

Os financiamentos também devem ter taxas de juros e tempo para pagamento adequados para projetos que utilizam tecnologias ainda não consolidadas no mercado. Tais projetos podem sofrer alterações de cronograma e interferências na operação, sendo importante que o financiamento contemple esses aspectos para garantir que o projeto tenha sucesso a longo prazo.

As isenções fiscais são mecanismos importantes para incentivar o investimento em energias renováveis e podem ser aplicados em impostos, taxas e tarifas. Uma das ações que vários estados já praticam, é a isenção de ICMS sobre a energia elétrica gerada no sistema de compensação em GD. Essa isenção aumenta a receita do projeto e, assim, sua viabilidade. Outra possibilidade é a manutenção da isenção de TUSD também no sistema de compensação para o biogás. Atualmente a TUSD não é cobrada, e, considerando que o biogás ainda está em fase de desenvolvimento de tecnologias, seria muito importante que a isenção da TUSD fosse mantida por um período maior como incentivo ao setor.

O mesmo tipo de isenção poderia ser aplicado para a comercialização do biometano e na compra de equipamentos para a implantação. Alguns estados, como São Paulo, já aplicam essa isenção, mas é importante estimular a sua adoção em todos os estados já que o potencial de produção é nacional.

A continuidade do incentivo à P&D na área de biogás é importante para o desenvolvimento do setor, pois possibilita aumento da eficiência, redução de custo, aproveitamento de novos substratos, melhoria da operação, redução das demandas de manutenção, etc.

Ademais, por meio de recursos de P&D é possível incentivar a nacionalização de tecnologias e, assim, desenvolver a cadeia de valor no entorno dessa fonte de energia e gerar mais benefícios econômicos com seu desenvolvimento. Logo, segundo Quadro et al. (2016), o apoio governamental para esse desenvolvimento é essencial e fomentará parcerias maiores e mais duradouras entre empresas e universidades, ou centros de pesquisa.

Na Europa, os projetos de P&D financiados com recursos públicos normalmente envolvem mais de um país e uma empresa, além das universidades e/ou centros de pesquisa, segundo Bochmann (2018). Isso seria uma interessante medida para incentivar o desenvolvimento do setor de biogás do Brasil, pois a parceria entre instituições de P&D e a indústria garante que os projetos sejam realmente inovadores, ou seja, aplicáveis à realidade do mercado. Por isso, seria interessante que, da mesma forma que a Europa, a liberação de recursos

de P&D estivesse condicionada ao envolvimento de empresas e de universidades de diferentes estados da federação.

5.2.3. Políticas transversais

As políticas transversais apoiam as políticas pelo lado da oferta e da demanda, atuando em diversos pontos do setor de biogás. São tão importantes quanto as demais para garantir o desenvolvimento sustentável em longo prazo dessa fonte de energia.

A falta de informação sobre o setor de biogás é uma das barreiras ao seu desenvolvimento, conforme discutido anteriormente. Sendo assim, a comunicação é um dos pontos chave para incentivar o setor, por meio da difusão de notícias e conhecimento técnico e econômico sobre biogás. A comunicação apoia a criação de redes de agentes que atuam no setor e ajuda na aceitação social e melhoria da imagem do biogás como fonte de energia sustentável. Essa difusão deve ocorrer por meios de diferentes mídias de comunicação como internet, televisão, rádio, jornais e revistas e em eventos do setor.

Além disso, para a comunicação ser mais efetiva, é importante haver bases de dados e publicações periódicas com dados do setor, como tecnologias, preços, custos, oportunidades, linhas de financiamento, fornecedores, etc. Com informação acessível é possível planejar projetos e executar obras de forma mais segura.

Internacionalmente há diversos endereços eletrônicos e portais que organizam e disponibilizam informações sobre biogás, sendo que alguns deles foram desenvolvidos e são mantidos pelos respectivos governos e outros por associações. Um deles é o *The Official Information Portal on Anaerobic Digestion* (AD). Esse site foi desenvolvido e é mantido pela *National Non-Food Crops Centre* (NNFCC), uma consultoria em bioeconomia, e recebe apoio do governo e indústria do Reino Unido. Há também a plataforma *Biogaspartnership* desenvolvida pela Agência Alemã de Energia (Dena) em colaboração com vários parceiros dos setores agrícolas e de engenharia. Outra referência é o Diretório de Empresas, mantido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA-US). Todos esses portais se assemelham ao disponibilizar de forma imparcial dados sobre o setor de biogás de seus países, melhorando o conhecimento sobre o tema.

No Brasil, há algumas iniciativas interessantes nesse sentido: o banco de dados de fornecedores gerado pelo PROBIOGÁS e disponível no site da ABiogás; diversas publicações específicas sobre biogás elaboradas pelo PROBIOGÁS disponíveis no site do Ministério das Cidades; a Biblioteca do Biogás, que tem publicações, relatórios e notícias sobre o setor em um

portal online e é administrada pelo CIBiogás; e o BiogásMap, também mantido pelo CIBiogás, ferramenta online que mostra em um mapa a localização e dados básicos das plantas de biogás do Brasil e é o resultado direto dessa tese de Doutorado. Além disso, como apresentando na Seção 4.2.1, diversos estudos de potencial de produção de biogás foram elaborados nos últimos anos, o que vem ao encontro da demanda por informações. Porém, a falta de metodologias de estudo de potencial padronizadas e de padrão de apresentação dos dados acaba dificultando a análise do potencial indicado pelos estudos. Assim, além de haver iniciativas de coleta de dados, é imprescindível haver métodos validados e unificados para o levantamento, para que os dados sejam comparáveis entre substratos, tecnologias e regiões e ao longo do tempo.

De qualquer forma, ainda se observa que a falta de informações é grande se comparado o setor de biogás com o de etanol ou biodiesel. Esses setores têm portais e revistas dedicados a coletar e difundir dados econômicos, técnicos e institucionais do setor, apoiando no seu crescimento e consolidação.

Além da disponibilização de dados e informações, é essencial que haja políticas que incentivem a formação e capacitação de mão-de-obra para o setor. Na educação formal, essa ação passa por ações como: estruturação de cursos de nível técnico e inserção de disciplinas obrigatórias em cursos de graduação e pós-graduação relacionados a energias renováveis, meio ambiente e engenharia. Complementarmente, cursos profissionalizantes de curta duração poderiam capacitar profissionais que já estão no mercado para trabalhar em projetos de biogás em áreas como: planejamento, construção e operação de plantas, análise técnica e econômica para profissionais de instituições financiadoras e investidoras, órgãos de licenciamento ambiental, órgãos de governo, etc.

Não obstante, é importante que se aproveite a estrutura de ensino profissional e difusão de conhecimento já existente no Brasil, especialmente o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o Serviço Nacional de Aprendizagem (SENAR) e as empresas de extensão rural de cada estado.

A criação de centros de referência e projetos de demonstração também são apontados como uma das formas de incentivar o desenvolvimento do setor de biogás do País. As plantas de demonstração são muito importantes para o desenvolvimento de projetos de inovação tecnológica, especialmente para o desenvolvimento de tecnologias de produção de biogás adaptadas às condições tropicais do Brasil e à realidade socioeconômica dos locais com potencial. Ademais, por serem unidades abertas à visitação, acabam se tornando referência de viabilidade técnica para outros projetos. Os projetos de biogás da Chamada Estratégica 14/2012,

por terem como premissa a implantação de uma planta piloto, poderiam ter resultado em diversas plantas de demonstração, caso todos tivessem sido executados integralmente.

Além disso, os centros e institutos podem atuar em todas as políticas transversais citadas, ou seja, apoiar na comunicação, criação de redes de profissionais e empresas, coleta de dados do setor e capacitação. No entanto, a abrangência desses centros e de qualquer política transversal para o biogás deve ser nacional, ou seja, além das fronteiras dos grandes centros urbanos, já que o potencial brasileiro está bastante distribuído no território.

O acesso a informações técnicas sobre as tecnologias adequadas para cada setor, bem como seu efetivo potencial de produção de energia são fundamentais para fomentar novas iniciativas focadas no uso energético do biogás, incentivando também, a adoção desta prática nas usinas de biogás já existentes (FEAM/MG, 2015).

Assim, a coleta e disponibilização de informações do setor, a difusão de conhecimento e a capacitação de pessoal geram maior segurança para investidores, financiadores, proprietários e poder público, reduzindo a percepção de risco e a sensação de pioneirismo. Além disso, permitem uma avaliação mais criteriosa dos benefícios, dificuldades e rentabilidade dos projetos (QUADROS et al., 2016). Dessa forma, é imprescindível que as políticas públicas nacionais e estaduais para biogás prevejam e incentivem iniciativas que apoiem o setor a superar a barreira de falta de conhecimento.

Algumas das políticas transversais têm uma ação indireta, ou seja, são políticas criadas com outro objetivo que não incentivar o biogás, mas que acabam por fazê-lo. A PNRS é uma dessas políticas indiretas, já que apoia o biogás por definir que deve ser feito uso energético dos resíduos. No entanto, a pouca aplicação real da política, por diversas dificuldades financeiras e de recursos humanos dos municípios, impede que o uso do biogás nesse setor aumente como tem o potencial. Assim, apoiar e incentivar o cumprimento total dessa política em todo o país seria uma forma de incentivar o setor de biogás.

As políticas de redução de emissões de carbono também afetam positivamente o setor de biogás, como o Plano Agricultura de Baixo Carbono, já mencionado. Esse plano especificamente teve sucesso na implantação do Programa ABC com linhas de financiamento especiais, porém suas ações de divulgação e capacitação foram limitadas, considerando a grandiosidade da agricultura brasileira. As políticas de incentivo às fontes renováveis de energia na Europa tiveram como principal motivação a redução das emissões de GEE e foram muito efetivas no desenvolvimento dessas fontes, como visto anteriormente. Dessa forma, as políticas transversais podem ser importantes aliadas no desenvolvimento do setor de biogás do Brasil.

6. CONCLUSÕES

O biogás é uma fonte de energia produzida a partir de resíduos e efluentes, ou seja, a partir de potenciais poluentes. Isso o torna, acima de tudo, um produto que pode incentivar o correto tratamento e disposição desses resíduos, convertendo-se em um vetor de melhoria ambiental de propriedades rurais, indústrias e cidades. Dessa forma, o desenvolvimento do setor de biogás no Brasil é tão importante para o setor de saneamento quanto para o setor energético, podendo gerar externalidades e benefícios nesses dois setores tão estratégicos para o país.

No diagnóstico do setor de biogás do Brasil realizado nesse estudo, analisaram-se os projetos de P&D, o ambiente regulatório, as políticas públicas, as iniciativas do setor privado, as fontes de financiamento, as tecnologias para produção de biogás e os modelos de negócio do setor. Os dados analisados indicam que há diversas iniciativas nos últimos dez anos para desenvolvimento tecnológico relacionado ao biogás, porém nem sempre as informações e resultados são compartilhados e publicados. Além disso, observa-se que há políticas públicas que de forma transversal incentivam o biogás, porém não há uma política específica que considere todas as suas particularidades e potencial. Da mesma forma, há linhas de financiamento disponíveis que permitem que projetos de biogás sejam beneficiados, porém nenhuma linha tem foco especificamente no biogás.

Nesse sentido, talvez o que tenha mais destaque entre as informações levantadas sejam as publicações da EPE dedicadas ou que incluam o biogás, o que é um indicativo do potencial visto pela empresa que dá embasamento para o planejamento do MME e, conseqüentemente, do setor energético em geral. De qualquer forma, observou-se que houve avanços importantes nos últimos cinco anos no sentido de incentivar o setor de biogás do Brasil.

Esses avanços podem ser resultados da demonstração e reconhecimento do considerável potencial de produção de biogás e do impacto que teria no setor ambiental e energético. Como visto nesse estudo, várias publicações apresentam o potencial do biogás do país, que apesar de serem diferentes entre si em diversos aspectos, indicam que há um mercado a ser explorado nos próximos anos com essa fonte de energia. No entanto, para que esses estudos sejam ferramentas eficazes para a tomada de decisão e crescimento do setor, seria interessante que houvesse mais transparência e detalhamento das metodologias e parâmetros aplicados. Isso possibilitaria uma avaliação mais precisa e com menor risco para o setor de biogás.

O levantamento de plantas de biogás existentes no Brasil, que foi realizado nesse estudo, indica que o setor já vem dando sinais de crescimento. As 127 plantas em operação em 2015

utilizavam variados substratos para a produção de biogás e a maioria tinha como origem a obrigação de tratamento de efluentes e resíduos. Assim, fica claro a relação forte que há entre saneamento ambiental e geração de energia no setor de biogás, o que deve ser considerado quando da elaboração de políticas públicas e mecanismos de incentivo.

Esse levantamento de plantas de biogás para fins energéticos, por ter sido o primeiro realizado no Brasil, gerou muito interesse do setor energético, inclusive da EPE, que agora utiliza essa referência em suas apresentações e no webmap da instituição. Destaca-se que a metodologia já está sendo utilizada para a atualização dos dados de 2017 e acompanhamento anual para análise da evolução pelo CIBiogás para inserção no BiogásMap. Dessa forma, esses dados podem ser utilizados como uma ferramenta de apoio ao planejamento energético do país na busca pela diversificação e crescimento.

Analisando as barreiras e propostas de ações para o desenvolvimento do setor de biogás a partir do diagnóstico realizado, constata-se que as barreiras relacionadas à falta de conhecimento referem-se à pouca disponibilidade de informação técnica, comercial e legal organizada e/ou acessível aos atores do setor, pouca disponibilidade de profissionais capacitados e pouca quantidade de projetos de biogás bem-sucedidos e conhecidos. Isso reduz a segurança de todos os atores da cadeia de biogás em realizar investimentos no setor, ou pode prejudicar a viabilização de projetos já em operação.

As barreiras relacionadas à disponibilidade de tecnologias para produção e aproveitamento energético do biogás referem-se à pouca disponibilidade de tecnologias nacionais eficientes e adaptadas aos diversos tipos de projetos de biogás. O levantamento realizado nesse estudo indica que o setor é bastante diversificado quando se analisa porte das plantas, substratos utilizados, tipo de aproveitamento energético e distância das plantas em relação aos serviços de instalação e manutenção. Já as barreiras tecnológicas têm grande interferência na viabilidade econômica e financeira de projetos e na sustentabilidade operacional da planta. Da mesma forma, as barreiras econômicas e financeiras dos projetos de biogás impactam diretamente no crescimento do setor no Brasil.

Finalmente, analisando as barreiras relacionadas ao ambiente político e regulatório, o país vem avançando nos últimos anos, havendo políticas, resoluções e normas em nível nacional e estadual relacionadas ao biogás. Destaca-se que seria importante que a política nacional fosse direcionada para também incentivar o biogás e que considerasse sua complexidade em relação à localização do potencial, substratos, tecnologias, porte e aplicação energética, da mesma forma que ocorreu com o biodiesel e o etanol no Brasil. Como já foi destacado, apesar da política Renovabio considerar o biogás por meio do biometano, ela não será tão efetiva para o

setor, pois o biometano ainda é uma parte pequena do total de biogás produzido no Brasil, como o levantamento realizado nesse estudo indica.

Os países europeus, conforme analisado nesse estudo, destacam-se por terem políticas de incentivo à produção de energia com fontes renováveis, e, assim, vêm tendo avanço na redução de emissões de GEE, e no desenvolvimento de novas cadeias de produtivas, como eólica, solar e biogás. Ou seja, além dos benefícios ambientais, o incentivo a energias renováveis pode gerar benefícios sociais e econômicos, e a Europa pode ser uma referência para o Brasil na implementação dessas políticas.

É interessante que essas políticas de incentivo para uma fonte renovável de energia sejam compostas por mecanismos que apoiem os empreendimentos no momento do investimento e durante a operação. Para o investimento, as isenções fiscais e boas condições de financiamento são muito importantes, principalmente quando se considera que o biogás ainda demanda desenvolvimento tecnológico e nacionalização de tecnologias na maioria dos casos.

Para o incentivo pelo lado da geração de energia, destaca-se a obrigação de compra e mistura de biometano ao gás natural pelas concessionárias de gás, o que poderia viabilizar muitos projetos. A realização de leilões de energia elétrica com valores referência específicos para o biogás e por tipo de substrato também seria interessante para incentivar o setor, pois a remuneração para o projeto poderia ser mais condizente com os custos da tecnologia ainda em desenvolvimento e consolidação.

Além de políticas específicas para incentivar o investimento e a produção de biogás, percebe-se a importância de políticas transversais para superação de barreiras de falta de conhecimento. A coleta e disponibilização de informações do setor, a difusão de conhecimento e a capacitação de pessoal geram maior segurança para investidores, financiadores, proprietários e poder público, reduzindo a percepção de risco e a sensação de pioneirismo. É importante que as leis ambientais incentivem que, além do uso de tecnologias de tratamento de efluentes e resíduos eficientes, também seja realizado o uso eficiente dos produtos do processo, ou seja, o biogás e o digestato. Considera-se imprescindível que, além de o biogás ser visto como uma fonte de energia renovável, também seja considerado um vetor de desenvolvimento sustentável por estar diretamente relacionado à melhoria ambiental, econômica e social.

Assim, além de haver essas políticas de incentivo para a superação das barreiras já citadas, é imprescindível que haja entrosamento entre as políticas, regulações e normas nacionais e estaduais para que se complementem no desenvolvimento do setor de biogás.

Dessa forma, é possível observar que o setor de biogás do Brasil tem um potencial importante e já vem dando sinais de crescimento, conforme os dados apresentados nesse estudo.

Além disso, já houve diversas iniciativas e projetos que demonstraram que o setor público, privado e de pesquisa vem observando esse potencial e buscando meio de viabilizar seu aproveitamento.

No entanto, ainda há um longo caminho para que as barreiras, que foram apresentadas nesse estudo, sejam superadas, mesmo que parcialmente, e assim o setor tenha um crescimento como ocorreu com o de energia eólica e está ocorrendo com o de energia solar fotovoltaica no país nos últimos anos, e como ocorreu com o biogás na Europa. Em todos os casos, houve políticas públicas de incentivo a essas fontes, com mecanismos específicos e adaptados aos objetivos de longo prazo. O setor de biogás brasileiro deve ter com referência o setor europeu, mas sempre com o cuidado de adaptar as soluções regulatórias, tecnológicas e de incentivo à realidade, possibilidades e objetivos do país.

Uma matriz energética mais diversificada apoiaria o país na garantia de oferta de energia para o crescimento previsto nos próximos anos sem que houvesse tanta necessidade de utilizar-se fontes fósseis. Dentro de um contexto geral do setor de energia no Brasil ficam evidentes as consequências de um setor elétrico dependente do regime hídrico para a geração e de um setor de petróleo e gás ainda muito concentrado em sua empresa estatal, que passa por problemas que reduzem sua capacidade de investimento. Além disso, a busca por fontes alternativas de energia que emitam menos GEE é uma das prerrogativas para o atendimento dos compromissos firmados pelo Brasil no Acordo de Paris.

Nesse sentido, torna-se imprescindível que os planejadores do setor energético, investidores, financiadores, empresas produtoras de resíduos e efluentes, institutos de pesquisa e desenvolvimento, associações e outros atores do setor de energia e saneamento passem a considerar efetivamente o biogás como uma fonte alternativa de energia elétrica e de combustível para a diversificação e crescimento da oferta de energia sustentável no país.

Como forma de avançar nas análises realizadas dessa pesquisa, sugere-se que outros estudos sejam realizados para a atualização dos dados de plantas de biogás, padronização das metodologias de estudo de potencial, atualização dos dados de potencial de produção de biogás do país, análise da política Renovabio no âmbito do biogás e análise das políticas estaduais de biogás e proposição de mecanismos para implementação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOGAS. **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano**. São Paulo: ABiogás, 2015.

ABIOGÁS. **Sobre a ABiogás**. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/missao-visao-valores>>. Acesso em: 20/4/2014.

ABRELPE. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**. p. 172, 2013. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2013.pdf>.

ABRELPE. **Missão e Visão**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/abrelpe_visao.cfm>. Acesso em: 20/4/2014.

AEBIOM. EU Handbook: Biogas Markets. **CrossBorder Bioenergy**, p. 156, 2012.

ALBARRACIN, A. L. T. **Biogás Oriundo de Resíduos Como Vetor Energético no Brasil. Dissertação De Mestrado**, 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa No 271, de 3 de julho de 2007**. Altera a redação dos arts. 1º e 3º da Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004.

ANEEL. **Chamada Nº 014/2012 Projeto Estratégico: “Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração de energia elétrica a biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos na matriz energética brasileira**, p. 18, 2012a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD-2012-Chamada PE 14_23-07-12.pdf>.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. 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 providên.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição

– PRODIST.

ANEEL. **Usinas termelétricas a biogás - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 1/5/2015b.

ANEEL. **Usinas termelétricas a biogás - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 30/09/2018.

ANEEL. **Lista de Projetos de P&D (Resolução Normativa 316/2008)**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930488/Projetos+27-03-18/36f84f1c-adab-6ba8-363d-adcaf3868d01>>. Acesso em: 30/4/2018.

ANP/SCM. **Mapa de infraestrutura de produção e movimentação de gás natural do Brasil – 2016**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/gasodutos-de-transporte>>. Acesso em: 17/4/2018.

ANP. **Resolução ANP No 8, de 30.1.2015**. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 02 de fev., 2015a.

ANP. **Resolução ANP nº 8, de 30.1.2015**. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280722>>.

ANP. **Resolução ANP Nº 685 DE 29/06/2017**. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, in. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=345545>>.

ANP. **Anuário Estatístico 2017**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>> Acesso em: 30/08/2018.

ASPE. **Atlas de bioenergia do Espírito Santo**. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo . Vitória- ES, 100p.2013.

BACHMANN, N.; WELLINGER, A. **PAN - European Biogas Road Map**. Brussels, 2012.
 BELIN, P. R.; STILPEN, M. R.; ALVES, R. B.; LUCIO, L. T.; MARQUES, F. S. O impacto do icms na viabilidade de projetos de geração distribuída – estudo de caso aplicado ao biogás. Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. **Anais...**, 2015. Fortaleza/CE.

BLEY, C. **Biogás: A energia invisível**. CIBiogás-ER., n. 12232131, p. 48–50, 2015.

BNDES. **Fundo Clima**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima>>. Acesso em: 2/6/2018a.

BNDES. **Financiamentos. BNDES Finame. Como obter um financiamento BNDES Finame**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/finame/como-obter-financiamento-finame/como-obter-financiamento-finame/>>. Acesso em: 24/5/2018b.

BOCHMAMM, G. **Entrevista com pesquisadores europeus**, 2018. Viena/Áustria.

BRASIL. **Linhas de crédito do Pronaf/ Pronaf Eco**. Secretaria de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário 2013 Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-creditorural/linhas-de-cr%C3%A9dito>. Acesso em: 07/10/2018.

BRASIL. **Decreto No 55.275, de dezembro de 1964**. Cria o “Fundo de Financiamento para Aquisição de Máquinas e Equipamentos Industriais - FINAME” e dá outras providências. 1964.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>.

BRASIL. **Decreto No 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Im. , 2010b.

BRASIL. **Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. BRASIL, 2017.

CAPES. **EDITAL 57/2013. PROJETOS SELECIONADOS EM 2013. PROGRAMA I-NOPA CAPES/DAAD/GIZ**. Disponível em:

<http://www.capes.gov.br/images/stories/download/editais/resultados/Edital_057_2013_INOPA_DAAD_GIZ_Resultado-Final.pdf>. Acesso em: 27/5/2018.

CAPES. Programa i-NoPa seleciona projetos nas áreas de energia heliotérmica e tecnologias de biogás. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/6438-programa-i-nopa-seleciona-projetos-nas-areas-de-energia-heliotermica-e-tecnologias-de-biogas>>. Acesso em: 27/5/2018.

CENBIO. Atlas de Bioenergia do Brasil. Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO/Convênio 007/2005 – MME. Disponível em: 143.107.4.241/download/atlas_cenbio.pdf. Acesso em: 26 outubro de 2012.

CEPEA. Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil. n. Mdl, p. 9, 2004. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/releaseaterro.pdf>>.

CETESB. Biogás: projetos e pesquisas no Brasil. 2006.

CETESB. PROJETOS DE BIOGÁS NO MDL. 2a ed. ed. São Paulo: Cetesb, 2014.

CIBIOGÁS. Trator a biometano é testado e aprovado. Disponível em: <<https://cibiogas.org/trator-biometano-aprovado>>. Acesso em: 24/1/2017.

CIBIOGÁS. Curso de Fundamentos do Biogás: Produção e uso energético do biogás. Foz do Iguaçu, 2018a.

CIBIOGÁS. Quem somos. Disponível em: <https://cibiogas.org/quem_somos>. Acesso em: 27/5/2018b.

CNPQ. Diretório de grupos de pesquisa no Brasil. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp>>. Acesso em: 31/3/2015.

COIMBRA-ARAÚJO, C. H.; MARIANE, L.; JÚNIOR, C. B.; et al. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 826–839, 2014. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.024>>..

CONFAZ. CONVÊNIO ICMS 16, DE 22 DE ABRIL DE 2015. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o

Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de . Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15>. Acesso em: 30/08/2018 .

COSTA, L. MAGALHÃES DA; SILVA, M. F. DE O. E. **Livro 60anos BNDES - Perspectivas setoriais - A indústria química e o setor de fertilizantes**. Rio de Janeiro, 2012.

DANIEL, G.; FAGNANI, K. C. Geração de biogás a partir do efluente da produção de amido de mandioca da amidonaria C.Vale. **Paraná Cooperativo**, v. 1, n. 2, 2004.

DESENVOLVE SP. **Opções de crédito. Linha Economia Verde**. Disponível em: <<http://www.desenvolvesp.com.br/empresas/opcoes-de-credito/projetos-sustentaveis/linha-economia-verde/>>. Acesso em: 2/6/2018.

DIVYA, D.; GOPINATH, L. R.; MERLIN CHRISTY, P. A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 690–699, 2015. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.055>>. .

EBA. **EBA’ s biomethane fact sheet**. 2013a.

EBA. **Green Gas Grid. Proposal for a European biomethane roadmap**. 2013b.

EBA. **Biogas report 2014**. Brussels, 2014.

EBA. **EBA Statistical Report 2017**. Disponível em: <<http://european-biogas.eu/2017/12/14/eba-statistical-report-2017-published-soon/>>. Acesso em: 18/4/2018.

EMBRAPA. **Rede BiogásFert**. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/biogasfert/#rede>>. Acesso em: 27/5/2018.

ENGDAHL, K. **Biogas policies, incentives and barriers - a survey of the strategies of three European countries**. p. 67, 2010. Disponível em: <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=4468127&fileOId=4469065>>. .

EPE. **Nota Técnica DEA 19/2014 - Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro, 2014a.

EPE. **Nota Técnica DEA 15/2014 - Inventário Energético de Resíduos Rurais**. Rio de Janeiro, 2014b.

EPE. **Nota Técnica DEA 18/2014 - Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: EPE, 2014c.

EPE. **Nota Técnica DEA 13/2014 - Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro: EPE, 2014d.

EPE. **Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviário – PEMAT 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2014e.

EPE. **Resumo Vendedor. 23º LEILÃO DE ENERGIA NOVA A-5**. Rio de Janeiro, 2016.

EPE. **Balanco Energético Nacional - BEN 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

EPE. **Informe Leilões de Geração de Energia Elétrica. Leilão de Geração A-4/2018**. Rio de Janeiro, 2018.

EPE. **Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano**. Rio de Janeiro, 2018.

EUROOBSERV'ER. **BIOGAS BAROMETER**. Frankfurt: EurObserv'ER, 2017.

FEAM/MG. **Potencial de energias renováveis - Volume II – Biomassa , resíduos e hidroeletricidade.** , v. II, p. 120, 2014.

FEAM/MG. **Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), 2015.

FGV ENERGIA. **Raízen deve antecipar em dois anos operação de usina a biogás**. Disponível em: <<http://fgvenergia.fgv.br/noticias/raizen-deve-antecipar-em-dois-anos-operacao-de-usina-biogas>>. Acesso em: 23/5/2018.

FIGUEIREDO, J. C. **Estimativa de produção de biogás e potencial energético dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais**. p. 139, 2012.

FINEP. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - 2006 - ANEXO 1**. Brasília/DF, 2006.

FINEP. CHAMADA PÚBLICA MCT/MCIDADES/FINEP/AT - SANEAMENTO AMBIENTAL E HABITAÇÃO - 06/2010. Brasília/DF, 2010.

HAHN, H.; JENTSCH, A. Financing mechanisms for biogas projects in Central and Eastern Europe. Kassel, Germany, 2012.

IEA BIOENERGY. Country Reports Summary 2014 - IEA Bioenergy - Task 37. Disponível em: <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/01/IEA-Bioenergy-Task-37-Country-Report-Summary-2014_Final.pdf>. .

IEA BIOENERGY. Country Reports Summary 2015 - IEA Bioenergy - Task 37. Disponível em: <[http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/Summary/IEA Bioerg%2BT37CRS%2B2015%2BFinal.pdf](http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/Summary/IEA%20Bioerg%2BT37CRS%2B2015%2BFinal.pdf)>. .

IEA BIOENERGY. Biomethane demonstration - Innovation in urban waste treatment and in biomethane vehicle fuel production in Brazil - IEA Bioenergy Task 37 IEA Bioenergy: Task 37. 2017.

IEE/USP. Grupo de Pesquisa em Bioenergia. Instituto de Energia e Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/gbio/?q=grupo-de-pesquisa-em-bioenergia>>. Acesso em: 27/5/2018.

IPCC. IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR) - Working Group I: The Science of Climate Change. Cambridge: IPCC, 1996.

IPCC. IPCC Fourth Assessment Report -Climate Change 2007 - Synthesis Report. Genebra: IPCC, 2008.

IPCC. IPCC Fifth Assessment Report - Climate Change 2014 - Synthesis Report. Genebra: IPCC, 2015.

IPEA. Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, p. 134, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. .

JENDE, O.; ROSENFELDT, S.; COLTURATO, L. F. DE D. B.; et al. Barreiras e Propostas de Soluções para o Mercado de Biogás no Brasil. p. 76, 2016.

JOAS, F.; PAHLE, M.; FLACHSLAND, C.; JOAS, A. Which goals are driving the Energiewende? Making sense of the German Energy Transformation. **Energy Policy**, v. 95, p. 42–51, 2016. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.003>>. .

JUCÁ, J. F. T. **Aproveitamento Energético do Biogás dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília/DF, 2014.

KPMG. **KPMG Taxes and Incentives for Renewable Energy 2015**, 2015. Disponível em: <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/09/taxes-and-incentives-2015-web-v2.pdf>>. .

KUWAHARA, N.; BERNI, M. D.; BAJAY, S. V. Energy supply from municipal wastes: The potential of biogas-fuelled buses in Brazil. **Renewable Energy**, v. 16, n. 1–4, p. 1000–1003, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014819800353X>>. .

LAMONICA, Helcio Martins. Potencial de geração de excedentes de energia elétrica com o biogás produzido a partir da biodigestão da vinhaça na indústria sucro-alcooleira brasileira. Em: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 6., 2006, Campinas. Anais do Congresso. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200027&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 26 outubro de 2012.

MALAGGI, M.; SOUZA, S. N. M. DE. Estimativa do potencial de produção de biogás e energia na indústria de abate de frangos no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 151–162, 2014.

MAPA. **Plano Nacional de Agroenergia - 2006-2011**. 2 ed. ed. Brasília/DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

MAPA. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura : plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília/DF: MAPA/ACS, 2012.

MARIANI, L.; CAVALIERO, C. K. N.; BLEY, C. J.; GOMES, A. C. A.; MITO, J. Y. L. Políticas públicas e privadas de incentivo ao uso do biogás na matriz energética brasileira. **IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, , n. 19, p. 1–12, 2014.

MCTI. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Brasília/DF,

2013.

MMA. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>>. Acesso em: 7/5/2018.

MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília/DF, 2017.

MÜLLER, S.; BROWN, A.; ÖLZ, S. Policy Considerations For Deploying Renewables. **Renewable Energy**, p. 72, 2011. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Renew_Policies.pdf>. .

OECD/IEA. **Energy Sector Methane Recovery and Use - The Importance of Policy**. Paris: OECD/IEA, 2009.

OLIVEIRA, L. B. . B; ROSA, L. P. . B. Brazilian waste potential: Energy, environmental, social and economic benefits. **Energy Policy**, v. 31, n. 14, p. 1481–1491, 2003. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0038270507&partnerID=40&md5=4bbcee3de47cb2f469aa1ce489d7af4e>>. .

PALERMO, G. C.; D’AVIGNON, A. L. DE A.; FREITAS, M. A. V. Reduction of emissions from Brazilian cattle raising and the generation of energy: Intensification and confinement potentials. **Energy Policy**, v. 68, p. 28–38, 2014.

PARANÁ. **Lei Nº 19500 DE 21/05/2018**. Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano e adota outras providências.

PALHARES, J.C.P. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TCC-camila-final-pdf.pdf>. Acesso em: 07/10/2018.

PNUD; MMA. **Produto 6 – Resumo Executivo Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. p. 56, 2010.

POMPERMAYER, R. D. S.; JÚNIOR, D. R. D. P. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da vinhaça e comparação com outros energéticos. **3 Encontro Energia Meio Rural**, p. 1–6, 2003.

QUADROS, R.; TAVARES, A. N.; SANTOS, G. V. DOS; BAJAY, S. **Projeto de P&D: “Desenvolvimento de Arranjos Técnicos e Institucionais para o Aproveitamento de Biogás, Através da Geração de Energia Elétrica, Oriundo de Resíduos Sólidos Urbanos”.** **Relatório 2: Políticas Industriais, Tecnológicas e Energéticas de Fomento.** São Paulo, 2016.

RESCH, G.; HELD, A.; FABER, T.; et al. Potentials and prospects for renewable energies at global scale. **Energy Policy**, v. 36, n. 11, p. 4048–4056, 2008.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 6361, de 18 de dezembro de 2012.** Dispõe sobre a Política Estadual de Gás Natural Renovável - GNR. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/e9589b9aab9cac8032564fe0065abb4/f0294f2b42bc949483257ada00673a4a?OpenDocument>>. .

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Nº 14864 de 11/05/2016.** Institui a Política Estadual do Biometano, o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano - RS-GÁS - e dá outras providências.

RITTER, C. M.; SANTOS, F. R.; CURTI, S. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura : sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. **Tópos**, v. 7, n. 1, p. 32–40, 2013.

SALOMON, K.; OLIVEIRA, A.; MARTINS, K.; et al. Elaboração de atlas com o potencial de geração de energia elétrica proveniente da biomassa residual em Alagoas. **RenovEnergia’14, Energias Renováveis e Transição Energética**, v. 4, n. March, p. 1–2, 2014.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa e Energia**, v. 2, n. 1, p. 57–67, 2005.

SANTA CATARINA. **Lei Nº 17542 de 12/07/2018.** Institui a Política Estadual do Biogás e estabelece outras providências.

SÃO PAULO. **Decreto nº 58.659, de 4 de dezembro de 2012.** Institui o Programa Paulista de Biogás e dá provi-dências correlatas. Disponível em: <[http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/dg280202.nsf/5fb5269ed17b47ab83256cfb00501469/0250b268dd46ba4c83257acb004382ef/\\$FILE/58.659.doc](http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/dg280202.nsf/5fb5269ed17b47ab83256cfb00501469/0250b268dd46ba4c83257acb004382ef/$FILE/58.659.doc)>.

SÃO PAULO. **DECRETO Nº 59.038, DE 3 DE ABRIL DE 2013.** Institui o Programa Paulista de Biocombustíveis e dá providências correlatas, 2013.

SÃO PAULO. **Decreto No 60.297, de 27 de março de 2014.** Introduce alterações no

Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - RICMS. 2014a.

SÃO PAULO. **Decreto No 60.298, de 27 de março de 2014**. ntroduz alterações no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - RICMS. , 2014b.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J.; FAHL, F. Biogas : Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, v. 129, p. 457–472, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>>. .

SCGÁS. SCGÁS APRESENTA PROGRAMA DE BIOMETANO À ANP. **PetroNotícias**, 19. jun. 2013. Disponível em: <<https://petronoticias.com.br/archives/31202>>. .

SÜHLSSEN, K.; HISSCHEMÖLLER, M. Lobbying the “Energiewende”. Assessing the effectiveness of strategies to promote the renewable energy business in Germany. **Energy Policy**, v. 69, p. 316–325, 2014. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.018>>. .

SULGÁS. Chamada pública 01/15 - Projetos de empreendimentos destinados à produção de biometano. **Termo de Homologação**. Disponível em: <http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/licit-concluidas/edital-publico/784-chamada-publica-01-2015>. Acesso em: 07/10/2018.

UFSC; SCGAS. **Inventário do potencial de geração de metnao no estado de Santa Catarina**, 2010.

VERBRUGGEN, A.; FISCHEDICK, M.; MOOMAW, W.; et al. Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. **Energy Policy**, v. 38, n. 2, p. 850–861, 2010.

VIEIRA, J. N. DE S. **Biocombustíveis no Brasil: desafios para os próximos anos**. Brasília, 2011.

VRIES, B. J. M.; VAN VUUREN, D. P.; HOOGWIJK, M. M. Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach. **Energy Policy**, v. 35, n. 4, p. 2590–2610, 2007.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**, 2009. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

APÊDICE – FORMULÁRIO DE LEVANTAMENTO DE PLANTAS DE BIOGÁS.**Cadastro de plantas de biogás do Brasil****Dados básicos da unidade**

1.Código da unidade

2.Nome do proprietário ou responsável

3.Estado Marcar apenas uma oval.

- Acre
- Alagoas
- Amapá
- Amazonas
- Bahia
- Ceará
- Distrito Federal
- Espírito Santo
- Goiás
- Maranhão
- Mato Grosso
- Mato Grosso do Sul
- Minas Gerais
- Pará
- Paraíba
- Paraná
- Pernambuco
- Piauí
- Rio de Janeiro
- Rio Grande do Norte
- Rio Grande do Sul
- Rondônia
- Roraima
- Santa Catarina
- São Paulo
- Sergipe
- Tocantins

4.Município

5.Latitude:

6. Longitude :

7.Situação da planta

Marcar apenas uma oval.

- Em operação
- Em reformulação/reforma
- Em instalação
- Em planejamento

8.Categoria da planta

Marcar apenas uma oval.

- Agropecuária
- Aterro Sanitário
- Resíduos orgânicos (Biowaste)
- Estação de Tratamento de Esgoto
- Indústria

9.Fonte de substrato

10.Aplicação do biogás (principal). Marcar apenas uma oval.

- Energia elétrica
- Energia térmica
- Energia mecânica (fertirrigação)
- Biometano

11.Todas as aplicações do biogás. Marque todas que se aplicam.

- Energia elétrica
- Energia térmica
- Energia mecânica (fertirrigação)
- Biometano

12.Distribuição do biogás para cada uso energético

13.Data de início da operação do biodigestor, aterro, planta ou condomínio

Exemplo: 15 de dezembro de 2012

14.Data de início do uso energético do biogás

Exemplo: 15 de dezembro de 2012

Sobre a produção de biogás

15. Modelo do biodigestor

16. Produção de biogás atual ou esperada
(Nm³/dia) e ou quantidade de animais (DADO CALCULADO)

17. Produção de biogás atual ou esperada (Nm³/dia) (DADO FORNECIDO)

18. Dias operando por ano

19. Quantidade de metano no biogás (%)

Sobre o uso para energia elétrica

20. Capacidade instalada atual ou planejada (MWe)

21. Geração de energia elétrica (kWh/dia)

22. Horas gerando/operando por dia

23. Está(rá) conectada com a rede elétrica?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

24. Forma de venda da energia elétrica Marcar apenas uma oval.

- Mercado livre
 Mercado regulado
 Consumo interno/Compensação Outro:

Sobre o uso para energia térmica

25. Combustível substituído, para o caso de uso do biogás para energia térmica Marcar apenas uma oval.

- Lenha
 GLP
 Gás natural
 Cavaco Outro:

26. Quantidade de combustível substituído, para o caso de uso do biogás para energia térmica

Sobre a produção de biometano

27. Quantidade de biometano produzido
(após upgrading) (Nm³/dia)

28. Aplicação do biometano Marcar apenas uma oval.

- Injeção na rede de gás
 Abastecimento de veículos
 Indústria
 Geração de energia elétrica Outro:

Outras informações

29. Há algum tipo de sistema de armazenagem de biogás adicional ao biodigestor? Descreva

30. Há algum tipo de transporte do biogás/biometano? Como é feito?

31.Sobre o digestato

Marcar apenas uma oval.

Tratamento para lançamento em corpo de água ou enviado para aterro

Utilizado como biofertilizante Outro:

32.Empresa(s) responsável(is) pela instalação das tecnologias

Sobre o cadastro

33.Ponto de partida da pesquisa

34.Data da validação do cadastro com o proprietário e/ou responsável

Exemplo: 15 de dezembro de 2012

35.Fontes de informações sobre essa planta (nome do contato, site, notícias e publicações sobre a planta)

36.Pessoa de contato na planta

37.Email de contato

38.Telefone de contato

39.Qual a situação desse cadastro? * Marcar apenas uma oval.

Cadastro avançado completo e validado

Cadastro basico completo em contato com responsavel para validacao

Em contato com responsavel para cadastro e validacao

Cadastro incompleto e nenhum contato feito com responsável

ANEXO 1 - GRUPOS DE PESQUISA EM BIODIGESTÃO E BIOGÁS

INSTITUIÇÃO	GRUPO	LÍDER	ÁREA PREDOMINANTE	Estado	Região
Universidade Federal de Mato Grosso	Engenharia Sustentável na Agricultura - ECOAGRI	Jofran Luiz de Oliveira	Ciências Agrárias	Mato Grosso	Centro-Oeste
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	Aproveitamento Energético	Valmir Machado Pereira	Engenharias	Mato Grosso do Sul	Centro-Oeste
Universidade de Brasília	Impactos ambientais da produção animal	Sergio Salomon Cabral Filho	Ciências Agrárias	Distrito Federal	Centro-oeste
Universidade de Brasília	Laboratório de Desenvolvimento de Processos Químicos	Alexandre Perez Umpierre	Ciências Exatas e da Terra	Distrito Federal	Centro-oeste
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul	Manejo e Utilização de Resíduos em Agrossistemas	Tania Mara Baptista dos Santos	Ciências Agrárias	Mato Grosso do Sul	Centro-oeste
Universidade Federal da Grande Dourados	Manejo e utilização dos dejetos gerados na produção animal	Ana Carolina Amorim Orrico	Ciências Agrárias	Mato Grosso do Sul	Centro-oeste
Instituto Federal de Mato Grosso	Ciências da natureza aplicada às tecnologias sustentáveis	Pedro Martins Sousa	Ciências Biológicas	Mato Grosso	Centro-oeste
Universidade Federal de Goiás	Clima e recursos hídricos do cerrado	Nori Paulo Griebeler	Ciências Agrárias	Goiás	Centro-oeste
Universidade Estadual do Centro-Oeste	Estudos em gestão da qualidade do ar e bioenergia	Waldir Nagel Schirmer	Engenharias	Goiás	Centro-oeste
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	Desenvolvimento de processos químicos e bioquímicos baseados em biomassa	Rossano Gambetta	Engenharias	Brasília	Centro-Oeste
Instituto Federal da Bahia	APLICABIO	Rafael Vasconcelos Oliveira	Ciências Biológicas	Bahia	Nordeste
Universidade Federal de Alagoas	Energia da Biomassa	Guilherme Bastos Lyra	Ciências Agrárias	Alagoas	Nordeste
Universidade Federal de Alagoas	Energia e Biocombustíveis	Simoni Margareti Meneghetti	Engenharias	Alagoas	Nordeste
Instituto Federal do Sertão Pernambucano	Energia no Meio Rural	Francisco Jonatas Coelho	Engenharias	Pernambuco	Nordeste
Instituto Federal de Pernambuco	Fertilidade do Solo e Agroenergia	Renato Lemos dos Santos	Ciências Agrárias	Pernambuco	Nordeste
Universidade Regional do Cariri	GETMA	Glauco Tavares de Barros	Engenharias	Ceará	Nordeste
Universidade Federal de Alagoas	GQMAE - Grupo de Qualidade Meio Ambiente e Energia	Karina Ribeiro Salomon	Engenharias	Alagoas	Nordeste
Universidade Federal de Pernambuco	Grupo de Energia da Biomassa	Rômulo Cezar Menezes	Ciências Agrárias	Pernambuco	Nordeste
Universidade Federal Rural do Semi-Árido	Grupo de estudos em sustentabilidade do semiárido - GESS	José Flávio Timoteo Júnior	Ciências Exatas e da Terra	Rio Grande do Norte	Nordeste
Universidade Estadual do Maranhão	Grupo de Pesquisa em Energias Renováveis	Hamilton Santos Almeida	Ciências Agrárias	Maranhão	Nordeste
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Grupo de Pesquisa Engenharia de Custo e Tecnologia Biomassa Limpa	Gilson Gomes de Medeiros	Engenharias	Rio Grande do Norte	Nordeste
Universidade Federal de Pernambuco	Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais	Silvana de Souza Calado	Engenharias	Pernambuco	Nordeste
Universidade Federal da Bahia	LABEC - Laboratório de Bioenergia e Catálise	Louisa Wessels Perelo	Engenharias	Bahia	Nordeste
Universidade Federal de Campina Grande	Núcleo de Águas e Meio Ambiente - NAMA	Camilo Simões de Farias	Engenharias	Paraíba	Nordeste
Universidade Federal de Alagoas	Núcleo de produção de energia do semiárido Alagonano/NUPRES - AL.	Cícero Rita da Silva	Engenharias	Alagoas	Nordeste

INSTITUIÇÃO	GRUPO	LÍDER	ÁREA PREDOMINANTE	Estado	Região
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte	NUPEQ - Núcleo de Pesquisa em Educação e Química	Leonardo Alcântara Alves	Ciências Exatas e da Terra	Rio Grande do Norte	Nordeste
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte	NUPERBIO – Núcleo de pesquisa em energia renovável e biocombustíveis	Alcivan Evangelista Neto	Engenharias	Rio Grande do Norte	Nordeste
Universidade de Pernambuco	POLICOM Grupo de pesquisa em combustíveis e energia	Sergio Peres Ramos da Silva	Engenharias	Pernambuco	Nordeste
Instituto Federal de Pernambuco	Sustentabilidade e Produção	Juliana Yanaguizawa Lucena	Engenharias	Pernambuco	Nordeste
Universidade de Fortaleza	Tecnologia de Combustão	João Batista Furlan Duarte	Engenharias	Ceará	Nordeste
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK	Tecnologia, Processamento e Qualidade de Bebidas - TECNOBE	Nísia Villela Dessimoni Pinto	Ciências Agrárias	Minas Gerais	Sudeste
Universidade Salvador	CATALISE E AMBIENTE	Luiz Antônio Pontes	Engenharias	Bahia	Nordeste
Instituto Federal de Alagoas - Matriz	GESTÃO, ENERGIA E MEIO AMBIENTE	André Leite Rocha	Engenharias	Alagoas	Nordeste
Universidade Estadual de Santa Cruz	BioMa - Bioenergia e Meio ambiente	Rosenira Serpa da Cruz	Ciências Exatas e da Terra	Bahia	Nordeste
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	Sustentabilidade de sistemas agroindustriais	Maria Cléa Brito de Figueirêdo	Engenharias	Ceará	Nordeste
Universidade Federal do Pará	PRODUÇÃO VEGETAL	Marcelo Cleón de Castro Silva	Ciências Agrárias	Pará	Norte
Universidade Estadual de Campinas	BIOENGENHARIA AMBIENTAL	Tânia Forster Carneiro	Ciências Agrárias	São Paulo	Sudeste
Universidade Federal de São Paulo	Desenvolvimento de Catalisadores para Produção de Hidrogênio	Sania Maria de Lima	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais	Educação, Meio Ambiente e Tecnologia (EMAT)	Ana Paula Rabelo	Engenharias	Minas Gerais	Sudeste
Universidade Federal do ABC	Eficiência Energética, Poligeração, Produção de Biocombustíveis, Aproveitamento de Resíduos,	Silvia Azucena Nebra de Pérez	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Federal de Viçosa	Estruturas, sistemas e processos para manejo e tratamento de resíduos agroindustriais.	Cecília de Fátima Ferreira	Ciências Agrárias	Minas Gerais	Sudeste
Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Gestão de Resíduos Sólidos	João Alberto Ferreira	Engenharias	Rio de Janeiro	Sudeste
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Grupo de Estudos Prospectivos da Indústria Química	Estevão Freire	Engenharias	Rio de Janeiro	Sudeste
Universidade Federal de Ouro Preto	Grupo de Físico-química Orgânica - UFOP	Leandro Alves Gurgel	Ciências Exatas e da Terra	Minas Gerais	Sudeste
Universidade de São Paulo	Grupo de Pesquisa em Bioenergia (GBio-IEE-USP)	Suani Teixeira Coelho	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Federal de Viçosa	Grupo de pesquisa em Bioenergia a partir de Microalgas	Maria do Carmo Calijuri	Engenharias	Minas Gerais	Sudeste
Universidade de São Paulo	Grupo de Pesquisa Hugot-Bioenergia	Claudio Lima de Aguiar	Ciências Agrárias	São Paulo	Sudeste
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	Matéria Orgânica do Solo: Dinâmica e Função	Segundo Urquiaga Caballero	Ciências Agrárias	Rio de Janeiro	Sudeste
Universidade Federal do Espírito Santo	Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da UFES	Servio Tulio Alves Cassini	Engenharias	Espírito Santo	Sudeste
Universidade Federal do Espírito Santo	Núcleo de Tecnologias Ambientais e Bioenergia - BIOTEC	Servio Tulio Alves Cassini	Engenharias	Espírito Santo	Sudeste

INSTITUIÇÃO	GRUPO	LÍDER	ÁREA PREDOMINANTE	Estado	Região
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	Otimização de Sistemas Energéticos: Conservação e Geração	José Luz Silveira	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Federal do Rio de Janeiro	PEBB - Programa Interdepartamental de Estudos em Engenharia de Biogás e Biometano	Carlos Alberto Nunes Cosenza	Engenharias	Rio de Janeiro	Sudeste
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos	Resíduos na Agricultura	Matheus Peixoto Henares	Ciências Agrárias	São Paulo	Sudeste
Universidade de Taubaté	Sistemas Energéticos Ecoeficientes	José Rui Camargo	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Federal de Minas Gerais	Tratamento anaeróbico e pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios	Carlos Augusto Chernicharo	Engenharias	Minas Gerais	Sudeste
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Tratamento e aproveitamento de resíduos	Magali Christe Cammarota	Engenharias	Rio de Janeiro	Sudeste
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	Compósitos Lignocelulósicos	Alcides Lopes Leao	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	Energia e Meio Ambiente	Alcides Padilha	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	Fontes Renováveis e Aproveitamento de Energia	Ricardo Alan Verdú Ramos	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Universidade Presbiteriana Mackenzie	Energia Termo-Fluida	Silvia Maria Stortini González Velázquez	Engenharias	São Paulo	Sudeste
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense	Agricultura e Agroecologia	Francisco Marinaldo Corlett	Ciências Agrárias	Rio Grande do Sul	Sul
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Análises térmicas e espectrometria de combustíveis e materiais - LATECOM	Michelle Budke Costa	Ciências Exatas e da Terra	Paraná	Sul
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Bioenergia e Ambiente	Luiz Olinto Monteggia	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
Centro Universitário Univates	Biogás: estudo de diferentes substratos	Odorico Konrad	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
Universidade Federal do Paraná	Geotecnia e Materiais Ambientais	Eduardo Dell'Avanzi	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis	Moises de Mattos Dias	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
Universidade Federal do Paraná	Grupo de Energia e Ciências Térmicas	Jose Viriato Coelho Vargas	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Grupo de Energias Alternativas	Alexei Novaes Pinheiro	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Estadual do Oeste do Paraná	Grupo de Otimização em Sistemas Energéticos	Carlos Camargo Nogueira	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Federal do Paraná	Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Processos Químicos - GPQ	Carlos Itsuo Yamamoto	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Grupo de pesquisa em Análise, Modelagem, Simulação e Controle em Engenharia de Processos	Eduardo Eyng	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Federal da Integração Latino-Americana	Grupo de Pesquisa em Engenharia de Energia	Gustavo Ronceros Rivas	Engenharias	Paraná	Sul
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Grupo de Pesquisa em Motores e Combustíveis Alternativos (GPMCA)	Carlos Alexandre dos Santos	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul

INSTITUIÇÃO	GRUPO	LÍDER	ÁREA PREDOMINANTE	Estado	Região
Universidade de Caxias do Sul	Grupo de Polímeros	Ademir José Zattera	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
Universidade Federal da Integração Latino-Americana	Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energias Renováveis na América Latina	Márcio de Sousa Góes	Ciências Exatas e da Terra	Paraná	Sul
Universidade de Caxias do Sul	Laboratório de Energia e Bioprocessos	Aline Dettmer	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
Universidade de Caxias do Sul	Membranas Fotossintéticas e Biorgânica	Venina dos Santos	Ciências Exatas e da Terra	Rio Grande do Sul	Sul
Centro Universitário Univates	Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos	Simone Stülp	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
SENAI - Departamento Regional do Paraná	Processos de Fabricação	Jeferson Gil Fuhmann	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Estadual de Maringá	Processos de Separação e Engenharia Ambiental	Marcelino Luiz Gimenes	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Estadual de Maringá	Processos de Separação e Sistemas Particulados	Nehemias Curvelo Pereira	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Tecnologias de Tratamento de Águas de Abastecimento para Consumo Humano, Águas	Antonio Domingues Benetti	Engenharias	Rio Grande do Sul	Sul
Universidade Estadual de Ponta Grossa	Tratamento biológico e aproveitamento de resíduos agroindustriais	Maria Magdalena Ribas Döll	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade da Região de Joinville	Valorização de Resíduos e Biomassa	Noeli Sellin	Engenharias	Santa Catarina	Sul
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Energias Renováveis	Maria Cristina Halmeman	Engenharias	Paraná	Sul
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	BIOMA: Grupo de Pesquisa Aplicada em Química de Biomassa e Meio Ambiente	Marcio Barreto Rodrigues	Ciências Exatas e da Terra	Paraná	Sul

ANEXO 2 - PROJETOS DE P&D CADASTRADOS NA ANEEL - CHAMADA ESTRATÉGICA 014/2012

Empresa	Título do Projeto	Custo do Projeto (Milhões de R\$)	Capacidade Instalada (MWp)
Companhia Paulista de Força e Luz	Consolidação de Sistema de Biodigestão de Terceira Geração para Produção de Energia Elétrica através de Biogás	7,93	0,200
Companhia Paulista de Força e Luz	Utilização de dejetos e efluentes de animais para geração de energia elétrica com foco na promoção do desenvolvimento sustentável e econômico para o meio rural	7,15	0,218
Companhia Paulista de Força e Luz	Arranjo Técnico e Comercial para Produção e Uso de Biogás Proveniente de Resíduos Sólidos Orgânicos	15,55	0,200
Empresa Luz e Força Santa Maria S/A	Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração de energia elétrica a partir do biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos de frigoríficos e abatedouros na matriz energética brasileira.	1,74	0,600
Copel Geração e Transmissão S.A.	Exploração e aproveitamento energético de biogás do aterro do caximba em Curitiba	27,33	2,800
Companhia Energética de Pernambuco	Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Resíduos/Efluentes Líquidos dentro de um Modelo com Biodigestores Dispersos	4,67	0,200
Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Plataforma de Valorização Energética de Resíduos	45,75	3,000
Companhia Paulista de Força e Luz	Produção e comercialização de eletricidade produzida a partir do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça	6,85	1,000
Eletrosul Centrais Elétricas S/A	Arranjo Técnico e Comercial para Geração de Energia Elétrica conectada à Rede a partir do Biogás oriundo de dejetos de suínos no município de Itapiranga em Santa Catarina	9,15	0,400
Petróleo Brasileiro S/A	Estudo da geração em ciclo combinado a partir de biogás e resíduos sólidos	30,00	2,000
Usina Termelétrica Norte Fluminense S/A	Desenvolvimento e análise de tecnologias e arranjos técnicos e econômicos para viabilizar geração de energia elétrica com biogás	27,08	4,000
Central Geradora Termelétrica Fortaleza S/A	Desenvolvimento de Arranjos Técnicos e Institucionais para o aproveitamento de biogás, através da geração de energia elétrica, oriundo de resíduos sólidos urbanos	21,52	1,000
CEREJ Cooperativa de Prestação de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica Senador Esteves Júnior	Geração de energia através de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos urbanos	25,49	1,000
Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica	Pesquisa e desenvolvimento de uma usina modular de biogás de 660kVA com gerenciamento remoto atendendo os conceitos de smart grid	3,59	0,600
Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Rede de pesquisa em conversão energética de biogás no Parque Canoas de Inovação	5,99	0,500
Copel Geração e Transmissão S.A.	Arranjo técnico-comercial de inserção da geração de energia elétrica com biogás da vinhaça do paraná na matriz energética brasileira	7,53	0,400
Copel Geração e Transmissão S.A.	Arranjo técnico e comercial de geração distribuída de energia elétrica a partir do biogás de biomassa residual da suinocultura em propriedades rurais no município de Entre Rios do Oeste, Paraná	34,97	0,200

Empresa	Título do Projeto	Custo do Projeto (Milhões de R\$)	Capacidade Instalada (MWp)
Copel Geração e Transmissão S.A.	Desenvolvimento de um modelo para a gestão de RSU nos municípios brasileiros, objetivando a geração de biogás, sua inserção na matriz energética nacional e redução de rejeitos em aterros sanitários.	39,16	1,000
Copel Geração e Transmissão S.A.	Estruturação de arranjo produtivo para o aproveitamento do RSU e do biogás de aterro de municípios de pequeno porte para produção de energia elétrica, estímulo à eficiência energética e educação	48,74	0,200
Copel Geração e Transmissão S.A.	Aproveitamento energético do biogás produzido a partir da digestão anaeróbia de efluentes domésticos no Estado do Paraná	8,59	0,350
Copel Geração e Transmissão S.A.	Expansão da Usina de Biogás Geo Elétrica - Tamboara: Biorreatores de alta eficiência, substituição de diesel por biometano e agregação de valor ao composto orgânico	50,19	12,000
Copel Geração e Transmissão S.A.	Arranjo técnico, jurídico, administrativo, comercial para geração de energia elétrica a partir de biogás gerado da fração orgânica dos resíduos sólidos municipais em Nova Esperança, PR	41,75	1,000
Celg Geração e Transmissão S.A	Arranjos Técnico e Comercial para a Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Aproveitamento Energético do Biogás proveniente de Efluentes Líquidos	5,98	0,850
		467,72	33,72

ANEXO 3 - CAPACIDADE ELÉTRICA INSTALADA NO BRASIL - USINAS TERMELETRICAS A BIOGÁS

Situação	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Município	Fonte Nível 2
Em operação	Salvador	22/12/2010	19.730	19.730	PIE	Salvador - BA	Biogás - RU
	São João Biogás	27/03/2008	24.640	21.560	PIE	São Paulo - SP	Biogás - RU
	Energ-Biog	18/12/2002	30	30	REG	Barueri - SP	Biogás - RU
	Unidade Industrial de Aves	-	160	160	REG	Matelândia - PR	Biogás - RA
	Unidade Industrial de Vegetais	-	40	40	REG	Itaipulândia - PR	Biogás - RA
	ETE Ouro Verde	-	20	20	REG	Foz do Iguaçu - PR	Biogás - RA
	Star Milk	-	110	110	REG	Céu Azul - PR	Biogás - RA
	Asja BH	-	4.278	4.278	REG	Belo Horizonte - MG	Biogás - RU
	Arrudas	-	2.400	2.400	REG	Belo Horizonte - MG	Biogás - RU
	Ambient	-	1.500	1.500	REG	Ribeirão Preto - SP	Biogás - RU
	Biotérmica Recreio	24/06/2015	8.556	8.556	PIE	Minas do Leão - RS	Biogás - RU
	Granja Makena	02/01/2008	80	80	REG	Patrocínio - MG	Biogás - RA
	Ajuricaba	-	80	80	REG	Marechal Cândido Rondon - PR	Biogás - RA
	Fazenda Nossa Senhora do Carmo	-	80	80	REG	Ituiutaba - MG	Biogás - RA
	Uberlândia	01/12/2011	2.852	2.852	REG	Uberlândia - MG	Biogás - RU
	Granja São Roque	15/10/2009	424	424	REG	Videira - SC	Biogás - RA
	Cetrel Bioenergia JB	-	874	874	REG	Cachoeirinha - PE	Biogás-AGR
	Fazenda Da Luz	15/08/2011	810	810	REG	Abelardo Luz - SC	Biogás - RA
	Cogeração Bio Springer	10/06/2011	848	848	REG	Valinhos - SP	Biogás-AGR
	CTR Juiz de Fora	01/08/2013	4.278	4.278	REG	Juiz de Fora - MG	Biogás - RU
Itajaí Biogás	01/02/2013	1.065	1.065	REG	Itajaí - SC	Biogás - RU	
Bandeirantes	03/11/2014	4.624	4.624	REG	São Paulo - SP	Biogás - RU	
Total	22 usinas		77.479	74.399			
Em construção	Barueri	-	20.000		PIE	Barueri - SP	Biogás - RU
	Termoverde	-	29.547		PIE	Caieiras - SP	Biogás - RU
Total	2 usinas		49.547				
Construção não iniciada	PCT Barueri Biogás	31/01/2002	2.601		REG	Carapicuíba - SP	Biogás - RU
	Novagerar	-	4.000		REG	Nova Iguaçu - RJ	Biogás - RU
	Frigorífico D talia	-	42		REG	Pedras Grandes - SC	Biogás - RA
	Sapopemba	-	25.600		APE	São Paulo - SP	Biogás - RU
	Geo Elétrica Tamboara	-	11.940		PIE	Tamboara - PR	Biogás-AGR
	Guatapar	-	5.704		PIE	Guatapar - SP	Biogás - RU
Total	6 usinas		49.887				
TOTAL	30 usinas		176.913				

FONTE: (ANEEL, 2015B)