

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
INSTITUTO DE ECONOMIA - IE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS,
ESTRATÉGIAS E DESENVOLVIMENTO - PPED/IE/UFRJ
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - EDS

Juliana Velloso Durão

**TRANSIÇÃO PARA O USO DO BIOGÁS NO BRASIL: ANÁLISE BASEADA NA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL**

Rio de Janeiro
Dezembro/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
INSTITUTO DE ECONOMIA - IE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS,
ESTRATÉGIAS E DESENVOLVIMENTO - PPED/IE/UFRJ
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - EDS

Juliana Velloso Durão

**TRANSIÇÃO PARA O USO DO BIOGÁS NO BRASIL: ANÁLISE BASEADA NA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL**

Tese apresentada ao Corpo Docente do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciências em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Peter May
Co-orientadora: Prof^a Dr^a Clarice Ferraz

Rio de Janeiro
Dezembro/2017

FICHA CATALOGRÁFICA

SHAPE

D947 Durão, Juliana Velloso.
Transição para o uso do Biogás no Brasil: análise baseada na perspectiva multinível / Juliana Velloso Durão. – 2017.
327 p. ; 31 cm.

Orientador: Peter Herman May.

Coorientadora: Clarice Campelo de Melo Ferraz.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, 2017.

Bibliografia: f. 291 – 319.

1. Biogás. 2. Transição sociotécnica. 3. Perspectiva multinível. I. May, Peter Herman, orient. II. Ferraz, Clarice Campelo de Melo, coorient. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. IV. Título.

CDD 665.776

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário: Lucas Augusto Alves Figueiredo CRB 7–
6851 Biblioteca Eugênio Gudín/CCJE/UFRJ

FOLHA DE APROVAÇÃO

Juliana Velloso Durão

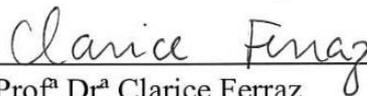
TRANSIÇÃO PARA O USO DO BIOGÁS NO BRASIL: ANÁLISE BASEADA NA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL

Tese apresentada ao Corpo Docente do Instituto de
Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
como parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Doutora em Ciências em Políticas Públicas,
Estratégias e Desenvolvimento.

Aprovada em 12/01/2018



Prof. Dr. Peter H. May



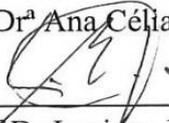
Profª Drª Clarice Ferraz



Profª Drª Valéria Gonçalves da Vinha



Profª Drª Ana Célia Castro



Prof Dr Luciano Basto



Profª Drª Danielle da Silveira dos Santos Martins

Dedico esta tese aos meus pais, que me ensinaram a importância do amor, da integridade e de uma boa educação. Aos meus avós, que não estão mais aqui fisicamente, mas estão sempre comigo. Ao meu marido e as minhas filhas, por terem suportado minhas ausências e momentos não muito fáceis ao longo do processo de escrita de tese, e terem proporcionado os momentos mais felizes nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo apoio e suporte. Aos meus amados pais, José Augusto e Marli, que foram responsáveis por valiosos momentos de pesquisa e escrita. Ao meu irmão, Bruno, tão amado e presente. Ao meu companheiro de jornada, Thales Alberto, que me agrega e me ajuda a buscar ser uma pessoa melhor. As minhas filhas, Catarina e Sofia, que me inspiram, a ser uma mulher e uma mãe melhor a cada dia. Ao meu orientador Peter May e a minha co-orientadora Clarice Ferraz por todo apoio e direcionamento. À Valéria da Vinha pelo suporte sempre que precisei. Ao inspirador Luciano Basto, por nossas conversas sempre estimulantes no ambiente de trabalho e por ter me apresentado ao biogás. Ao Luiz Gustavo, por sua capacidade de ouvir, entender e orientar de forma extremamente clara. Aos atores do nicho do biogás e regime incumbente que me ajudaram concedendo valioso espaço em suas agendas para que eu pudesse realizar entrevistas ou visitar as unidades produtoras de energia a partir do biogás. Especialmente ao querido, dedicado e grande conhecedor do tema Albari Pedroso. A Edna Xavier por ter apoiado meu pedido de liberação para cursar algumas disciplinas do curso e a Elis, Hermani e Glauce por terem me entendido e também me apoiado. Aos meus colegas de trabalho, que me inspiram e me apoiam, em especial à Silvana, que me ofereceu ajuda na confecção dos mapas, à Carolina por ter um abraço amigo capaz de confortar, ao Guilherme que me ensinou dicas valiosas de formatação textual (além de dicas ainda mais valiosas sobre plantas) e ao Viola que se dispôs a assistir e criticar minha apresentação da defesa. A minha sogra, Silvia Maria, que me inspirou com sua atitude de vanguarda, me tirando de minha zona de conforto, com seu simples ato de separar o lixo e dar destino correto a ele. E a Nina Simone e suas músicas emocionantes, que me acompanharam em muitos momentos solitários de escrita desta tese.

“Eu acreditava que os principais problemas ambientais eram perda de biodiversidade, colapso de ecossistemas e aquecimento global. Eu estava errado. Os principais problemas ambientais são egoísmo, ganância e apatia”.

James Speth

RESUMO

DURÃO, J.V. Transição para o uso do biogás no Brasil: análise baseada na perspectiva multinível. Tese (Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2017.

O uso do biogás como recurso energético já ocorre há mais de um século no mundo, no entanto, apesar do enorme potencial existente, a fonte ainda não despontou no Brasil como outras renováveis e encontra dificuldades para ter sua produção e uso difundidos. A fonte é considerada versátil na ótica da oferta e da demanda, pois pode ser produzida a partir de diferentes matérias-primas e utilizada para diferentes fins (eletricidade, combustível e aquecimento). Além disso, por utilizar resíduos como matéria-prima em seu processo produtivo, o biogás também apresenta benefícios socioambientais, promovendo a melhor gestão de resíduos orgânicos urbanos e rurais, e a consequente redução da emissão de gás metano, potente gás de efeito estufa, e de outros poluentes do ar, do solo e da água. Diante do acima exposto, esta tese analisa a transição para difusão do biogás como ativo energético no Brasil a partir da abordagem proposta pela perspectiva multinível. A metodologia de análise escolhida para nortear este trabalho foi a pesquisa qualitativa e descritiva e os meios para sua realização foram: pesquisa bibliográfica; pesquisa documental utilizando como fontes políticas públicas, legislações, regulações e documentos técnicos sobre o tema; pesquisa de campo em duas plantas de biogás no Brasil; entrevistas e questionários respondidos por atores que se relacionam com a fonte; e análise da experiência sueca e alemã a partir de dados secundários. A tese conclui que apesar da maioria dos elementos do sistema sociotécnico estar estruturada, ou se estruturando, para a incorporação da fonte, a produção de biogás ainda é uma atividade que se concentra em seu nicho sociotécnico e sua trajetória de difusão pode ser configurada dentro da tipologia de reconfiguração, que requer apenas ajustes no regime sociotécnico e não requer que mudanças disruptivas ocorram. No entanto, para que o biogás se estabeleça no regime energético serão necessários avanços infraestruturais e institucionais, assim como a articulação dos agentes interessados. Para isso, é fundamental a atuação e a liderança do Estado em todo o processo, promovendo o aprimoramento e a segurança institucional, e facilitando a interação entre atores de diferentes regimes, defendido aqui como interação multi-regime. Outro fator que pode ser relevante se refere à pressão que a paisagem sociotécnica poderá representar a partir do maior comprometimento nacional com a questão climática e a descarbonização da economia.

Palavras-chave: biogás, sistema sociotécnico, transição sociotécnica, perspectiva multinível, barreiras, interação multi-regime

ABSTRACT

DURÃO, J.V. Transition to biogas use in Brazil: analysis based on multilevel perspective. Tese (Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2017.

The use of biogas as an energy resource is not new in the world, however, despite the huge potential in Brazil, the source has not yet diffused in the country as have other renewables and faces difficulties to enable its production and use to become widespread. Biogas as an energy source is considered versatile from the point of view of supply and demand, since it can be produced from different substrates and used for different purposes (electricity, fuel and heating). In addition, by using waste as substrates in its production process, biogas also has environmental benefits, promoting better management of urban and rural organic waste and consequently reducing the emission of methane, a potent greenhouse gas, and other air, soil and water pollutants. In view of the above, this thesis analyzes the transition to the diffusion of biogas as an energy source in Brazil using the multilevel perspective approach. The methodology chosen to guide this work was qualitative and descriptive research and the means for its realization were: bibliographical survey, documentary analysis based on public policies, legislation, regulations and technical documents on biogas; field research in two plants that generate biogas in Brazil; interviews and survey with actors that are related to the source; and analysis of the Swedish and German experience from secondary data. The thesis concludes that although most elements of the socio-technical system are in place for its incorporation in the energy system, biogas is still an activity that is located within its socio-technical niche and its diffusion path can be configured within the typology termed ‘reconfiguration’, which requires only adjustments in the sociotechnical regime and would not bring disruptive changes. However, to legitimize biogas as an energy source in the energy regime, infrastructure and institutional advances will be needed and different stakeholders must be involved. For this purpose, the action and leadership of the State is critical, promoting institutional improvement and security, and the interaction between actors from different regimes, which is called in the literature ‘multi-regime interaction’. Another factor that may be relevant refers to the pressure that the socio-technical landscape may represent from the greater national commitment to the climate issue and to a decarbonization path.

Keywords: biogas, sociotechnical system, sociotechnical transition, multilevel perspective, barriers, multi-regime interaction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Emissões de CO ₂ eq por setor no Brasil	18
Figura 2: Sistema sociotécnico do transporte rodoviário	31
Figura 3: Grupos sociais que fazem parte de sistemas sociotécnicos	32
Figura 4: Teorias e abordagens conceituais mais utilizadas para compreender processos de transição.....	43
Figura 5: Principais linhas de pesquisa que se relacionam ao estudo das transições	44
Figura 6: Níveis da perspectiva multinível.....	49
Figura 7: Dinâmicas da perspectiva multinível	51
Figura 8: Elementos que serão avaliados para compreensão dos níveis da PMN e transição para a difusão do biogás no Brasil.....	72
Figura 9: Emissões de GEE no setor de resíduos brasileiro	78
Figura 10: Pirâmide de hierarquização na gestão de resíduos.....	79
Figura 11: Repartição da oferta interna de energia no Brasil	85
Figura 12: Evolução das emissões de CO ₂ associadas à matriz energética brasileira em MtCO ₂ -eq.....	88
Figura 13: Emissões do setor energético	88
Figura 14: Matriz elétrica brasileira	90
Figura 15: Emissões de GEE do setor elétrico	92
Figura 16: Fator médio de emissão anual do SIN (tCO ₂ /MWh).....	93
Figura 17: Número de conexões de geração distribuída no Brasil	96
Figura 18: Capacidade instalada e energia a partir da geração distribuída fotovoltaica e de biogás.....	97
Figura 19: Frota brasileira por tipo de combustível	99
Figura 20: Frota flex X frota a gasolina	99
Figura 21: Etapas do processo de transformação de matéria orgânica em biogás	109
Figura 22: Rendimento médio de biogás de alguns substratos.....	110
Figura 23: Propriedades do biogás e de outros gases	113
Figura 24: Concentração de metano no biogás (jan-fev 2017).....	113
Figura 25: Concentração de dióxido de carbono no biogás (jan-fev 2017).....	114
Figura 26: Tecnologias mais difundidas para tratamento anaeróbio com utilização de biogás	115
Figura 27: Descrição simplificada do processo de produção e uso do biogás e do biometano	118
Figura 28: Tratamento conforme o uso final do biogás.....	121
Figura 29: Aproveitamentos energéticos para biogás e biometano	122
Figura 30: Características e possibilidades de um sistema de biogás.....	126
Figura 31: Intensidade de carbono do ciclo de vida dos combustíveis para veículos pesados (gCO ₂ eq/MJ).....	127
Figura 32: Infográfico do biogás (via biodigestão)	134
Figura 33: Acidentes mais frequentes em usinas de biogás	136
Figura 34: Visão geral de riscos em uma usina de biogás.....	137
Figura 35: Taxas de crescimento anual de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis nos países da OCDE -1990-2016	149
Figura 36: Estimativa de produção de biogás na UE.....	150
Figura 37: Resumo visual das mudanças na Lei de Energias Renováveis Alemã (2000-2017)	156

Figura 38: Desenvolvimento de fontes renováveis na geração de eletricidade alemã	157
Figura 39: Geração de eletricidade alemã baseada em renováveis	158
Figura 40: Eletricidade gerada a partir da biomassa na Alemanha em 2015	158
Figura 41: Substratos para produção da energia elétrica na Alemanha.....	159
Figura 42: Inventário de plantas de biogás na Alemanha.....	160
Figura 43: Perspectiva da contribuição das fontes orgânicas na produção de energia na Alemanha.....	161
Figura 44: Percentual de energia renovável no consumo final de eletricidade na Alemanha	165
Figura 45: Inventário de plantas de biogás suecas	169
Figura 46: Utilização de biogás na Suécia em 2015.....	170
Figura 47: Utilização do biogás entre 2005 e 2015 na Suécia.....	171
Figura 48: Produção de biogás na Suécia entre 2005 e 2015	171
Figura 49: Capacidade instalada de geração elétrica a partir do biogás no Brasil (MW)	184
Figura 50: Plantas que utilizam o biogás para gerar energia no Brasil	185
Figura 51: Plantas de biogás por setor	186
Figura 52: Geração de energia a partir das plantas de biogás	187
Figura 53: Estimativa de potencial de biometano no Brasil.....	191
Figura 54: Equivalências Energéticas.....	191
Figura 55: Projeção da disponibilidade de biomassa residual pecuarista e seu conteúdo energético.....	194
Figura 56: Projeção da geração e do conteúdo energético da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos	195
Figura 57: Oferta potencial de bioeletricidade de resíduos da pecuária confinada e resíduos sólidos urbanos em geração centralizada.....	195
Figura 58: Oferta potencial de bioeletricidade de resíduos da pecuária confinada e resíduos sólidos urbanos em geração distribuída.....	196
Figura 59: Projeção da penetração da geração distribuída de biogás	198
Figura 60: Evolução da penetração do biometano combustível versus potencial teórico	200
Figura 61: Capacidade instalada e energia a partir da geração distribuída fotovoltaica e de biogás.....	201
Figura 62: Variáveis para definição de modelo de negócio	204
Figura 63: Demonstração da diversidade de plantas de biogás (eletricidade).....	210
Figura 64: Exemplos de cadeias de produção de biogás	211
Figura 65: Malha brasileira de gasodutos: atual e planejada.....	214
Figura 66: Características do ambiente de contratação regulado	229
Figura 67: Micro e minigeração distribuída a partir do biogás no net metering	235
Figura 68: Concessionárias de distribuição de gás natural no Brasil	241
Figura 69: Ambiente regulatório do biogás e do biometano	247
Figura 70: Conquistas marcantes do setor de biogás no Brasil	265
Figura 71: Agentes mais citados pelos entrevistados em relação a sua atuação em prol da difusão do biogás	266
Figura 72: Instituições associadas à Abiogás	270
Figura 73: Instituições associadas ao CIBiogás	271
Figura 74: Análise da transição para o uso do biogás a partir da PMN	276
Figura 75 Principais desafios para a transição para o uso do biogás no Brasil	284
Figura 76: Resumo do ciclo produtivo do biogás (via biodigestão).....	286

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Emissão de CO ₂ eq por setor no Brasil.....	19
Tabela 2: Explicação sobre tipologias de interação multi-regimes propostas por Raven (2007)	64
Tabela 3: Exemplos de políticas públicas que podem ser colocadas em prática para estimular a difusão de fontes renováveis.....	70
Tabela 4: Participação de lixo e outras renováveis na OIE	86
Tabela 5: Capacidade Instalada (MW) (não inclui geração distribuída).....	91
Tabela 6: Participação de cada fonte na geração termelétrica em 2016.....	91
Tabela 7: Preço médio de revenda dos combustíveis – Agosto 2017	100
Tabela 8: Indústrias que mais geram resíduos orgânicos	112
Tabela 9: Nutrientes que compõem o digestato.....	124
Tabela 10: Propriedades dos componentes gasosos do biogás.....	135
Tabela 11: Instituições representadas pelos entrevistados	176
Tabela 12: Status dos projetos brasileiros no Conselho Executivo do MDL ao fim do 1º período de compromisso do Protocolo de Quioto	179
Tabela 13: Classificação das fontes de biomassa no Aneel-BIG	183
Tabela 14: Plantas de biogás em 2014 e 2016 no Brasil	184
Tabela 15: Plantas de biogás com produção igual ou maior que 10.000 m ³	188
Tabela 16: Expansão da produção de energia elétrica a partir do biogás.....	197
Tabela 17: Elementos que serão analisados na configuração do sistema sociotécnico.....	203
Tabela 18: Abordagem de cada critério analisado dentro do elemento artefatos e infraestruturas	204
Tabela 19: Linhas de crédito que contemplam o biogás e a geração de energia a partir dele	208
Tabela 20: Carros que podem ser movidos a Gás Natural Veicular no Brasil	216
Tabela 21: Carros movidos a metano no Brasil.....	216
Tabela 22: Veículos que podem ser movidos a GNV no Brasil por Estado.....	217
Tabela 23: Postos de abastecimento que ofertam gás natural veicular por UF.....	218
Tabela 24: Desempenho do trator a biometano comparado ao do trator a diesel.....	221
Tabela 25: Abordagem de cada critério analisado dentro do elemento instituições	225
Tabela 26: Modalidades de comercialização de eletricidade gerada a partir do biogás.....	228
Tabela 27: Contratações até 2017 nos leilões do ACR - biogás.....	231
Tabela 28: Tarifas por distribuidora	235
Tabela 29: Quantidade e potência por tipo de substrato utilizado em unidades consumidoras com GD	236
Tabela 30: Unidades consumidoras com GD a biogás por estado	236
Tabela 31: Oportunidades e desafios para comercialização da eletricidade gerada a partir do biogás.....	238
Tabela 32: Abordagem de cada critério analisado dentro do elemento Agentes.....	258
Tabela 33: Insituições e projetos realizados dentro do P&D Estratégico nº 014/2012 da ANEEL.....	262
Tabela 34: Subtemas dentro do tema prioritário energia para obtenção de financiamento reembolsável.....	263
Tabela 35: Consulta sobre grupos que pesquisam sobre o biogás na base do CNPQ.....	275

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Digestor com aproveitamento de energia nos EUA: Harvest Energy Garden Walt Disney	116
Imagem 2: Reator de mistura contínua (CSTR) típico na Alemanha para digestão de silagem de milho.	116
Imagem 3: Lagoa com misturador (fase da instalação e operação).....	116
Imagem 4: Lagoas cobertas de dejetos suínos.....	117
Imagem 5: CSTR com misturador central	117
Imagem 6: Foto do impacto causado por acidente em usina de biogás.....	138
Imagem 7: BioEnergie Park Güstrow.....	161
Imagem 8: Trator movido a biometano da New Holland.....	222
Imagem 9: Automóvel que realizou a viagem de Montenegro à Montevideu	223

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABBM	Associação Brasileira de Biogás e Metano
ABIOGÁS	Associação Brasileira do Biogás e do Biometano
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
AIE	Agência Internacional de Energia
ANA	Agência Nacional de Águas
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BANDES	Banco de Fomento do Estado do Espírito Santo
BEN	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRDE	Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEG	Gás Natural Fenosa
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CHP	Combined Heat and Power
CIBIOGAS	Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EBA	European Biogas Association
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GD	Geração Distribuída
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GIZ	Agência Alemã de Cooperação Internacional
GN	Gás Natural
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNR	Gás Natural Renovável
GNV	Gás Natural Veicular
GEE	Gás de Efeito Estufa
ICLEI	Local Governments for Sustainability
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INDC	Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotivos
ISWA	International Solid Waste Association
KW	Quilowatt
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA	Secretaria Especial de Agricultura e Desenvolvimento Agrário
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NER	Novas Energias Renováveis
NIMBY	Not in My Backyard
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development

PDE	Plano Decenal de Energia
PH	Potencial Hidrogeniônico
PMN	Perspectiva Multinível
PNBB	Proposta de Programa Nacional do Biogás e Biometano
PNE	Plano Nacional de Energia
PNMC	Política Nacional de Mudança do Clima
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SULGÁS	Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul
UE	União Europeia
UNEP	United Nation Environmental Programme
VRES	Valores Anuais de Referência Específicos
WBA	World Biogas Association

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo e perguntas da pesquisa	22
1.2	Justificativa e relevância do estudo	23
1.3	Metodologia e estrutura.....	24
1.4	Problemas socioambientais e desafios contemporâneos	25
2.	MARCOS CONCEITUAIS E TEÓRICOS.....	29
2.1	Sistema sociotécnico	29
2.2	Características de sistemas sociotécnicos: dependência de trajetória e lock-in	32
2.3	Mudanças em sistemas sociotécnicos: transições	40
2.4	Perspectiva multinível	46
2.4.1	Nicho sociotécnico.....	53
2.4.2	Regime sociotécnico	55
2.4.3	Paisagem sociotécnica	56
2.5	Tipologias de transições sociotécnicas.....	58
2.6	Considerações e críticas sobre a perspectiva multinível	61
2.7	Co-evolução de regimes sociotécnicos: interações multi-regimes para difusão de novas tecnologias.....	62
2.8	A importância do papel do Estado na difusão de novas tecnologias	66
2.9	Utilização de conceitos abordados no marco teórico na análise	71
3.	CONTEXTUALIZAÇÃO DOS SETORES RELACIONADOS COM O BIOGÁS ...	74
3.1	Setor de saneamento: quadro atual da geração de resíduos e de tratamento de esgotos no Brasil	74
3.1.1	Geração de resíduos sólidos.....	74
3.1.1.1	Resíduos sólidos urbanos	74
3.1.1.2	Resíduos agrossilvopastoris.....	81
3.1.2	Tratamento de esgoto no Brasil	83
3.2	Setor energético: quadro atual da geração de energia no Brasil	84
3.2.1	Matriz energética: perfil e emissões	84
3.2.2	Matriz elétrica: perfil e emissões	89
3.2.2.1	Oferta descentralizada de energia (ou geração distribuída).....	94
3.3	Setor de transporte: quadro atual do setor de transporte rodoviário no Brasil.....	98
3.4	Setor agropecuário: quadro atual do setor agropecuário brasileiro.....	102
4.	O BIOGÁS E SEU USO COMO FONTE ENERGÉTICA	108
4.1	Características e processo produtivo	108
4.2	Possibilidades de uso.....	119
4.3	Vantagens da produção e utilização	125
4.4	Riscos associados à produção	134
4.5	Aceitação pública	141
4.6	Biogás no Mundo	146
4.7	Experiências internacionais: a importância das políticas públicas.....	152
4.7.1	O desenvolvimento do biogás na Alemanha.....	155
4.7.2	O desenvolvimento do biogás na Suécia	165
5.	CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA SOCIOTÉCNICO ENERGÉTICO BRASILEIRO EM RELAÇÃO AO BIOGÁS.....	176
5.1	Histórico e atual aproveitamento energético do biogás no Brasil.....	177
5.2	Estimativas do potencial energético do biogás no Brasil.....	190

5.3	Análise do sistema sociotécnico energético relacionado ao uso do biogás como fonte de energia	203
5.3.1	Artefatos e infraestruturas	204
5.3.1.1	Infraestrutura de produção	204
5.3.1.2	Infraestrutura de abastecimento	213
5.3.2	Instituições	225
5.3.2.1	Mecanismos de comercialização	225
5.3.2.2	Políticas e regulações	246
5.3.2.2.1	Iniciativas federais	247
5.3.2.2.2	Iniciativas estaduais	252
5.3.2.3	Simbolismo cultural	255
5.3.3	Agentes	258
5.3.3.1	Instituições representativas do setor	258
5.3.3.2	Instituições de pesquisa e ensino	260
6.	ANÁLISE DA TRANSIÇÃO PARA O USO DO BIOGÁS NO BRASIL	267
6.1	Análise da transição para o uso do biogás no Brasil a partir da PMN	267
6.2	Resumo dos principais entraves para o desenvolvimento do biogás no país	278
7.	CONCLUSÃO	285
8.	RECOMENDAÇÕES DE ESTUDOS FUTUROS	290
	REFERÊNCIAS	291

1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna se depara atualmente com diversos problemas ambientais, sendo o aquecimento global o desafio em maior evidência. Ele vem requerendo grande esforço internacional e nacional na busca por alternativas tecnológicas de baixo carbono e estimulando a transição para fontes energéticas renováveis¹. Com a entrada em vigor do Acordo de Paris² no final de 2016 (04/11/2016), em substituição ao Protocolo de Quioto, foi instituído o objetivo de limitar o aquecimento global em valor inferior a 2°C. O acordo também estabeleceu a necessidade de todos os países signatários definirem suas pretendidas contribuições nacionalmente determinadas (iNDCs)³, instituindo assim seus objetivos em termos de reduções de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

De acordo com o IPCC (2014), cenários globais consistentes com uma chance “provável” de manter a mudança de temperatura abaixo de 2°C em relação a níveis pré-

¹ Energia renovável é aquela que vem de recursos naturais que são naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica. A captação de energia renovável por plantas, animais e seres humanos não esgota o recurso permanentemente. Os combustíveis fósseis, embora teoricamente renováveis em uma escala de tempo muito longa, são explorados a taxas que podem esgotar sua disponibilidade para um futuro próximo. Os recursos de energia renovável podem ser usados diretamente ou usados para criar outras formas mais convenientes de energia. https://www.sciencedaily.com/terms/renewable_energy.htm.

² Na 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC, em Paris, foi adotado um novo acordo (Acordo de Paris) com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. A Conferência das Partes (COP) é o órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que reúne anualmente os países Parte em conferências mundiais. Suas decisões, coletivas e consensuais, só podem ser tomadas se forem aceitas unanimemente pelas Partes, sendo soberanas e valendo para todos os países signatários. Seu objetivo é manter a supervisão e tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos que a COP possa adotar. (MMA, 2017) <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes>.

³ Elas são conhecidas como Intended Nationally Determined Contributions (INDCs). A tradução oficial do governo é "Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada". As INDCs refletem as ambições de cada país para a redução de emissões domésticas. A soma das INDCs de todos os países envolvidos objetiva colocar o mundo no caminho de uma economia de baixo carbono, que permita mitigar às alterações climáticas. Em 28 de setembro de 2015 o Brasil submeteu as suas metas. Os compromissos assumidos são: redução das emissões de gases de efeito estufa de 37% até o ano de 2025 em relação ao ano de 2005 e redução das emissões de gases de efeito estufa de 43% até o ano de 2030 em relação a 2005. Além das metas de emissão, até 2030 o Brasil se comprometeu com: fim do desmatamento ilegal; restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares, para múltiplos usos; recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas; integração de 5 milhões de hectares de lavoura-pecuária-florestas; garantia de 45% de fontes renováveis no total da matriz energética (frente a uma média mundial de 13%); participação de 66% da fonte hídrica na geração de eletricidade; participação de 23% das fontes renováveis na geração de energia elétrica; aumento de cerca de 10% na eficiência elétrica; e participação de 16% de etanol carburante e de demais fontes derivadas da cana-de-açúcar no total da matriz energética. (<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/o-que-sao-as-indcs/>).

industriais são caracterizados por estimular o uso sustentável da bioenergia; colocar em prática medidas em grande escala no setor de mudança do uso da terra e florestas; e buscar triplicar a quase quadruplicar na matriz energética mundial, até 2050, a participação de fontes de energia sem emissão ou com baixo nível de emissões de carbono.

Diante do cenário acima, a busca por alternativas tecnológicas que minimizem impactos ambientais e, especialmente atualmente, que sejam menos intensivas em emissão de GEE, se tornaram questões estratégicas para muitas nações, inclusive para o Brasil. No contexto das mudanças climáticas, no que tange ao setor energético, a produção e o uso de energia são responsáveis por dois terços das emissões globais de GEE (IEA, 2015) e seu papel é crítico nos esforços para redução de emissões poluentes.

Em relação ao contexto brasileiro, o setor de mudança do uso da terra e floresta continua sendo o maior emissor de GEE, com 46% das emissões em 2015, o setor energético vem em seguida com 24% das emissões, e o setor agropecuário com 22% (Observatório do Clima, 2017). A Figura 1 apresenta a evolução das emissões brasileiras por setor e a Tabela 1 apresenta os valores emitidos por cada setor entre 2010 e 2015. Dentro do setor energético, o setor de transportes é o maior responsável pelas emissões (EPE, 2015).

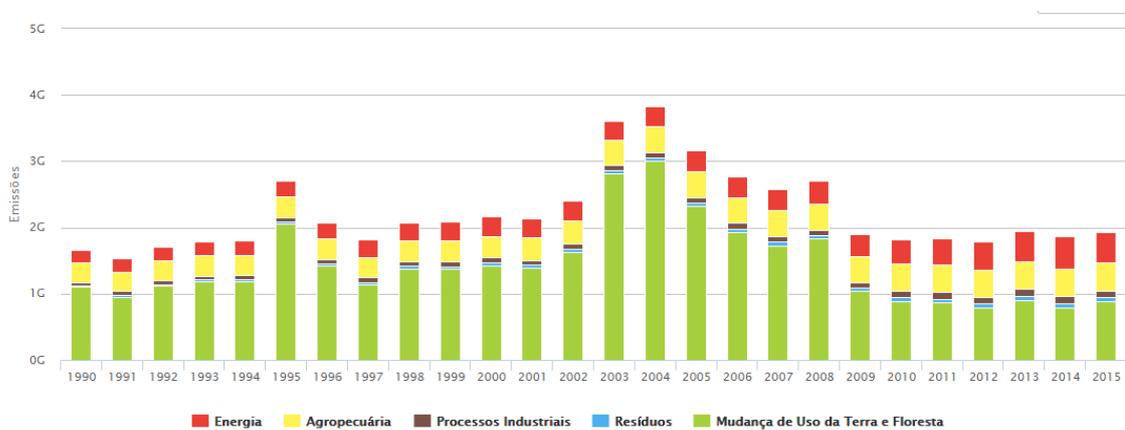


Figura 1: Emissões de CO₂eq por setor no Brasil
Fonte: SEEG – Observatório do Clima, 2017

Tabela 1: Emissão de CO₂eq por setor no Brasil

Emissão de CO ₂ eq por setor no Brasil						
Categoria	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Energia	370.852.370	384.578.621	418.783.271	453.017.219	479.419.791	454.247.670
Agropecuária	406.451.877	417.681.679	412.809.990	418.257.121	423.109.297	425.499.109
Processos Industriais	94.629.891	100.671.545	100.844.991	99.306.032	100.711.133	99.461.228
Resíduos	59.770.922	61.270.438	60.758.324	62.311.416	64.137.928	64.353.652
Mudança de Uso da Terra e Floresta	893.388.926	863.433.881	791.056.519	907.150.505	794.222.163	884.120.014
Total	1.825.093.986	1.827.636.164	1.784.253.095	1.940.042.293	1.861.600.312	1.927.681.673

Fonte: SEEG – Observatório do Clima, 2017

Além deste grande desafio global, em termos locais, considerando o caso do Brasil e apenas os setores diretamente relacionados ao tema deste trabalho, podem-se mencionar também alguns desafios ambientais que vêm ganhando crescente importância. No setor energético, por exemplo, há a questão da dependência de combustíveis fósseis e a consequente emissão de GEE e outros poluentes, assim como impactos socioambientais associados a grandes empreendimentos, como usinas hidrelétricas. O setor de transportes se destaca pela enorme emissão de poluentes (NO_x e particulados), de GEE e de forte dependência de combustíveis fósseis, sendo parte importada. O setor agropecuário⁴, tão relevante para o Brasil em termos de geração de renda, apresenta problemas ambientais relacionados a expansão do desmatamento⁵ e à má gestão de resíduos, que tem como consequência a emissão de poluentes na atmosfera, no solo e nas águas. Por último, o próprio setor de resíduos, que em pleno século XXI e na contramão de países desenvolvidos, opera baseando-se ainda em descarte integral em aterros sanitários como a melhor solução a ser implementada no país (além de lixões⁶ ilegais que até hoje recebem resíduos em diversos municípios).

Diante dos desafios atuais, processos de transição começaram a ganhar relevância na sociedade. Esses processos significam a incorporação de novas tecnologias e consequentes mudanças em setores estratégicos (GEELS, 2010). Eles são complexos e dificultados não

⁴ A atividade agropecuária no Brasil, que contempla a produção agrícola e pecuária, representa mais de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) com mais de 30% de participação nas exportações nacionais, gerando emprego para 24% da população economicamente ativa. Além do alimento, o Brasil se destaca também na produção de outros bens para a população mundial, como as fibras e biomassa para energia renovável. (<http://www.agricultura.gov.br/noticias/secretario-do-mapa-explica-em-video-metas-do-plano-de-defesa-agropecuaria/1.pdf/view>)

⁵ A maioria do desmatamento no Brasil, em especial na Amazônia, está vinculado à atividade pecuária (Observatório do Clima, 2017). <http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2016/11/Carta-do-Observatorio-CC%81rio-do-Clima-Esclarecimentos-a-CC%80-mate-CC%81ria-da-GLobo-Rural-de-08-Nov-016-.pdf>

⁶ Lixão: local no qual ocorre disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, com nenhuma ou, no máximo, algumas medidas bem limitadas de controle das operações e proteção do ambiente do entorno. O relatório afirma que “se a situação seguir o cenário atual, os lixões serão responsáveis por 8 a 10% das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa até 2025.” (ISWA e ABRELPE, 2017, p.12).

apenas por questões financeiras e infraestruturais, mas também por questões sociais, culturais e institucionais (GEELS, 2002).

No que tange ao setor energético mundial e aos desafios apresentados acima, de acordo com GEELS (2016), o setor de eletricidade, especificamente, já vem apresentando inúmeras mudanças positivas nas últimas décadas, principalmente pela expansão de novas fontes renováveis como eólica e solar. No entanto, o autor afirma que o maior desafio ainda é fazer com que fontes fósseis de energia estabelecidas percam força no sistema sociotécnico energético, onde muitos atores ainda negam enfaticamente os benefícios do aumento da implantação de renováveis e atuam para frear sua difusão (GEELS, 2014)⁷.

No contexto apresentado acima, uma das fontes que vem ganhando destaque como alternativa renovável é o biogás. Majoritariamente composto de gás metano, e já explorado há décadas para uso doméstico para cocção em nações em desenvolvimento como Índia e China⁸, a tecnologia tem ganhado cada vez mais espaço na agenda energética de países desenvolvidos, sendo explorada em projetos de maior escala e usada tanto para geração de eletricidade como combustível veicular em países como Alemanha e Suécia. O biogás se apresenta como uma solução tecnológica interessante na construção de um cenário de baixo carbono, se revelando um bom substituto às fontes convencionais de energia e possuindo elevado potencial de produção, especialmente no Brasil.

Além dos benefícios atribuídos à substituição de recursos fósseis por renováveis, que tem na redução da emissão de GEE seu expoente, o biogás ainda promove outros benefícios socioambientais, como a diminuição de poluição hídrica e dos solos, especialmente quando resíduos são utilizados para sua produção. O que ainda estimula a melhor gestão de resíduos,

⁷ “Due to the extreme drop in the feed-in tariff and the increasing amount of limitations on new installations, grid feed-in and self-consumption, the number of new photovoltaic (PV) installations in Germany has declined by over 80 % from 2013 to 2016. In the same period, however, new PV installations worldwide have more than doubled” (Fraunhofer, 2017, p.12). <http://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2017/03/trump-assina-decreto-e-diz-que-guerra-ao-carvao-chegou-ao-fim.html>

⁸ Na Índia há um Programa Nacional para estimular plantas de biogás para uso doméstico desde 1982. Mais de 4 milhões de plantas residenciais que utilizam estrume de gado foram instaladas até 2004 e o uso principal é para principalmente cozinhar e também iluminar. Além disso, há cerca de 2.000 plantas pequenas e médias de biogás que também utilizam estrume de gado para aquecimento, eletricidade ou força motriz (5-25 kW). http://www.globalmethane.org/documents/partners_india_ag_update.pdf

Na China, após uma década de expansão auxiliada por investimentos pesados do governo, cerca de 100 milhões de pessoas em famílias rurais se beneficiavam de biodigestores para fornecer combustível para cozinhar e fertilizante orgânico. O governo chinês estabeleceu um programa a partir de 2003, levando a um investimento acumulado de US\$ 4,5 bilhões até 2012 advindos de fontes governamentais, que atingiu um quarto de todas as famílias rurais com a tecnologia de biogás. (ZUZHANG, 2013).

tema crítico para o país, que apesar da instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, até o momento pouco avançou em termos práticos em relação ao tema.

A fonte também é bastante versátil, seja devido à variedade de insumos que podem ser utilizados para sua produção (resíduos agrosilvopastoris, resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos e industriais, entre os que apresentam maior potencial para serem aproveitados), quanto pelas possibilidades de seu aproveitamento energético (energia elétrica, térmica e combustível substituto do gás natural).

No que se refere ao seu uso para eletricidade, a fonte pode ajudar na estabilização das redes de energia, que são alimentadas de forma crescente por fontes energéticas intermitentes e inflexíveis, tais como a eólica e a solar fotovoltaica, que apresentaram maior crescimento nos últimos anos no mundo (IEA, 2017). Na geração elétrica, entre todas as fontes renováveis, o biogás é a que mais se assemelha à hidroeletricidade, pois pode ser armazenado em sua forma original e despachado continuamente, sem provocar impactos nas redes de distribuição (BLEY, 2015, p. 76).

Além disso, o biogás possui outra peculiaridade, que é a possibilidade, quando produzido em plantas biodigestoras⁹, de ter como subproduto o digestato, um rico biofertilizante. O digestato é potencial substituto de fertilizantes minerais importados (70% do que é consumido no país) que totalizaram mais de 300 milhões de dólares em importações em 2016 (ANDA, 2017; MDIC, 2017) e baseiam sua produção na utilização de fontes fósseis de energia. Sua comercialização poderia também aumentar a competitividade da produção de biogás.

Além dos pontos relacionados ao aproveitamento da fonte citados acima, o Brasil ainda possui características socioeconômicas favoráveis à exploração do biogás. O país tem expressiva produção agropecuária e agroindustrial (BACHA e ROCHA, 2011); população superior a 200 milhões de habitantes (IBGE, 2016), concentrada em grandes centros urbanos (84%) e gerando crescente quantidade de resíduos ainda majoritariamente orgânicos e efluentes (IBGE, 2010; ABRELPE, 2015); e condições climáticas ideais para a biodigestão (BLEY, 2015), possuindo temperatura ideal (médias altas), disponibilidade de água (essencial para provocar anaerobiose) e grande biodiversidade (número alto de espécies

⁹ “A biodigestão anaeróbica, que ocorre em situações naturais, pode ser também reproduzida, se realizada com eficiência em dispositivos de engenharia sanitária, os chamados biodigestores: grandes recipientes dimensionados especialmente para digerir biomassas de diferentes origens, como efluentes industriais, dejetos animais, resíduos sólidos, orgânicos de diversas origens, que, livres na natureza, representam sérios impactos ambientais.” (BLEY, 2015, p. 72-73)

detritívoras que degradam a matéria orgânica em situação anaeróbica) como diferenciais competitivos importantes para a produção da fonte no país (CIBIOGÁS, 2014). Graças a essas características, estima-se que o país possua um potencial de produção de biogás entre 20 e 50 bilhões de m³/ano (BLEY, 2015; EPE, 2014a e 2014b; ABIIOGÁS, 2017).

Atualmente, no que tange a oferta interna de energia elétrica, o Brasil apresenta mais de 150 GW de potência instalada, sendo a produção de biogás de 122 MW, tendo baixa representatividade na matriz elétrica brasileira (ANEEL, 2017). Mais de 95% da energia elétrica proveniente da utilização do biogás vem de empreendimentos que utilizam o gás de aterro, onde não são utilizados biodigestores e há apenas captação do metano.

Em relação à produção de biometano, o biogás purificado que apresenta maior percentual de metano e pode ser usado no setor de transporte em substituição ao gás natural, ainda não há um dado oficial referente à sua produção no Brasil, tendo apenas algumas iniciativas recentes em operação. Alguns estudos indicam que sua utilização pode apresentar maior competitividade entre os possíveis usos da fonte, principalmente em localidades onde a logística de acesso aos combustíveis fósseis se apresenta mais crítica e onerosa (EPE, 2014b).

Diante do contexto apresentado acima, apesar da ainda incipiente produção de biogás atual no país, agentes privados e públicos vêm se movimentando no setor. A fonte vem ganhando maior visibilidade e tem avançado na agenda governamental. Tanto na esfera federal, como a partir de iniciativas locais, novas leis e regulações começam a ser colocadas em prática para fomentar seu desenvolvimento, podendo indicar uma transição para sua produção e uso no país, conforme será avaliado neste trabalho a partir da perspectiva multinível (PMN), que será apresentada no capítulo seguinte.

1.1 Objetivo e perguntas da pesquisa

O objetivo desta tese é avaliar a transição para a produção e uso do biogás no país utilizando como estrutura de análise a abordagem da perspectiva multinível, que encontra em Geels seu maior expoente, e apresentar os principais entraves que impedem o desenvolvimento da fonte na atualidade.

A tese também aborda as experiências sueca e alemã com o biogás, que objetivam demonstrar como o estabelecimento de políticas públicas específicas foi importante para o desenvolvimento da fonte nos dois países. Apesar de contextos socioeconômicos,

demográficos e geográficos completamente diversos, a escolha dos países foi realizada por serem referências atuais no uso do biogás e do biometano, respectivamente. A ideia não é propor a replicação de medidas que podem não fazer sentido no contexto brasileiro, mas utilizá-las como aprendizado e inspiração, além de comprovar a necessidade de atuação do governo para o desenvolvimento da fonte, em grande medida devido aos seus benefícios socioambientais associados.

Diante disso, esta tese se propõe a responder as seguintes questões:

- Como se configura o sistema sociotécnico energético em relação ao biogás atualmente no Brasil?
- Como se configura a transição para difusão do biogás como ativo energético no Brasil baseando-se na PMN?
- Quais os principais desafios para que a transição para o uso do biogás se consolide no Brasil?

Para realizar a análise da transição foi escolhida a abordagem da PMN, que será apresentada no marco teórico deste trabalho. Espera-se, ao final do trabalho, demonstrar a importância da fonte e a necessidade de suporte para que a transição para sua difusão se consolide no país. Além disso, a tese objetiva disseminar informações relevantes sobre a fonte, demonstrando seu potencial de contribuir para promoção da segurança e diversificação da matriz energética brasileira, e gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais em diferentes contextos e setores.

1.2 Justificativa e relevância do estudo

O biogás e o biometano surgem como alternativas ambientalmente interessantes para apoiar a transição para novas fontes renováveis. Sua geração é baseada em tecnologias de produção maduras e adaptáveis para as condições brasileiras (BLEY, 2015), tem potencial de gerar benefícios, tais como a diminuição da nossa dependência externa de combustível e fertilizante mineral, a geração de emprego e renda, a redução da emissão de GEE e de outros poluentes, a diminuição de resíduos orgânicos em aterros ou lixões, a melhor gestão de resíduos agrosilvopastoris, e a minimização das consequências negativas ambientais e de saúde pública da má gestão de resíduos. Além disso, a difusão de seu uso poderia colaborar para minimizar a emissão de GEE no setor de energia, setor responsável pela maior parte das emissões no mundo e segundo maior emissor no Brasil atualmente (IEA, 2015).

A busca por compreender o processo de transição para o uso do biogás no Brasil e os principais entraves existentes a sua difusão, poderá gerar informações úteis para que formuladores de políticas públicas aprimorem suas políticas e instrumentos em prol do desenvolvimento da fonte, assim como promover o conhecimento sobre um ativo energético que o país tem enorme potencial de explorar e, se bem direcionado, poderia promover, além de ganhos energéticos, benefícios econômicos, sociais e ambientais para a sociedade brasileira.

Além disso, os temas principais explorados no referencial teórico, especificamente sobre transições sociotécnicas e a perspectiva multinível, apesar de já terem sido utilizados, de forma distinta, em duas teses de doutoramento no Brasil (DE MENDONÇA, 2014; CHEVARRIA, 2016), ainda precisam ser mais difundidos e nunca foram aplicados para análise da difusão do biogás no país.

1.3 Metodologia e estrutura

A metodologia de pesquisa escolhida foi a pesquisa qualitativa e descritiva e os meios para sua realização foram: busca e análise de estatísticas atuais do setor do biogás e de diferentes setores que se relacionam com ele (resíduos, energia, transporte e agropecuário); revisão e análise de planos, políticas e iniciativas nacionais relacionadas à fonte; realização de pesquisa de campo em duas plantas de biogás; realização de entrevistas ou aplicação de questionário por correio eletrônico com 21 atores do sistema sociotécnico do biogás no Brasil (10 entrevistas presenciais e 11 questionários respondidos vias correio eletrônico); ampla pesquisa e análise de referencial teórico; e análise da experiência sueca e alemã no uso da fonte a partir de dados secundários.

As entrevistas proporcionaram uma maior precisão na análise e refinamento das informações pesquisadas. Elas foram realizadas presencialmente ou através da internet, dependendo da disponibilidade e localização geográfica do entrevistado. Todas elas foram guiadas por questionário base e, quando realizadas presencialmente, foram aprofundadas de acordo com o contexto de cada entrevistado, buscando-se sempre abordar todos os assuntos relevantes e associados ao tema da tese.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: o presente capítulo, além da introdução, traz os objetivos, justificativa, relevância, arcabouço metodológico e estrutura da tese. O segundo capítulo traz o marco teórico que embasa a tese. Ele explora conceitos

relacionados à difusão de novas tecnologias em sistemas sociotécnicos (transição); suas tipologias; dependência de trajetória, *lock-in* (será utilizado na língua inglesa no texto); a abordagem da PMN que avalia processos de transição; e a interação multi-regimes. Além disso, ele também traz uma rápida abordagem defendida por Mazzucato (2014) de que o Estado tem papel relevante na difusão de novas tecnologias.

O terceiro e quarto capítulo são dedicados à construção de uma contextualização para embasar a análise posteriormente realizada. No terceiro capítulo é apresentado um quadro recente dos sistemas sociotécnicos que se relacionam com o biogás no Brasil. Iniciando com uma contextualização sobre o setor de saneamento, o capítulo traz também um panorama do setor energético, do setor de transporte rodoviário e uma rápida contextualização do setor agropecuário brasileiro.

No capítulo quatro a tecnologia do biogás é brevemente explorada; assim como vantagens e riscos associados à sua produção e a percepção pública sobre a fonte, baseando-se nas experiências de países onde sua produção e uso são mais desenvolvidos. Além disso, são apresentadas duas experiências internacionais (Alemanha e Suécia) consideradas referências na geração de eletricidade e combustível veicular a partir da fonte, buscando demonstrar como a interferência do Estado foi relevante nos dois contextos.

No capítulo cinco é apresentada a configuração do sistema energético brasileiro no que se relaciona ao biogás para responder a primeira pergunta colocada pela tese. São apresentados o atual e potencial uso energético do biogás no Brasil a partir de levantamento de dados secundários, assim como é realizada uma análise da configuração do sistema sociotécnico energético no que se refere ao biogás a partir dos seus principais elementos (infraestruturais, institucionais, agentes) de forma a suportar a análise do capítulo seguinte.

O capítulo seis apresenta a análise da transição para difusão do biogás como ativo energético no Brasil e sintetiza os principais entraves que ainda impedem o avanço do desenvolvimento da fonte, respondendo assim as duas últimas perguntas colocadas pela tese. Por último, no capítulo sete, são apresentadas as principais conclusões e recomendações do estudo.

1.4 Problemas socioambientais e desafios contemporâneos

No atual cenário de crescente demanda de energia e de materiais e consequente geração de resíduos, a oferta de matérias-primas se torna crítica, assim como o descarte do

que é consumido. De acordo com um relatório do Banco Mundial (2012), a geração de resíduos no mundo irá mais que dobrar nos próximos 20 anos e os países em desenvolvimento serão mais impactados negativamente por não terem acesso às tecnologias já instituídas nos países desenvolvidos para tratar essa questão.

Diante disso, mesmo com a disseminação da lógica da redução do consumo, da ampliação da reutilização e da reciclagem, que vem ganhando espaço em alguns países desenvolvidos, o desafio de promover uma melhor gestão de resíduos ainda assola a maior parte do mundo. Essa realidade é pior em países em desenvolvimento, como o Brasil, que ainda baseiam sua gestão formal de resíduos em aterros sanitários, solução que já foi banida pela União Europeia, por exemplo, e, informalmente, em inúmeras lixões pelo Brasil afora¹⁰. Além disso, por explorar sua vocação agropecuária, o país também gera extensa quantidade de resíduos orgânicos no meio rural, onde, aliás, se concentra o maior potencial de geração de biogás do país (EPE, 2014b).

Além da questão dos resíduos, outro desafio que se impõe a toda sociedade se refere a contenção do aquecimento global, que internacionalmente tem no setor de energia, conforme apresentado na introdução, o maior emissor de GEE. Diante do desafio de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, todo esforço que contribua para transição em prol de fontes energéticas renováveis e que promova a minimização de impactos socioambientais, sendo o expoente atual a mitigação de GEE, se torna urgente.

Nesse quesito, é importante ressaltar que a matriz brasileira contém 40% de energias renováveis (mais de 80% de renováveis na oferta de energia elétrica), o que representa três vezes a participação média mundial e mais de quatro vezes a dos países da OCDE (EPE, 2015). Em relação ao desmatamento, que é um dos fatores mais relevante em relação às emissões de GEE brasileiras, o país alcançou expressivos resultados na redução de emissões por desmatamento entre 2009 e 2014 (PRODES, 2017), apesar do retrocesso visto nos últimos anos, pois as taxas de desmatamento voltaram a subir a partir de 2014, e atualmente apresentam níveis elevados como de 2008¹¹.

Apesar desses aspectos positivos em termos energéticos, o Brasil se comprometeu, a partir de sua NDC, em prol de uma trajetória mais sustentável, estabelecendo diversos

¹⁰ <https://oglobo.globo.com/rio/municipios-acumulam-dividas-com-aterros-sanitarios-numero-de-lixoes-sobede-17-para-29-21116812>

¹¹ <http://economia.estadao.com.br/blogs/ecoando/amazonia-registra-maior-taxa-de-desmatamento-desde-2008/>

compromissos, tais como: aumentar a participação de bioenergia em sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030 e alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética até 2030. Tudo isso se apresenta em linha com diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) que defende, para manter a mudança de temperatura abaixo de 2°C em relação a níveis pré-industriais, o uso sustentável da bioenergia e a triplicação (chegando a quase quadruplicar) na matriz energética mundial, até 2050, da participação de fontes de energia sem emissão ou com baixo nível de emissões de carbono (IPCC, 2014). De acordo com Grin et al. (2010), o setor de energia e a crise climática, por serem diretamente relacionados, irão requerer transição massiva de fontes convencionais para fontes sustentáveis.

Apesar do contexto diferenciado e vantajoso brasileiro em relação a sua matriz elétrica, um estudo recente do Banco Mundial em parceria com a consultoria PSR (2017) indica potencial impacto negativo da mudança do clima nas emissões de GEE do setor elétrico brasileiro até 2030, podendo, se nada for feito, as emissões atingirem quatro vezes a dos níveis atuais, que representam 15 milhões de toneladas de gás carbônico por ano. O estudo também ressalta que mais usinas térmicas têm sido construídas para complementar a sazonalidade e a intermitência das fontes eólica e solar, o que também impacta negativamente o cenário de emissões brasileiro, não apenas de GEE, mas também de outros poluentes nocivos à saúde. Diante disso, buscar estimular novas fontes renováveis se torna cada vez mais relevante.

No que se relaciona ao setor de transportes, ele se apresenta como o subsetor que mais emite GEE dentro do setor energético e se caracteriza por ser muito poluente (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2017), legitimando assim a necessidade de serem exploradas alternativas energéticas menos poluentes e que gerem menos externalidades negativas para a sociedade. Segundo publicação recente do Instituto Saúde e Sustentabilidade em parceria com o Greenpeace (2017), morrem mais que o dobro de pessoas por poluição do ar do que por acidentes de trânsito, quase 5 vezes mais do que câncer de mama e quase 6,5 vezes mais que por AIDS ou câncer de próstata no Estado de São Paulo.

O relatório também defende que se houvesse a redução de 10% de poluentes entre 2000 e 2020, apenas na cidade de São Paulo, acarretaria a redução de 114 mil mortes, 138 mil visitas de crianças e jovens a consultórios, 103 mil visitas a prontos-socorros por doenças respiratórias, 817 mil ataques de asma, 50 mil casos de bronquite aguda e crônica e

evitaria sete milhões de dias restritivos de atividades e 2,5 milhões de absenteísmo em trabalho. Se tudo isso fosse contabilizado, geraria uma enorme economia aos cofres públicos, privados e individuais e poderia justificar, por exemplo, políticas de estímulo para descarbonização do setor de transportes.

Além disso, se todas essas externalidades negativas fossem incorporadas ao preço dos combustíveis fósseis, novas fontes renováveis, que ainda não conseguem apresentar competitividade, poderiam não necessitar de políticas públicas específicas para seu desenvolvimento. No entanto, isso não parece que irá ocorrer a curto ou médio prazo. Mesmo diversos países assumindo compromissos globais em prol de trajetórias de desenvolvimento que busquem a descarbonização da economia, o setor petrolífero ainda é fortemente subsidiado em todo mundo (FMI, 2015) e também no Brasil, que em novembro de 2017 publicou a Medida Provisória 795 de 2017 em prol do setor (ainda não aprovada e muito criticada por representantes da sociedade civil)¹². O objetivo da medida, na contramão da busca por descarbonizar a economia, é instituir um regime tributário especial para as atividades de exploração, desenvolvimento e produção de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos, o que segundo especialistas custaria aos cofres públicos mais de 1 trilhão de reais e significaria 74,8 bilhões de toneladas de carbono equivalente (tCO₂eq) emitidos para atmosfera (DW, 2017).

Diante disso, a transição para incorporação de tecnologias de baixo carbono no sistema sociotécnico energético brasileiro deveria ser estratégica e vetor de desenvolvimento socioeconômico neste país. Considerando ainda, que o país vem retrocedendo em questões críticas para a sociedade nos últimos anos¹³, promover a difusão de fontes de energia renováveis e a descentralização da geração de energia em um país ainda tão desigual é de extrema relevância.

¹² <https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/130444>

<http://www.dw.com/pt-br/de-olho-no-petr%C3%B3leo-brasil-pode-deixar-clima-de-lado/a-41366610>

¹³ <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/11/16/alta-no-preco-do-botijao-faz-pobres-trocarem-gas-por-lenha-fogao-faz-falta.htm>

<https://oglobo.globo.com/economia/com-crise-desigualdade-no-pais-aumenta-pela-primeira-vez-em-22-anos-21061992>

https://brasil.elpais.com/brasil/2017/03/21/politica/1490112229_963711.html

<https://g1.globo.com/economia/noticia/preco-da-gasolina-volta-a-subir-e-passa-de-r-390.ghtml>

<http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2017/04/milhoes-de-brasileiros-ainda-nao-tem-energia-em-casa-diz-aneel.html>

2. MARCOS CONCEITUAIS E TEÓRICOS

Fontes alternativas, como energia eólica, solar e biomassa, entre essas o biogás, requerem processos de adaptação de infraestruturas; práticas de uso; políticas; regulações; e significados culturais (VERBONG & GEELS, 2010) no sistema sociotécnico energético, que foi construído e é baseado fortemente em fontes fósseis de energia. Diante disso, o objetivo dos itens seguintes deste capítulo é explorar temas associados à difusão de novas tecnologias consideradas relevantes para a sociedade, especificamente, no caso desta tese, o biogás como alternativa energética.

2.1 Sistema sociotécnico

Geels (2005a) define sistema sociotécnico baseando-se na sociologia da tecnologia. Ele afirma que artefatos por si só não têm poder, não realizam nada. Apenas quando associados à ação humana, estruturas sociais e organizações, artefatos tecnológicos fazem sentido e exercem funções relevantes. Hughes (1987) inclusive cunha o termo “*seamless web*” para indicar como os artefatos físicos, organizações (ex. fábricas, bancos de investimento, laboratórios de pesquisa e desenvolvimento), recursos naturais, elementos científicos (ex, livros, artigos), legislações, se combinam com o objetivo de gerar funcionalidades. Diante disso, Geels (2005a) afirma que funções sociais, tais como transporte, comunicação, fornecimento de água, fornecimento de energia, entre outros, consistem de um conjunto de elementos que ele denomina de sistema sociotécnico¹⁴.

De acordo com o autor, um sistema sociotécnico consiste de tecnologia, regulação, práticas de uso e mercado, simbolismo cultural, infraestrutura, redes de manutenção e redes de oferta (GEELS, 2005a, p.365) associados a uma ou mais tecnologias dominantes. Em resumo, os sistemas sociotécnicos demonstram que mudanças tecnológicas não dependem apenas de questões técnicas, mas também de instituições, atores, redes, que possibilitam que as mudanças ocorram. Raven (2007) afirma que,

¹⁴ Um ponto importante a mencionar é que não há um consenso na literatura no que tange a diferença entre sistema sociotécnico e regime sociotécnico. Em alguns textos é abordada essa diferença enquanto em outros não (GEELS, 2002, 2004, 2005, 2007). Na análise realizada nesta tese será considerada a tratativa definida por Geels (2005, pág. 684) que afirma que “ao fornecer orientação e coordenação às atividades de grupos de atores relevantes, os regimes sociotécnicos representam a estabilidade dos sistemas sociotécnicos”. Além disso, de acordo com Geels (2004, pág. 905), “os regimes sociotécnicos podem ser entendidos como a estrutura profunda ou a gramática dos sistemas sociotécnicos e são influenciados pelos grupos sociais”.

socio-technical regimes fulfill societal functions (e.g. transport, communication, energy supply). Regimes exist of three interrelated sets of elements: rules (or institutions) embedded in and carried by social networks (actors), and artefacts and infrastructures (RAVEN, 2007, p 2198).

Sistemas de transportes, comunicação, moradia, energia, alimentação, agricultura, cada um deles apresenta uma conjunção de elementos necessários para os seus respectivos funcionamentos. Esses sistemas são compostos por atores (indivíduos, empresas e outras organizações, atores coletivos), instituições (normas sociais e técnicas; regulamentos; padrões de boas práticas), bem como artefatos e infraestruturas. Os diferentes elementos de um sistema interagem e, juntos, fornecem serviços específicos para a sociedade. O conceito de sistemas destaca o fato de que uma ampla variedade de elementos estão estreitamente interrelacionados e dependentes uns dos outros. Isso tem implicações cruciais para a dinâmica que os sistemas exibem, e especialmente para a transformação do sistema e a incorporação, por exemplo, de uma nova tecnologia (MARKARD et al., 2012).

Para melhor ilustrar o conceito de sistema sociotécnico, a Figura 2 exemplifica o sistema sociotécnico do setor de transporte rodoviário. Diversos elementos compõem o sistema e são importantes para seu funcionamento. Além disso, eles são também responsáveis pela sua manutenção, visto que se um ou mais deles começarem a apresentar desequilíbrios, podem permitir que alterações ou mudanças definitivas no sistema ocorram.

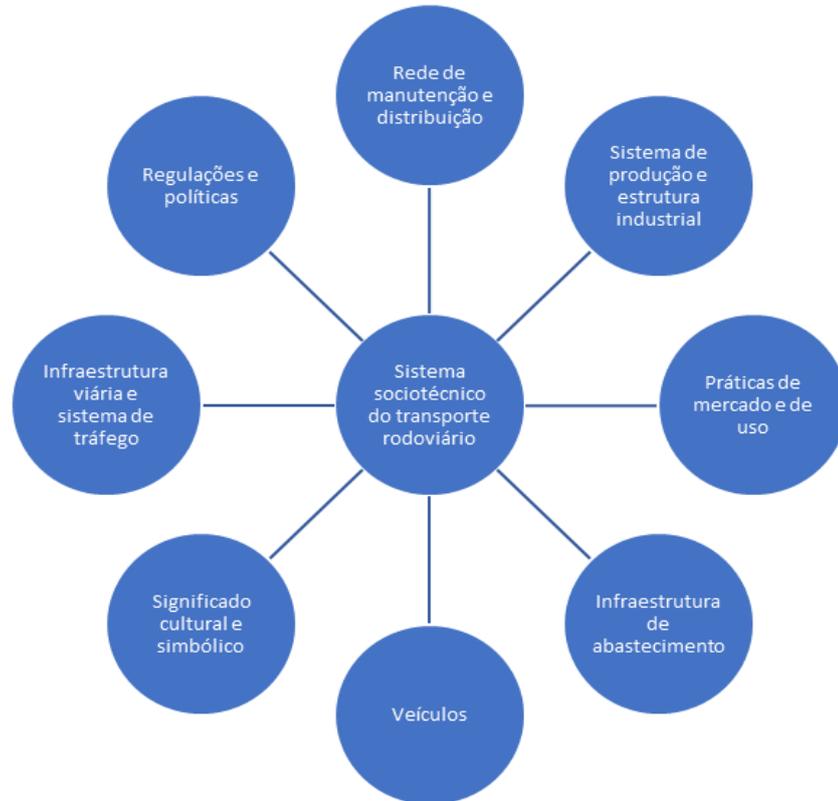


Figura 2: Sistema sociotécnico do transporte rodoviário
Fonte: Adaptado de Geels, 2005a

Além dos elementos que configuram um sistema sociotécnico, diversos grupos sociais (agentes) são responsáveis pelo seu funcionamento, conforme demonstra a Figura 3. Quanto mais complexo um sistema, mais grupos sociais podem ser relevantes para seu funcionamento e esses agentes são fundamentais para o funcionamento ou mudança de qualquer sistema (GEELS & KEMP, 2007).

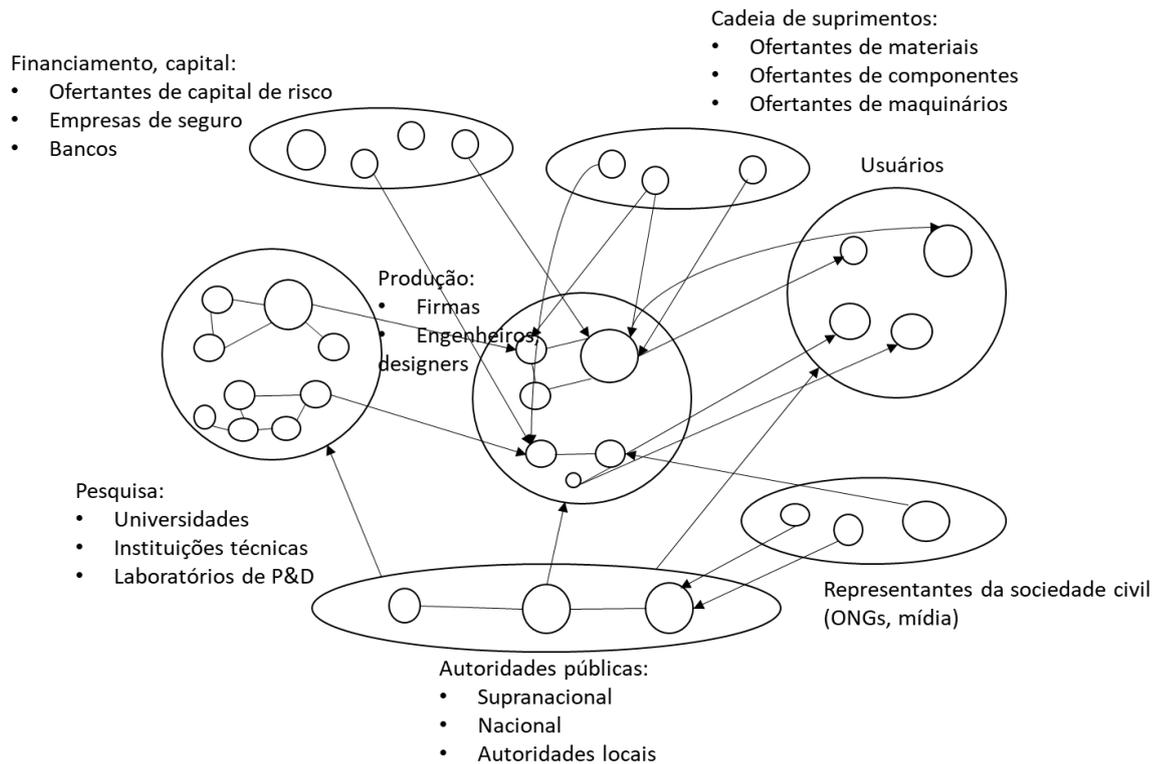


Figura 3: Grupos sociais que fazem parte de sistemas sociotécnicos
 Fonte: Elaboração própria a partir de Geels (2005)

Processos de mudança de sistemas sociotécnicos, que permitem que novas tecnologias se estabeleçam, não ocorrem de forma tranquila. Os elementos de um sistema sociotécnico se relacionam e criam mecanismos que acabam protegendo tecnologias já estabelecidas. Novas tecnologias passam por grandes desafios, pois mesmo a tecnologia em si estando madura o suficiente para ganhar espaço, há regulações, infraestruturas, práticas de uso, redes de manutenção associadas a tecnologias já estabelecidas, que geralmente fazem com que seja um enorme desafio a transição para novas tecnologias (GEELS, 2002).

Diante disso, no tópico seguinte serão abordadas algumas características dos sistemas sociotécnicos enfocando nos conceitos de dependência de trajetória e *lock-in* (trancamento tecnológico), para demonstrar a existência de mecanismos que dificultam trajetórias de difusão de novas tecnologias.

2.2 Características de sistemas sociotécnicos: dependência de trajetória e *lock-in*

Por buscarem compreender a estabilidade de sistemas sociotécnicos, como seus elementos estão relacionados e alinhados uns aos outros dificultando mudanças, os conceitos

de dependência de trajetória (*path-dependence*) e de *lock-in*¹⁵ (UNRUH, 2000; JACOBSSON & JOHNSON, 2000; WALKER, 2000) têm ganhado cada vez maior visibilidade e uso no mundo acadêmico. Raven (2007) defende que,

Dominant systems—including technical, institutional and organisational elements—have gained momentum through decades of development (Hughes, 1983, 1987). The result is what economists of innovation call path dependency and lock-in, often emerging from historical events and increasing returns to scale, giving one system a leading edge above another (David, 1985; Arthur, 1989). Unruh (2000) makes a similar analysis for current energy sectors: they have been locked in to hydrocarbon-based technologies, thereby effectively locking-out alternatives such as biomass, wind turbines and solar power (RAVEN, 2007, p.2198).

De acordo com Barnes et al. (2016), um número crescente de acadêmicos passou a defender que forças do mercado não necessariamente selecionam as melhores tecnologias ou produtos, sendo que muitas vezes tecnologias dominantes se apresentam ultrapassadas em termos de eficiência e impactos socioambientais, mas mesmo assim, por conta da dependência de trajetória, elas se mantêm estabelecidas e dominantes nos sistemas sociotécnicos. David (1985) foi um dos pioneiros a demonstrar que tecnologias sub-ótimas ou ineficientes podem persistir por longos períodos de tempo e dificultar processos de mudanças tecnológicas.

De acordo com Bernardi (2012), uma vez que se tenha adotado uma trajetória específica, é necessário um grande esforço ou até mesmo um choque externo para alterar a direção e o curso das instituições. Sendo assim, se estabelece uma dependência de trajetória que legitima tecnologias e o funcionamento de sistemas sociotécnicos associados, independente de haver alternativas superiores em termos tecnológico, econômico e socioambiental.

Diante disso, transições em prol de sistemas mais sustentáveis, como, por exemplo, a difusão da produção do biogás via biodigestores, são dificultadas pela forte dependência de trajetória e *lock-in* existentes nos principais setores da economia (MARKARD et al., 2012). Geralmente, tecnologias estabelecidas estão altamente interligadas com práticas e estilos de vida dos usuários, tecnologias complementares, modelos de negócios, cadeias de valor,

¹⁵ Será usado o termo em inglês no texto. De acordo com Unruh (2000), as economias industriais foram bloqueadas em sistemas de energia baseados em combustíveis fósseis através de um processo de co-evolução tecnológica e institucional impulsionado por retornos crescentes e dependências de trajetória. Afirma-se que esta condição, denominada *lock-in* de carbono, cria persistentes falhas de mercado e políticas que podem inibir a difusão de tecnologias de que reduzem a emissão de GEE, apesar das suas aparentes vantagens ambientais e econômicas.

estruturas organizacionais, regulações, estruturas institucionais e até estruturas políticas (RIP & KEMP, 1998), dificultando assim o desenvolvimento de novas tecnologias dentro dos sistemas sociotécnicos ou, como será também chamado neste trabalho, dos regimes incumbentes.

A dependência de trajetória refere-se a efeitos de *lock-in* e investimentos afundados¹⁶ realizados em tecnologias existentes e que podem favorecer e proteger o sistema sociotécnico estabelecido em detrimento de mudanças ou surgimento de novos sistemas (LONNQVIST, 2017). Como consequência, os sistemas sociotécnicos dificultam o estabelecimento de mudanças mais significativas (FRANTZESKAKI & LOORBACH, 2010; MARKARD & TRUFFER, 2006), que seriam necessárias para lidar com os desafios socioambientais críticos com os quais a sociedade se depara.

As tecnologias dominantes na sociedade não são elementos neutros, elas moldam desde as percepções dos atores, até padrões de comportamento e atividades (GEELS, 2002). Os atores encontram-se envoltos em estruturas que configuram suas preferências, objetivos e estratégias (GEELS, 2004). De acordo com Geels (2004, p. 908), através da implementação de sistemas de regras compartilhadas, os membros dos coletivos geram padrões de atividades. E esses padrões acabam gerando expectativas e preferências que estão diretamente relacionadas a um sistema tecnológico dominante e uma contínua dependência de trajetória (UNRUH, 2000).

De acordo com North (1991), a dependência da trajetória representa a mão pesada do passado posta sobre o ombro do presente. Trajetórias do presente são baseadas em escolhas passadas, na definição de instituições ou nas suas mudanças. A existência de determinadas tecnologias se explica, de acordo com Mahoney e Schensul (2006), pela história de sua criação, adoção e desenvolvimento. Além disso, há também outros fatores que reforçam a dependência de trajetória e o *lock-in*.

Sistemas sociotécnicos, regras e grupos sociais provêm estabilidade por meio de diferentes mecanismos. Regras criam estabilidade por guiarem percepções e ações. As regras tendem a ser reproduzidas e aceitas por grande parte da sociedade. Geels exemplifica citando, por exemplo, as regras cognitivas, que fazem engenheiros e designers olharem sempre em direções particulares e não considerarem outras possibilidades, usando sempre as mesmas técnicas e processos (GEELS, 2004). Ele inclusive defende que o próprio processo

¹⁶ Custos afundados (sunk costs) se referem a valores já gastos ou investidos por uma firma em um projeto específico e que não podem ser recuperados (<http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/sunk-cost>).

de aprendizagem é um grande contribuidor para o estabelecimento da dependência de trajetória, pois as salas de aula replicam saberes muitas vezes obsoletos, não abrindo espaço para novas formas de pensar e fazer, impactando assim negativamente a busca por mudanças.

Um fator que acaba reforçando a dependência de trajetória se refere aos contratos legalmente formalizados, mecanismos que acabam impedindo mudanças por conta de compromissos assumidos. Geels (2004, pág. 910) menciona como exemplo uma planta de reprocessamento nuclear que se encontrava presa a uma trajetória produtiva (*lock-in*) por conta de contratos existentes com diversos clientes durante um longo período de tempo. Além disso, padrões técnicos e subsídios inflexíveis, e outros tipos de regras também podem dificultar mudanças de trajetórias.

Outro ponto, que se refere à manutenção da estabilidade de sistemas, é denominado de capital organizacional (GEELS, 2004). Organizações são resistentes a mudanças, pois desenvolvem redes e relações de interdependência com compradores, fornecedores, bancos e outros atores com os quais se relacionam, criando relacionamentos e rotinas difíceis de serem rompidas. Hughes (1987) também afirma que as organizações de um sistema possuem enorme interesse em mantê-lo. Geralmente, atores já estabelecidos e com poder tentam bloquear inovações por meio de controle de mercado ou lobby político. Setores industriais criam organizações específicas para realizar lobby e manter o sistema como ele é, buscando manter o *status quo*, se esse lhe beneficia como tal. Quando os sistemas de poder já se encontram definidos e repartidos, nenhum ator quer abrir mão do seu pedaço, demonstrando aqui uma busca por interesses individuais e não coletivos, independente se uma nova tecnologia possa promover ganhos relevantes para a sociedade.

Custos de transação também têm impacto no desenvolvimento, adoção e difusão de novas tecnologias. Eles podem ser definidos como os custos a que estão sujeitas todas as operações de um sistema econômico, o dispêndio de recursos econômicos para planejar, adaptar e monitorar as interações entre os agentes, garantindo que o cumprimento dos termos contratuais se faça de maneira satisfatória para as partes envolvidas e compatíveis com a sua funcionalidade econômica (PONDÉ, 1994). Geralmente, novas tecnologias ainda não legitimadas pela sociedade ficam expostas a altos custos de transação, por não terem mercado nem escala significativa para diluir seus custos, enquanto tecnologias e processos já estabelecidos possuem menores custos de transação e maior robustez para incorporá-los, dificultando assim o estabelecimento de inovações (WILLIAMSON, 1997).

Um ponto importante levantado por North (1991) se refere à velocidade das mudanças institucionais. O autor afirma que a qualidade das instituições tem relação direta com o processo de difusão de novas tecnologias e pode tornar esse processo mais difícil de ocorrer, quando instituições são rígidas e difíceis de mudar. Em um ambiente onde impera a burocracia e o poder de grupos de interesse específicos, a mudança pode ser mais complexa e ocorrer de forma lenta e gradual podendo ocasionar reformas distorcidas, dissipadas e diluídas. Ele defende que mudanças necessárias requerem muitas vezes comoção social e política, requerendo até mudanças de percepções ideológicas dos agentes envolvidos. Segundo North (1990), é necessário que haja estruturas institucionais que incentivem a criação de caminhos alternativos para superar problemas que possam ocorrer e o arcabouço institucional deve possuir uma eficiente capacidade de adaptação. Para desenvolver alguma atividade ou setor, considerado estratégico e relevante, é necessário mudar instituições e percepções ideológicas alterando, caso seja necessário, as instituições existentes ou criando novas com agilidade.

Essa dificuldade de mudar o rumo das instituições é bem sintetizada na frase de Rhodes, Binder & Rockman (2006) que afirma que instituições são como cimento seco. O cimento pode ser arrancado depois de seco, mas o esforço para fazer isso é substancial. É mais fácil alterar a substância antes que ela se endureça. Por conta disso, instituições podem dificultar a difusão de novas tecnologias em razão da tendência inercial das instituições que bloqueia ou dificulta subseqüentes mudanças. Escolhas feitas quando uma instituição está sendo formada, ou quando uma política está sendo iniciada, são extremamente importantes e determinantes para o desenvolvimento de uma nova trajetória.

Além das instituições formais, descritas acima, que mudam numa escala temporal de décadas, há também instituições informais, como a cultura, as normas e valores de uma sociedade, mais difíceis ainda de mudar, muitas vezes em questão de séculos (WILLIAMSOM, 1997). Valores, normas e questões culturais acabam muitas vezes se moldando a tecnologias estabelecidas e seus processos de mudança não ocorrem com facilidade.

Outro ponto defendido por diversos autores é o fato de a sociedade estar travada em um sistema sociotécnico carbono intensivo (RIP & KEMP, 1998). Apesar de diversas novas soluções tecnológicas já existirem para sanar inúmeros desafios ambientais, o fato de a sociedade estar presa a certas configurações tecnológicas evita que novas tecnologias já disponíveis sejam difundidas e utilizadas e isso é denominado de *lock-in*.

Para abordar o conceito de *lock-in*, pode-se utilizar o exemplo do sistema energético. A sociedade está totalmente adaptada a um sistema baseado majoritariamente em fontes fósseis e toda a infraestrutura está adaptada a esse contexto. Os interesses para que o sistema continue se desenvolvendo baseando-se em energia fóssil são enormes, desde pressões de países e empresas produtoras de petróleo; consumidores que apenas se preocupam em ter a energia disponível para ligar seus aparelhos de ar condicionado e abastecer seus automóveis de forma acessível; instituições e infraestruturas criadas e moldadas para suportar tecnologias fósseis; assim como uma série de políticas e incentivos, desenvolvidos para suportar estas fontes. Mudar as formas como a energia é hoje provida e utilizada no mundo é um grande desafio. A sociedade se tornou totalmente dependente de fontes fósseis e sistemas centralizados de geração de energia, o que se instituiu chamar de *carbon lock-in* (VERBONG & LOORBACH, 2012).

Geels (2014) ressalta a questão do *lock-in* como uma das grandes dificuldades para que transições ocorram. Segundo ele, a idéia básica é que os formuladores de políticas e as empresas estabelecidas, na maioria das vezes, formam alianças com o objetivo de manter o sistema sociotécnico e dificultar as mudanças, garantindo a sobrevivência de um grande "complexo tecno-institucional" (UNRUH, 2000). O argumento é que os formuladores de políticas e os atores empresariais do regime tendem a formar alianças estreitas devido às dependências mútuas. Empresas e indústrias dependem dos governos para estabelecer direitos de propriedade, regras de troca (obrigações de contratos), estruturas de governança e *accountability* para guiar o comportamento corporativo. Os governos também apoiam e moldam os setores econômicos de maneiras específicas, através de proteção tarifária, empréstimos, compras governamentais, patentes, benefícios fiscais, informações e serviços de pesquisa. Assim, se perpetuam determinadas tecnologias em um processo de dependência de trajetória difícil de interromper (GEELS, 2014).

Há inércia nos sistemas e para uma nova tecnologia ganhar espaço, ela pode acabar requerendo mudanças em todo sistema sociotécnico, desde mudanças físicas nas tecnologias estabelecidas e na infraestrutura associada, mudanças nas qualificações da mão de obra, nas relações produtores-usuários, nos sistemas regulatórios entre tantas outras coisas. Acabam sendo inúmeras mudanças necessárias, que enfrentam grande resistência por parte dos diversos atores envolvidos. Desde a resistência das firmas produtoras da tecnologia antiga até os consumidores, já acostumados e que também não possuem interesse em mudar hábitos e rotinas. Segundo Unruh (2000), os atores são avessos a risco e relutantes em se

adaptar a novas tecnologias ainda não legitimadas, mesmo quando elas não significam tantas mudanças em um sistema sociotécnico, como é o caso do biogás.

Em suma, de acordo com Rip e Kemp (1998, p. 381), a sociedade vive em um regime de hidrocarbonetos, com o carvão ainda como a principal fonte para geração de eletricidade, a gasolina produzida a partir do petróleo como o principal combustível do setor de transporte e o gás natural, também produzido a partir do petróleo, como a principal fonte para aquecimento de espaços. O regime dos hidrocarbonetos vem crescendo por conta da acessibilidade em preços dos combustíveis fósseis e a histórica negligência em relação às suas externalidades negativas, tais como as emissões de GEE e de outros poluentes, assim como riscos expressivos inerentes aos seus processos produtivos¹⁷. O “*carbon lock-in*” (Unruh, 2000) instituiu um grande sistema tecnológico, onde instituições públicas e privadas governam em torno de fontes fósseis de energia e esse sistema já vem se desenvolvendo há mais de 200 anos.

Unruh (2000) ainda defende que as economias industriais contemporâneas foram presas em sistemas de energia baseados em combustíveis fósseis através de um processo de co-evolução tecnológica e institucional baseado em dependência de trajetória. Abraham & Gundimeda (2014, p. 117) afirmam que se esta condição de *carbon lock-in* existir e persistir, dificilmente as tecnologias renováveis tenderão a se desenvolver, apesar da aparente vantagem ambiental e econômica. Grin et al. (2010, p. 6) afirmam que “*existing sociotechnical systems are stable because of path dependencies and lock-in, and thus contribute to understanding persistent problems.*”

Um exemplo da atuação do governo em prol de setores dominantes são os fortes subsídios dados no mundo à energia fóssil. Um estudo do Fundo Monetário Internacional (FMI, 2015) aponta que as fontes fósseis são pesadamente subsidiadas globalmente e estimam que em 2015 tais subsídios totalizaram 5,3 trilhões de dólares (subsídios pós-impostos) representando 6,5% do PIB global. Carvão, petróleo, gás natural e eletricidade são

¹⁷ Um exemplo a ser considerado pode ser o vazamento de petróleo no Golfo do México em 2010. A plataforma Deepwater Horizon, da petrolífera inglesa British Petroleum (BP), explodiu e provocou a morte de sete trabalhadores e o vazamento de cerca de 5 milhões de barris de petróleo no mar. Por conta do acidente da BP, o petróleo vazou no Golfo do México durante 87 dias, se espalhou por mais de 1.500 km no litoral norte-americano, contaminou e matou milhares de animais. Os efeitos do vazamento ainda estão presentes até hoje e compostos químicos do petróleo são encontrados em animais, inclusive, em ovos de pássaros que se alimentam na região. Há também impactos socioeconômicos como a perda de dezenas de bilhões de dólares das indústrias da pesca e do turismo na costa sul dos Estados Unidos. (<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Pior-vazamento-de-petroleo-completa-cinco-anos/>)

os itens mais subsidiados no setor energético mundial e esses subsídios promovem uma série de malefícios para a sociedade, tais como,

damage the environment, causing more premature deaths through local air pollution, exacerbating congestion and other adverse side effects of vehicle use, and increasing atmospheric greenhouse gas concentrations, impose large fiscal costs, which need to be financed by some combination of higher public debt; higher tax burdens, and crowding out of potentially productive public spending (for example, on health, education, and infrastructure), all of which can be a drag on economic growth.; and discourage needed investments in energy efficiency, renewables, and energy infrastructure, and increase the vulnerability of countries to volatile international energy prices (FMI, 2015, p.5).

Diante da dependência de trajetória e do *lock-in* existentes, fica evidente o desafio para novas tecnologias se desenvolverem e ganharem espaço. De acordo com Unruh (2000), inúmeras oportunidades lucrativas para economizar energia existem, mas elas falham ao se desenvolver e se difundir, mesmo já estando desenvolvidas tecnologicamente, por conta de barreiras à adoção existentes nos sistemas sociotécnicos estabelecidos.

No entanto, mesmo incentivando e subsidiando fontes extremamente poluentes, os governos também têm atuado em prol de fontes renováveis de energia e é importante frisar a importância da atuação do poder público no desenvolver de novas tecnologias. De acordo com Mazzucato (2014), as tecnologias mais radicais em diferentes setores, da internet à indústria farmacêutica, têm origem no financiamento de Estado corajoso e disposto a assumir riscos. A autora defende que o Estado precisa ter papel empreendedor, assumindo riscos e criando mercados quando necessário. Utilizando diversos exemplos, entre eles o dos Estados Unidos, país de viés liberal, onde o papel das agências do setor público foi fundamental por trás do sucesso de empresas como Apple e Google, ela defende a atuação de um estado empreendedor para o desenvolvimento de novas tecnologias. Segundo Mazzucato (2014, p. 127), sem o maciço investimento público por trás das revoluções da informática e da internet, as qualidades atribuídas ao idealizador da empresa Apple (Steve Jobs) poderiam ter levado apenas à invenção de um novo brinquedo e não a produtos revolucionários como o iPad e o iPhone, que mudaram a maneira como as pessoas trabalham e se comunicam¹⁸. Em item posterior deste capítulo serão apresentadas algumas ideias defendidas pela autora que reforçam a necessidade de atuação do Estado para difusão de fontes como o biogás.

¹⁸ “...todas as tecnologias que tornaram o iPhone de Jobs tão “inteligente” (*smart*) foram financiadas pelo governo (internet, GPS, telas sensíveis ao toque (*touch-screen*) e até o recente comando de voz conhecido como SIRI.” (MAZZUCATO, 2014, p.26).

Diante disso, o grande desafio é que o governo atue na direção certa, em prol de tecnologias que gerem benefícios não apenas financeiros, mas, diante do contexto que vivemos hoje, também ambientais e sociais. A disseminação das novas fontes energéticas renováveis, como o biogás, precisa ser consolidada através de ações, instituições e políticas que legitimem e incentivem seu uso e suportem, mesmo que apenas inicialmente, o estabelecimento de um mercado. Neste sentido, o setor público e políticas públicas bem planejadas têm papel relevante para ajudar que destravamentos tecnológicos ocorram e a inserção de novas fontes de energia que promovam a descarbonização da economia.

No intuito de avaliar como mudanças ocorrem nos sistemas existentes foi criada a abordagem da PMN. Ela objetiva compreender os processos de transição, as mudanças em um sistema sociotécnico. Esse tema tem ganhado relevância nas últimas décadas, por conta da busca por novas tecnologias, principalmente para superar desafios ambientais. No entanto, novas tecnologias geralmente se deparam com inúmeras barreiras, seja por conta de questões financeiras, sociais, culturais, infraestruturais e regulatórias, dificultando seu desenvolvimento em sistemas sociotécnicos estabelecidos. Com a diversidade de elementos e atores nos sistemas sociotécnicos, configura-se um grande desafio compreender por que mudanças sociotecnológicas importantes para a sociedade não ocorrem, na maioria das vezes, mesmo estando uma tecnologia em si já bastante desenvolvida para sua aplicabilidade e consequente ganho de mercado e escala como é o caso do biogás.

No tópico seguinte será abordado o conceito de transição que busca entender as dinâmicas de mudanças em sistemas sociotécnicos.

2.3 Mudanças em sistemas sociotécnicos: transições

Pelo fato de vivermos em uma sociedade que apresenta inúmeros desafios socioambientais, a busca pela difusão de novas tecnologias, promotoras de mudanças nos sistemas sociotécnicos, é um tema relevante e bastante pesquisado (SPRU, 2017). Os processos de mudança em sistemas sociotécnicos, ou transições, têm sido cada vez mais estudados no meio acadêmico e também ganhado espaço em agendas de instituições públicas e privadas, principalmente em países desenvolvidos. De acordo com Shove & Walker (2007, p. 763),

across the board there is growing recognition of the holistic, unavoidably interrelated nature of contemporary environmental problems and of the need for fresh approaches and forms of governance capable of engaging with complex challenges of this kind. Theories and models of sustainable transition management, derived from a blend of academic traditions in innovation, history,

and technology, appear to fit this bill and it is no wonder that they are now catching on across a number of policy domains.

É importante ressaltar que o termo “transições” é aplicado em diversas disciplinas além de estudos tecnológicos, tais como ecologia, psicologia, economia e demografia (VERBONG & LOORBACH, 2012), no entanto, é a partir da década de 1990, com estudos de inovação sociotécnica e sustentabilidade, que o termo passou a ser mais utilizado e difundido (RIP & KEMP, 1998; KEMP, 1998).

A noção de transição é baseada em pensamentos sistêmicos que enfocam na co-evolução de aspectos sociais e tecnológicos da sociedade para compreender e analisar a emergência, transformação ou extinção de sistemas sociotécnicos (SHOVE & WALKER, 2007, p. 763). Elas se referem a mudanças em funções sociais estratégicas para a sociedade em setores como transporte, energia, comunicação, habitação, agricultura, saúde, entre outros (GEELS, 2005). Por conta disso, são consideradas inovações sistêmicas, que promovem a mudança de um sistema sociotécnico para outro ou alterações nos sistemas sociotécnicos vigentes (GEELS, 2004).

Grin et al. (2010) afirmam que transições são processos de co-evolução que requerem mudanças em vários aspectos dos sistemas sociotécnicos, assim como mudanças em mais de um sistema sociotécnico. Elas envolvem o desenvolvimento de inovações tecnológicas e o seu uso e aceitação pela sociedade. Esse uso inclui tanto a adoção pelos consumidores, assim como um processo amplo de aceitação e incorporação social que inclui mudanças em regulações, infraestrutura, funcionamento do mercado e aspectos culturais. As transições sociotécnicas não se referem apenas a aspectos técnicos ou materiais, se referem a todo um arcabouço econômico, social, político e institucional que é de grande relevância para o processo. Elas constituem mudanças institucionais, pelo fato de envolverem o desmantelamento de estruturas existentes, assim como a construção ou institucionalização de uma nova configuração sociotécnica (GRIN et al., 2010).

Uma característica importante de análises de processos de transição sociotécnica se refere ao fato delas não enfocarem apenas em analisar mecanismos econômicos, mas levam em conta todo o contexto onde uma tecnologia está ou gostaria de se inserir. Assim, um grande diferencial de estudos de transições sociotécnicas é a análise mais ampla, que não só inclui tecnologia e mercados, mas também infraestrutura, aspectos culturais, paradigmas regulatórios e comportamento do consumidor (VERBONG & GEELS, 2010).

Segundo Markard et al. (2012), transições sociotécnicas incluem mudanças nas práticas dos usuários e nas instituições (por exemplo, estruturas reguladoras e culturais), além da dimensão tecnológica. Transições sociotécnicas tipicamente abrangem uma série de inovações não técnicas como o desenvolvimento de infraestruturas complementares e mudanças institucionais. O surgimento de um sistema de transporte como o automóvel, por exemplo, tem a tecnologia no seu núcleo, mas exigiu mudanças em diversos outros elementos, tais como o desenvolvimento de infraestrutura rodoviária, sistemas de abastecimento de combustível, regras de trânsito, serviços (por exemplo, manutenção, seguro), práticas de usuários e mudança cultural (que caracterizou o carro como símbolo de autonomia, status e independência).

Para Geels (2002; 2004), transições sociotécnicas são entendidas como processos de mudança e substituição de sistemas produtivos e econômicos, assim como de visões de mundo, as quais estão consolidadas em estruturas sociais denominadas de regimes sociotécnicos. Elas são processos multi-atores, que requerem interações entre diversos grupos sociais, tais como empresas, diferentes tipos de usuários, comunidade científica, desenvolvedores de políticas, movimentos sociais e grupos de interesse diversos, apenas para exemplificar a gama de atores relevantes nesses processos. É importante ressaltar que cada ator tem um tipo de influência e que há diferentes graus de influência entre os atores de um sistema sociotécnico.

Em relação ao tempo em que geralmente ocorrem processos de transição, alguns deles, como a mudança do aquecimento a base do carvão para o baseado a gás em partes do noroeste da Europa, ocorreram rapidamente, no entanto, a maioria ocorre ao longo de cinco ou mais décadas (SMITH et al., 2010). Os autores também afirmam que essa expectativa de tempo de duração de transições tende a encurtar por conta do aumento da velocidade que as ideias circulam e que as trocas ocorrem no mundo atual e a crescente pressão pública por incorporação de questões socioambientais em tomadas de decisão. Apesar disso, eles ressaltam que muitas tecnologias sustentáveis já vêm se desenvolvendo desde a década de 70 e ainda não conseguiram completar o processo de transição, como o próprio biogás pode exemplificar. Isso acontece por diversos fatores, e um deles se refere à dificuldade de vencer a inércia e o *lock-in* dos sistemas sociotécnicos vigentes.

Fuenfschilling e Truffer (2016) também afirmam que transições são processos de longo prazo, pois envolvem muitos elementos de uma sociedade e, de acordo com Grin et al. (2010), são “macroscópicas” necessitando de um olhar amplo e não focado especificamente

sobre uma única firma, um pequeno conjunto de firmas ou apenas um setor. Por conta disso, é necessário, para o entendimento sobre os processos de transição, uma análise das relações intra e intersetoriais. Segundo Rammert (1997), qualquer tecnologia precisa estar contextualizada (“*Technologies-in-context*”) e por isso a relevância de uma análise mais ampla e que englobe elementos diversos, pois, segundo Geels (2002, p. 1257) afirma “*technology, of itself, has no power, does nothing*”.

Sobre as abordagens teóricas relevantes que foram utilizadas para estudar e explicar as particularidades de difusões tecnológicas e transições há diversas teorias e conceitos. Segundo pesquisa realizada por Sovacool e Hess (2017), há 96 teorias e conceitos utilizados para explicar transições sociotécnicas divididas entre 22 disciplinas. Dentre elas, 14 são as mais utilizadas conforme a Figura 4 apresenta.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Sociotechnical Transitions / the Multi-Level Perspective 2. Social Practice Theory / Theories of Practice 3. Discourse Theory 4. Domestication Theory 5. Large Technical Systems 6. Social Construction of Technology 7. Sociotechnical Imaginaries 8. Actor-Network Theory 9. Social Justice Theory 10. Sociology of Expectation 11. Sustainable Development 12. Values Beliefs Norms Theory 13. Lifestyle Theory 14. The Unified Theory of Acceptance and Use of Technology |
|---|

Figura 4: Teorias e abordagens conceituais mais utilizadas para compreender processos de transição
Fonte: SPRU19, 2017

Markard et al. (2012) apresentam as correntes teóricas que se relacionam com o tema conforme a Figura 5 sintetiza e defendem que quatro estruturas até agora alcançaram maior proeminência, sendo elas a gestão da transição (KERN & SMITH, 2008; LOORBACH, 2010; ROTMANS et al., 2001), o gerenciamento estratégico de nicho (KEMP et al., 1998; RAVEN E GEELS, 2010), os sistemas de inovação tecnológica (BERGEK et al., 2008; JACOBSSON & JOHNSON, 2000; HEKKERT et al., 2007) e a perspectiva multinível (GEELS, 2002; GEELS & SCHOT, 2007b; SMITH et al., 2010). Nos dois levantamentos a

¹⁹ <http://www.sussex.ac.uk/spru/newsandevents/2017/findings/technologicalchange>

PMN é mencionada com destaque, sendo uma linha bastante utilizada para análise da difusão de novas tecnologias e transições.

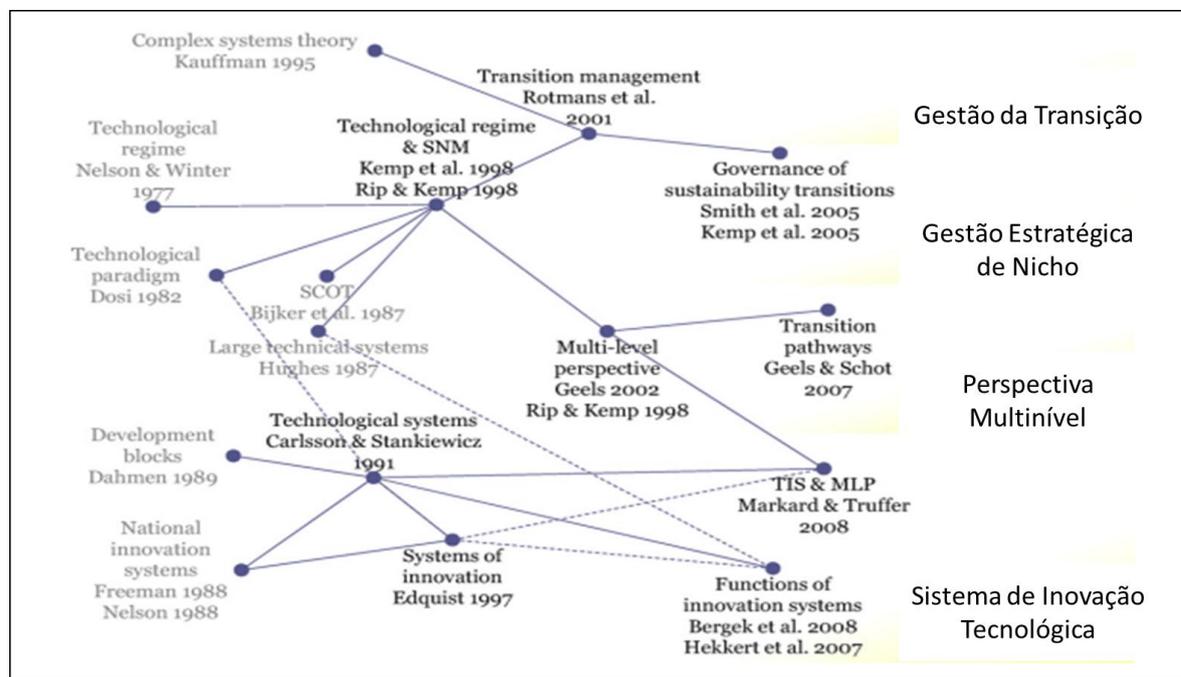


Figura 5: Principais linhas de pesquisa que se relacionam ao estudo das transições
Fonte: Adaptado de Markard et al. (2012)

O estudo das transições constitui um campo de pesquisa de crescente relevância social dada a magnitude dos desafios socioambientais com os quais a sociedade se depara. O interesse acadêmico pelo tema tem sido expressivo, comprovado pelas inúmeras publicações em revistas renomadas e pela rede de atores interessados que tem se formado, sendo o expoente atual a rede chamada de *Sustainability Transitions Research Network* (STRN) que apoia a comunidade científica interessada pelo tema e hoje conta com mais de 1.300 membros associados (STRN, 2017).

O conceito de transições ainda é majoritariamente utilizado nos países desenvolvidos, mas com número crescente de pesquisas que enfocam na aplicação do conceito em países em desenvolvimento. Recentemente, dentro do STRN, foi criado um grupo temático para pesquisar exclusivamente sobre transições em países em desenvolvimento denominado “Transitions in emerging and developing countries”. No caso do Brasil, estudos que utilizam transições e conceitos associados já começam a aparecer na esfera acadêmica, mas ainda pontualmente. Dentre os membros do STRN, apenas 23 são brasileiros, sendo sete da cidade do Rio de Janeiro (STRN, 2017).

É importante ressaltar que os desafios relacionados às transições também são crescentes. Um grande número e variedade de atores e interesses envolvidos nos processos de transformação de sistemas sociotécnicos acabam requerendo análises cuidadosas e que relacionem diversas disciplinas. Por conta disso, o estudo das transições sociotécnicas está sendo incorporado em uma série de outros estudos, tais como estudos de inovação, avaliação de tecnologias, estudos de políticas ambientais, sociologia da tecnologia e, ainda em menor grau, na economia ecológica (MARKARD et al., 2012).

Recentemente, processos de transição têm ganhado maior notoriedade em agendas de diferentes instituições no mundo, por conta da busca pela superação de desafios com os quais a humanidade se depara já mencionados na introdução. GEELS (2017) aborda exemplos do governo britânico e da WWF²⁰, que passaram a utilizar conceitos relacionados a temática em seus relatórios de análise. O governo holandês, por exemplo, se baseou na teoria de transições sociotécnicas e em conceitos relacionados para estabelecer políticas energéticas no país para disseminar fontes renováveis (BOSMAN & ROTMANS, 2016)²¹. Mais recentemente, o IPCC passou a utilizar conceitos também relacionados à área em seu edital de chamada pública para confecção do sexto relatório da instituição. Ele pretende avaliar as transições ou transformações compatíveis com trajetórias de mitigação de mudanças climáticas em um dos capítulos de seu próximo relatório²². No entanto, apesar dos casos acima mencionados, ainda há pouca experiência com políticas orientadas para mudanças em sistemas sociotécnicos e os raciocínios políticos ainda dependem principalmente de aconselhamentos da economia neoclássica (JACOBSSON & BERGEK, 2011).

De qualquer forma, uma questão importante nos processos de mudança se refere à necessidade de atuação do poder público (TRUFFER et al., 2010). Mah et al. (2013) reforçam a relevância do papel do governo na liderança de processos de transição, sendo na

²⁰ The UK Department of Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) has embraced transition thinking in Defra's Evidence and Investment Strategy 2010 – 2013 and Beyond, and the World Wildlife Fund explicitly uses the multilevel perspective (PMN) to structure their strategies in the “The Great Transition Project” (GEELS, 2017).

²¹ “When the various ministries started implementing transition management in 2001, the concept itself was still in its infancy” (GRIN et al., 2010, p.184). Researchers in the Netherlands especially have helped reshape environmental policy along transitions lines (KEMP et al., 2007).

²² O IPCC abriu chamada para especialistas para formulação de seu 6th Assessment Report. No seguinte capítulo são definidos temas que se relacionam com o referencial teórico apresentado nesta tese:

Capítulo 3- System transitions and/or transformation compatible with mitigation pathways, including supply and demand and integrating sectoral information
(http://www.ipcc.ch/scripts/_session_template.php?page=_46ipcc.htm)

estruturação de novos sistemas produtivos conjuntamente com o setor privado e também no trabalho de articulação e conscientização/educação dos agentes envolvidos. Segundo os autores as melhores soluções em processos de transição se baseiam em parcerias entre o setor público e o privado.

No que tange ao setor de maior relevância para este trabalho, o setor energético, muitas mudanças vêm ocorrendo no sistema energético mundial, por conta de pressões crescentes para a inserção de novas fontes energéticas renováveis e para a busca de descarbonização da matriz energética mundial. Entre os estudos sobre transições, os desafios no setor de energia a partir da perspectiva de inclusão de novas tecnologias renováveis, tais como energia solar, eólica e biomassa, têm ganhado grande relevância ultimamente. Questões além da evolução tecnológica em si, que se referem a desafios socioambientais, se tornam fundamentais e vêm exercendo pressão para mudanças ocorrerem em diferentes sistemas sociotécnicos, incluindo o energético (RIP e KEMP, 1998; GEELS, 2002; GEELS e SCHOT, 2007).

Raven (2007) afirma que novas tecnologias requerem a construção ou alteração dos sistemas sociotécnicos, que é um processo difícil e complexo, e afirma, que,

there is a competitive disadvantage with the already existing system. Yet several historical case studies show that established systems are sometimes overthrown. Examples are the rapid introduction of natural gas in the UK and the Netherlands, taking over dominant positions from coal and oil. In order to understand better these transitions several scholars developed a multi-level perspective on technological change (RAVEN, 2007, p. 2198).

No tópico seguinte será apresentada a abordagem da PMN que irá nortear a análise da transição para difusão do uso do biogás como ativo energético no Brasil que é realizada nesta tese. A escolha da PMN se deu pelo fato dela ser ainda pouco difundida no país, apesar da sua ampla aplicabilidade teórica no contexto internacional, principalmente em análises de transições em países desenvolvidos. Desta forma, sua escolha traz o caráter de inovabilidade apresentado neste trabalho juntamente com sua aplicação para análise da transição da difusão do biogás, nunca antes realizada desta forma no país.

2.4 Perspectiva multinível

A abordagem da PMN (Geels, 2002; Geels and Schot 2007; Schot and Geels, 2008) é construída baseada em um mix de disciplinas, incluindo história, economia evolucionária, teoria institucional e estudos de inovação e sugere que a difusão tecnológica ou as transições

acontecem por conta de interações entre três níveis: nicho, regime e paisagem (SOVACOOOL & HESS, 2017).

Ela alinha conceitos relacionados a sistemas tecnológicos e científicos; economia evolucionária; sociologia e história da tecnologia; e estudos de inovações (RIP & KEMP, 1998; KEMP et al. 1998; SCHOT, 1992; GEELS, 2002, 2004, 2005) e objetiva promover alguns avanços em relação à essas teorias. Geels (2004) afirma que a economia evolucionária e estudos de inovação, por exemplo, tendem a focar principalmente no lado da produção e criação de conhecimento e inovação, enquanto o lado da utilização da tecnologia recebe menor atenção. Ele também defende que o ambiente de seleção de uma nova tecnologia é mais amplo que usuários e mercados. Políticas e instituições também exercem um papel relevante, assim como a infraestrutura de suporte, simbolismo cultural e redes de manutenção associados a uma tecnologia. Tudo isso passa a ter grande importância dentro da PMN.

A PMN surge como uma estrutura teórica que objetiva o entendimento de mudanças nos regimes sociotécnicos, aqui também tratados como sistemas sociotécnicos, e como elas acontecem baseando-se em mudanças tecnológicas e sociais (GEELS, 2004). Ela é particularmente útil para analisar mudanças de um sistema sociotécnico para outro, mudanças dentro de um sistema sociotécnico e a co-evolução da tecnologia e da sociedade nesses processos.

A partir da abordagem sociotécnica, regimes tecnológicos tiveram seu escopo ampliado para além das questões relacionadas à tecnologia prioritariamente. Incorporando o que Geels (2004) tratou como sensibilidade sociológica, o regime passou a contemplar instituições (como regulamentos e mercados), redes heterogêneas (incluindo dispositivos e pessoas), relações de usuário e expectativas sociais. Em combinação, esses elementos formam um regime sóciotécnico que estabiliza a forma como as funções da sociedade são realizadas e dá forma a padrões particulares de produção e consumo (SMITH et al., 2010).

De acordo com Geels (2005), a PMN entende as transições como resultado de interações multidimensionais entre o ambiente de inovação (nichos), um regime incumbente (sistema sociotécnico) e uma paisagem externa. Os três níveis diferem em termos de estabilidade e tamanho. A estabilidade de um sistema sociotécnico resulta das relações entre elementos heterogêneos, que são consequência das atividades de diversos atores sociais (GEELS, 2002). Os regimes sociotécnicos existentes são caracterizados por dependência de

trajetória e *lock-in*, resultantes de mecanismos de estabilização, interesses dos atores do regime incumbente, capital organizacional, investimentos afundados e crenças instituídas.

As transições dizem respeito a mudanças no nível meso, do regime sociotécnico, que consiste em três dimensões: a) elementos materiais e técnicos, tomando como exemplo o caso dos sistemas elétricos, estes incluem recursos, infraestrutura de rede, plantas de geração, etc; b) rede de atores e grupos sociais, que no exemplo do regime da eletricidade tem como atores importantes empresas públicas, geradores, distribuidores, grandes usuários industriais, outras unidades de consumo, e organizações ambientais; e c) regras formais, normativas e cognitivas que orientam as atividades dos atores, por exemplo, regulações, sistemas de crença, princípios orientadores e normas comportamentais.

Os nichos formam o nível micro, o ambiente onde as novidades emergem. Pequenos nichos de mercado ou nichos tecnológicos atuam como locais de incubação, protegendo novas tecnologias da competição do mercado convencional. Essa proteção é necessária, pois as novas tecnologias têm inicialmente baixa relação preço/desempenho, não conseguem competir com tecnologias instituídas no regime incumbente. A proteção a esses nichos vem da atuação do setor público e de pequenas redes de atores que estão dispostos a investir no desenvolvimento de novas tecnologias muitas vezes por sua conta e risco.

O nível macro é a paisagem sociotécnica, que forma um ambiente exógeno que geralmente muda lentamente e influencia nichos e as dinâmicas de regime. A relação entre os três níveis é dinâmica (GEELS, 2005).

A PMN engloba a análise intra e interníveis. Cada nível é concebido com uma configuração sociotécnica heterogênea. Nichos provêm o local para a geração de inovações, onde inovadores e empreendedores atuam em prol de uma determinada tecnologia, mas a seleção e difusão dessas inovações dependem dos alinhamentos com o regime e com a paisagem. A segmentação nos três níveis objetiva promover o olhar em diferentes esferas de estruturação e coordenação que levam a práticas e mudanças. Os regimes sociotécnicos são mais estáveis, onde artefatos, regulações, mercados e infraestrutura já são robustos e alinhados a uma dada tecnologia. A paisagem se caracteriza por diversos fatores conjunturais, como pressões econômicas; políticas; socioambientais; tendências e valores socioculturais, que acabam também interferindo no desenvolver de uma dada tecnologia (GRIN et al., 2010).

A Figura 6 ilustra os três níveis utilizados na PMN. No primeiro nível, nos nichos (niches), novas tecnologias se desenvolvem e são protegidas, seja por redes de empreendedores interessados em desenvolvê-la ou pelo próprio governo. No segundo nível, traduzido aqui de miscelânea de regimes (patchwork of regimes), sistemas sociotécnicos com seus elementos já instuídos e operando contemplam tecnologias já difundidas na sociedade e podem incorporar ou não novas tecnologias. A ideia é que as tecnologias que se encontram nos nichos consigam ganhar espaço nos regimes. O terceiro nível é aqui chamado de paisagem (landscape) e ele exerce pressão nos dois outros níveis. Todos os três níveis interagem podendo promover mudanças nos sistemas sociotécnicos.

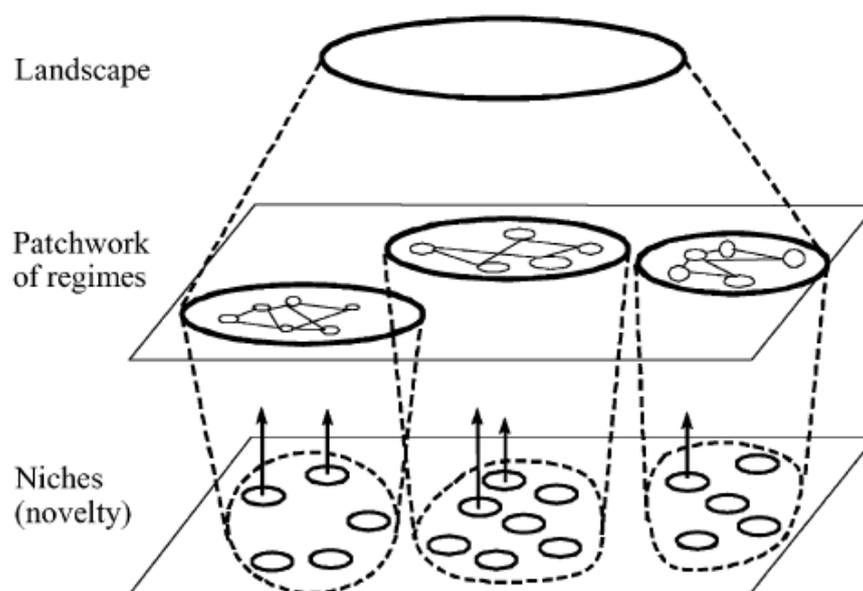


Figura 6: Níveis da perspectiva multinível
Fonte: GEELS (2002)

A PMN enfatiza a importância dos desalinhamentos e processos de interação e as consequentes tensões promovidas, que acabam gerando as chamadas janelas de oportunidades para transições ocorrerem. Quando janelas de oportunidade se abrem, por conta de pressões diversas entre esses níveis, uma tecnologia concentrada em um nicho pode começar a conquistar espaço no regime. Os três níveis que compõem a PMN permitem entender como sistemas de inovação funcionam e mudam. Enquanto regimes estão estáveis e alinhados, inovações possuem menores chances de se desenvolverem e ficam restritas a determinados nichos. Se tensões na paisagem e no regime começam a ocorrer, podem ser criadas janelas de oportunidade para que inovações ganhem mercados de massa (GEELS, 2005).

O ponto-chave da PMN é que as inovações no sistema ocorrem através da interação entre os três níveis. Na primeira fase, inovações radicais emergem em nichos, muitas vezes fora ou à margem do regime existente. Não há regras estáveis e os atores improvisam e se envolvem em experimentos para descobrir o melhor design e descobrir o que os usuários querem. As redes que carregam e apoiam a inovação são pequenas e precárias. As inovações não constituem ainda uma ameaça para o regime existente. Na segunda fase, a nova inovação é utilizada em pequenos nichos de mercado, que fornecem recursos para desenvolvimento técnico e especialização. A nova tecnologia desenvolve uma trajetória técnica própria e as regras começam a se estabilizar. Mas a inovação ainda não constitui uma grande ameaça para o regime, porque é utilizada em mercado especializado, em nichos de mercado. Novas tecnologias podem permanecer presas nesses nichos por décadas, quando enfrentam uma incompatibilidade com o regime e com a paisagem existentes. A terceira fase caracteriza-se por um avanço mais amplo da nova tecnologia e competição com o regime estabelecido. A PMN enfatiza que tanto a dinâmica de nicho quanto o regime e a evolução da paisagem são importantes para um avanço e difusão de uma nova tecnologia. Na PMN não existe uma causa simples ou única para que transições ocorram. Para isso, a dinâmica nos diferentes níveis deve se unir e reforçar-se mutuamente (GEELS e KEMP, 2007).

Geels (2004, p. 915) afirma que quando há tensões, uma inovação pode conseguir entrar em mercados já instituídos, podendo entrar em competição com um sistema existente e, eventualmente, substituí-lo. Se isso acontecer, virá acompanhado de outras mudanças, sejam elas infraestruturais, políticas, associadas a práticas de uso, formando assim um novo regime sociotécnico. O contrário também pode ocorrer, ocorrendo mudanças primeiramente nos elementos de um sistema sociotécnico para que em seguida uma nova tecnologia, antes concentrada no nicho, se estabeleça. No entanto, é importante salientar que não existe um caminho único que implique em mudanças. Os movimentos são dinâmicos e diversos. A Figura 7 demonstra a dinamicidade da PMN, ressaltando a diversidade de interações que ocorrem de acordo com esta perspectiva.

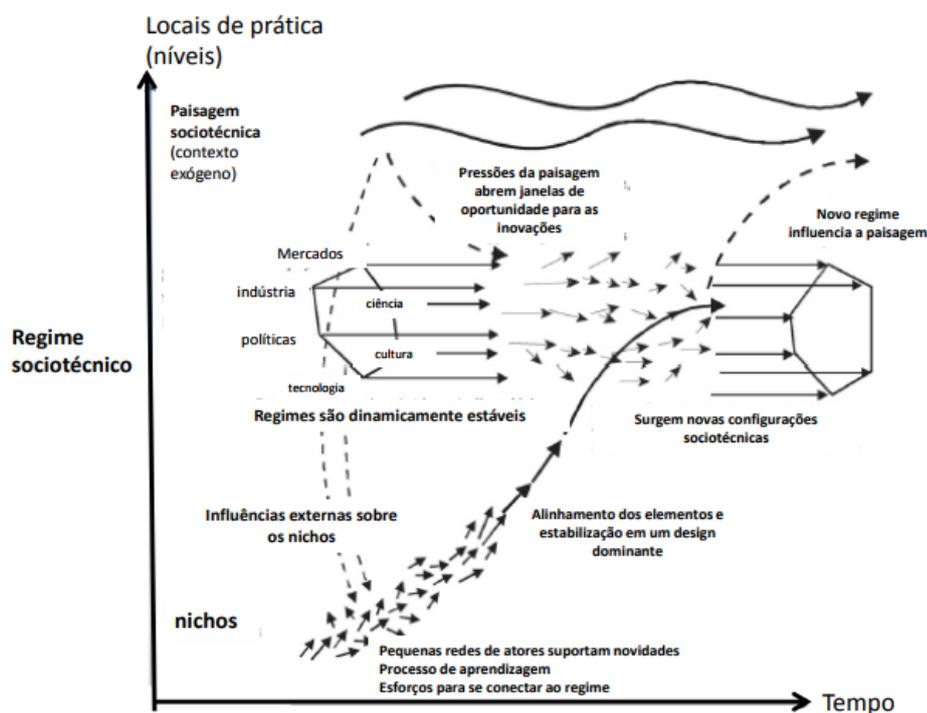


Figura 7: Dinâmicas da perspectiva multinível
 Fonte: Oroski, 2013 (Adaptado de GEELS, 2002)

Geels (2002) defende que a PMN tem relevância social, pois atualmente a sociedade lida com inúmeros desafios que requerem grandes mudanças. Sua abordagem tem sido refinada por meio de inúmeros estudos de caso, históricos e contemporâneos, sobre variados temas, tais como energias renováveis, transporte, sistemas de esgoto, abastecimento de água, suinocultura, horticultura e indústria carvoeira (GEELS, 2002; GEELS, 2004; GEELS, 2005a; GEELS 2005b; GEELS, 2006a; GEELS, 2006b; GEELS & SCHOT, 2007b; GEELS & KEMP, 2007; GEELS, 2010; RAVEN & GEELS, 2010; GEELS, 2012). De acordo com o autor:

Modern societies face several structural problems. Examples of these problems can be found in many sectors. The transport sector suffers from problems such as congestion, CO₂ emissions, air-pollution (small particules: NO_x). The energy sector suffers from problems such as CO₂ and NO_x emissions and reliability issues (oil). The agricultural and food sectors suffer from problems such as infectious disease (e.g. BSE, chicken plague, foot and mouth), too much manure, too much subsidies. These problems are deeply rooted in societal structures and activities. In order to solve such deep societal problems changes from one system to another may be necessary. And understanding of the dynamics of transitions may assist policy makers to help bring about these changes (GEELS, 2004, p. 916).

Ainda sobre a efetividade e utilidade da PMN, Geels (2004, p. 916) afirma que “*The proof of the pudding is in the eating, i.e. use the perspective for empirical analyses of dynamics of socio-technical systems*”. Diante disso, ele cita alguns exemplos onde a teoria

da PMN foi utilizada. Belz (2004) utilizou a estrutura da PMN para estudar a transição que ocorreu na Suíça (1970-2000) da agricultura industrial para agricultura orgânica. Raven e Verbong (2004) a utilizaram para analisar a falha no desenvolvimento de bombas de calor na Holanda, que segundo os autores, não foi bem-sucedido por conta de desencontros entre os regimes de eletricidade e de agricultura. Recentemente, Lonnqvist (2017) utiliza a PMN para entender a transição em curso para o uso do biogás na Suécia (biometano como combustível veicular) e afirma que o governo sueco apoiou tecnologias de energia renovável, como o biogás, no nível de nicho durante um longo período para permitir seu desenvolvimento e entrada no regime incumbente, que apenas recentemente começou a ocorrer. Diante dos exemplos acima, Geels (2004) defende que apesar da complexidade da PMN, os estudos que a aplicaram para análise demonstram sua utilidade empírica.

Outra questão referente à PMN se refere ao fato dela englobar inúmeros aspectos da sociedade e, de acordo com Belz (2004), ser interdisciplinar. O autor enfatiza que

single disciplines tend to focus on one aspect and explain the transition from that point of view. Using the multilevel perspective, it becomes clear that system innovations cannot be pushed by a single actor or triggered by a single event. (BELZ, 2004, p. 110).

Isso respalda a dinamicidade da PMN e a importância dos três níveis para entendimento de processos de transição sociotécnica. De acordo com Geels (2002), o ponto importante da PMN é que o sucesso de uma nova tecnologia não é apenas governado por processos dentro do nicho, mas também por mudanças ao nível do regime existente e da paisagem. É o alinhamento dos desenvolvimentos entre os três níveis, que determina se ocorrerão mudanças no regime sociotécnico. Geels e Schot (2007) defendem que os regimes sociotécnicos constituem o modo principal e altamente institucionalizado de se desempenhar funções sociais e muitas vezes as mudanças dentro do regime tendem a ser incrementais.

Em suma, a PMN objetiva entender uma transição analisando as condições nos três diferentes níveis (paisagem, regime e nicho sociotécnico) assim como suas interações. No entanto, dependendo de como os três níveis interagem uma transição poderá apresentar diferentes trajetórias, havendo assim tipologias diversas de transição. A PMN pode apoiar no entendimento da tipologia de transição e as barreiras que esse processo pode encontrar. O entendimento do processo de transição e as barreiras podem prover informações úteis para que formuladores de políticas públicas aprimorem seus instrumentos em prol do desenvolvimento de uma determinada trajetória ou a redirecionem, caso julguem necessário.

Nos três sub-tópicos a seguir serão explorados em um pouco mais de detalhes os três níveis da PMN e no seguinte serão apresentadas as diferentes tipologias de transição sociotécnica.

2.4.1 Nicho sociotécnico

Nichos formam o nível micro onde inovações radicais acontecem. Essas inovações são inicialmente configurações sociotécnicas instáveis com baixa performance e por conta disso os nichos são relevantes para o processo de amadurecimento das mesmas (GEELS, 2007). De acordo com Geels (2004), nichos são os locais onde ocorrem os processos de aprendizagem, onde atores envolvidos em processos de inovação podem desviar de regras e entraves do regime e ter espaço para experimentar. Nos nichos muitas vezes também há sistemas de proteção, que fazem ser possível tecnologias se desenvolverem em mercados criados para isso. Neles as regras geralmente são mais flexíveis, mas Geels (2005) enfatiza que essa flexibilidade é maior em questões tecnológicas, do que em questões relacionadas a comportamento e preferências.

Nichos se caracterizam por serem espaços protegidos, ou seja, mercados específicos nos quais as inovações radicais podem se desenvolver sem estarem sujeitas à pressão do regime (KEMP et al., 1998). Através de processos de aprendizagem social, experiências múltiplas e articulando redes heterogêneas, inovações de nicho ganham impulso e podem eventualmente competir com tecnologias estabelecidas (Geels e Raven, 2006). De acordo com Sovacool e Hess (2017, p. 709) *‘the niche refers to a radical innovation that is emerging to gain diffusion or adoption, to move from invention and innovation to viable market introduction’*.

Estudiosos da sociologia da tecnologia e da economia evolucionária têm destacado a importância dos nichos como ambiente onde ocorrem inovações radicais em torno das quais novos sistemas podem se desenvolver. Os nichos atuam como salas de incubação para novidades radicais, protegendo-os do mercado, onde ainda não teriam condições de competir. Nichos sociotécnicos podem ter a forma de pequenos nichos de mercado, onde os critérios de seleção são diferentes do regime existente, ou podem ter a forma de nichos tecnológicos, onde os recursos são fornecidos por subsídios públicos ou estratégias privadas de investimento, quando se configura como algo estratégico e relevante para o desenvolver de uma sociedade. Nichos fornecem espaço para processos de aprendizagem e acumulação

de redes sociais que apoiam a nova inovação e permitem espaço para investir no seu amadurecimento (GEELS & KEMP, 2007).

Geels (2002, p. 1261) cita como exemplo de nicho as forças armadas americanas, “*an example is the Army, which has stimulated many radical innovations in their early phases (e.g. digital computer, jet engines, radar)*”, permitindo que diversas tecnologias se difundissem na sociedade. Os nichos permitem a construção de interações sociais importantes para o desenvolvimento de novas tecnologias e segundo alguns autores, eles provêm sementes de mudanças.

Geels & Schot (2007, p. 402) fazem uma comparação entre os nichos e os regimes e afirmam que,

in the MLP, technological niches and sociotechnical regimes are similar kinds of structures, although different in size and stability. Both niches and regimes have the character of organisational fields (community of interacting groups). For regimes, these communities are large and stable, while for niches they are small and unstable. Both niche and regime communities share certain rules that coordinate action. For regimes these rules are stable and well articulated; for niche-innovations, they are unstable and ‘in the making’.

Na PMN as transições são crucialmente dependentes de atividades dentro de nichos. Eles fornecem "espaços protetores" para alternativas radicais e inovadoras cujo desempenho pode não ser competitivo em relação ao ambiente do regime (RIP, 1992, pág. 91, KEMP et al., 1998). A proteção no nicho pode ser obtida através de mercados pilotos, projetos subsidiados para demonstração e incentivos para pesquisa. Os nichos que fornecem sementes para processos de transições geralmente necessitam superar a influência restritiva de regimes, e conseguem promover mudanças nas estruturas do regime no longo prazo. Os atores do nicho precisam realizar um trabalho cognitivo, institucional, econômico e político considerável. Eles devem ser persuasivos para uma variedade de atores não só no próprio nicho, mas também dentro do regime (SMITH, 2007). O sucesso do nicho, em última instância, se baseia em círculos mais amplos de atores poderosos envolvidos, muitas vezes até pertencentes ao regime, de forma que construam, com o passar do tempo, uma ampla legitimidade social (SCHOT, 1998). Exemplos podem ser dados em relação às energias alternativas. A energia eólica, por exemplo, antes restrita a um nicho sociotécnico, ganhou espaço no regime energético e inclusive atores do regime passaram a incorporá-la em seus modelos de negócios. Segundo Schot (1998) e Smith (1997), as expectativas que motivam os pioneiros de um nicho geralmente se alinham com as expectativas que passam a ganhar espaço no regime (SCHOT, 1998; SMITH, 2007).

2.4.2 Regime sociotécnico

Um conceito central da pesquisa de transições é o regime sóciotécnico ("regime tecnológico" em trabalhos anteriores). Ele combina ideias e conceitos-chave da economia evolutiva (NELSON & WINTER, 1977) com insights da história e sociologia da tecnologia (BIJKER, 1987; HUGHES, 1987), destacando que o conhecimento científico, as práticas de engenharia e as tecnologias são incorporadas socialmente, ou seja, precisam se relacionar com usuários, estruturas institucionais e infraestruturas mais amplas (KEMP et al., 1998). A ideia central do regime é que ele impõe uma lógica e direção para desenvolvimentos sociotécnicos incrementais, mudanças ao longo de caminhos estabelecidos de desenvolvimento. O grande desafio das transições se refere a como reorientar deliberadamente regimes (KEMP, 1994; KEMP et al., 1998; SCHOT, 1992; SCHOT et al., 1994).

O conceito de regime sociotécnico foi construído baseado no conceito de regime tecnológico de Nelson e Winter (1982), que se fundamentava exclusivamente nas rotinas cognitivas compartilhadas por uma comunidade de colaboradores que levavam ao estabelecimento de trajetórias de desenvolvimento tecnológico. Rip e Kemp (1998) ampliou a definição de regime tecnológico, incorporando a infraestrutura e as instituições à que uma tecnologia está submetida. Segundo eles, trajetórias tecnológicas não são apenas influenciadas por engenheiros, mas também pelos usuários, implementadores de políticas, grupos sociais, fornecedores, cientistas, bancos e outros atores sociais.

As configurações sociotécnicas em regimes são estabelecidas como a maneira estável e dominante de realizar uma determinada função social. Os regimes sociotécnicos são estruturas constituídas a partir de uma acumulação co-evolutiva e alinhamentos de conhecimento, investimentos, objetos, infraestruturas, valores e normas relacionados a uma dada função social e tecnologias a ela associadas, também denominados de elementos de um sistema sociotécnico. Essas configurações heterogêneas são os meios predominantes para a realização de funções sociais fundamentais. As interdependências institucionais e materiais que constituem um regime implicam que os realinhamentos tendem a ser dependentes da trajetória e incrementais. Esta estrutura dinâmica e complexa precisa ser desestabilizada para que transições ocorram.

As dinâmicas dentro do regime derivam de desenvolvimentos parcialmente autônomos nos seus componentes. Um exemplo do que pode causar desestabilização são

regulações ou legislações governamentais, que podem gerar desalinhamentos e realinhamentos. O dinamismo também pode ocorrer em resposta a mudanças na paisagem, ou mesmo através da interação com regimes associados. Raven e Verbong (2007, p.2197), por exemplo, afirmam que os regimes de eletricidade e resíduos na Holanda, antes dois regimes completamente desconexos, por conta do biogás, passaram a ter uma relação simbiótica e serem muito conectados a partir do estabelecimento de um processo de co-evolução e multinível.

Baseando-se na teoria neo-institucional, Geels (2005) afirma que os regimes contam com três tipos de regras: cognitivas, regulativas e normativas. As cognitivas se referem aos sistemas de crença e princípios norteadores associados a uma tecnologia. O segundo tipo de regras, as regulativas, se referem às regulações, padrões e legislações. Já as regras normativas se referem a regras de conduta, como normas de comportamento, valores e crenças. Geels (2005) afirma que os regimes sociotécnicos são providos de estabilidade e neles as regras são mais estáveis que nos nichos (GEELS, 2004). De acordo com Geels (2007, p. 400),

sociotechnical regimes stabilize existing trajectories in many ways: cognitive routines that blind engineers to developments outside their focus (NELSON & WINTER, 1982), regulations and standards (UNRUH, 2000), adaptation of lifestyles to technical systems, sunk investments in machines, infrastructures and competencies.

Essas regras fazem engenheiros e designers olharem em direções particulares; consumidores adaptarem seus estilos e hábitos às tecnologias existentes; e instituições, regulamentos e infraestruturas se moldarem a um determinado sistema sociotécnico. O alinhamento entre esses elementos heterogêneos leva ao que Geels e Kemp (2007) denominaram *momentum* tecnológico, onde uma tecnologia se torna dominante e difícil de ser alterada, representando um exemplo de dependência de trajetória.

2.4.3 Paisagem sociotécnica

O termo aqui utilizado para traduzir a palavra original “*landscape*” é “paisagem” e talvez ele não traduza tão bem o mesmo, mas segundo Geels (2004, p. 913)

the metaphor ‘landscape’ is used because of the literal connotation of relative ‘hardness’ and to include the material aspect of society, e.g. the material and spatial arrangements of cities, factories, highways, and electricity infrastructures. Sociotechnical landscapes provide even stronger structuration of activities than regimes.

Segundo Geels (2002), a paisagem sociotécnica contém diversos fatores heterogêneos, desde o preço do petróleo, crescimento econômico, valores, normas culturais e problemas socioambientais. De acordo com o autor, a paisagem é uma estrutura externa onde os atores interagem. Sovacool e Hess (2017, p. 109) afirmam que,

the 'landscape' refers to exogenous developments or shocks (e.g. economic crises, demographic changes, wars, ideological change, major environmental disruption like climate change) that create pressures on the regime, which in turn create windows of opportunity for the diffusion of niche-innovations.

Ela é ainda mais difícil de mudar do que o regime, mas quando mudanças ocorrem na paisagem, elas acabam pressionando alterações nos regimes sociotécnicos. Mudanças na paisagem levam geralmente décadas, mas quando ocorrem podem criar as janelas de oportunidade para novas tecnologias, estabelecidas nos nichos, ganharem espaço e mercado no regime. A paisagem é considerada o nível macro e se refere a aspectos que estão além da influência direta dos atores de um determinado regime.

A paisagem sociotécnica fornece um contexto altamente estrutural tanto para o regime como para os nichos. A paisagem inclui processos que abrangem funções sociais e se desdobram de forma independente de regimes sociotécnicos específicos. Os processos de paisagem incluem mudanças ambientais e demográficas, novos movimentos sociais, mudanças na ideologia política geral, ampla reestruturação econômica, paradigmas científicos emergentes e desenvolvimentos culturais. As paisagens fornecem um pano de fundo influente com ramificações em uma variedade de regimes e nichos. Elas fornecem diretrizes de acordo com as necessidades da sociedade (GEELS & SCHOT, 2007). As mudanças de paisagem são uma fonte de pressões para a mudança no nível do regime, elas induzem a reestruturações dentro do regime, gerando assim oportunidades para os nichos.

No entanto é importante frisar, que muitas vezes as paisagens podem trabalhar para reforçar as trajetórias de um regime incumbente. No entanto, podem também ser alteradas e colocar alguns regimes sob enorme estresse, impactando negativamente seu desempenho e podendo tornar tecnologias que residem em nichos em opções viáveis. Uma questão atual é que os regimes têm sido cada vez mais confrontados com novos critérios de sustentabilidade nunca antes considerados. A consciência ambiental crescente é um desenvolvimento sociocultural que pode ser considerado como um processo de alteração de paisagem e que vem questionando o desempenho de múltiplos regimes, gerando assim oportunidades para diversos nichos (SMITH et al., 2010). Geralmente as mudanças na paisagem levam décadas

para ocorrer, mas podem ocorrer de forma abrupta, como, por exemplo, os choques do Petróleo na década de 70²³ e a diminuição do preço do petróleo em 2014.

2.5 Tipologias de transições sociotécnicas

Como mencionado no item anterior, uma transição pode seguir diferentes padrões, dependendo da interação entre os três níveis (GEELS & SCHOT, 2007) e da necessidade de mudança nos elementos de um sistema sociotécnico (regime sociotécnico). Não necessariamente regimes incumbentes são integralmente destituídos, podendo apenas incorporar novas tecnologias e se adaptar neste processo. Para exemplificar a possibilidade de ocorrência de diferentes alternativas de transições, há diferentes tipologias que analisam essas trajetórias.

Sovacool e Hess (2017) resumem quatro trajetórias de transição. A primeira denominada de substituição tecnológica, baseada em inovações disruptivas localizadas em nicho que estão suficientemente desenvolvidas quando pressões na paisagem ocorrem. A segunda é denominada transformação, quando pressões na paisagem estimulam atores do regime incumbente a gradualmente adaptarem o regime, quando a inovação localizada no nicho ainda não é suficientemente desenvolvida. A reconfiguração é a terceira trajetória que se baseia em inovações no nicho que vão sendo incorporadas no regime sem precisar alterá-lo ou destituí-lo. Um aspecto dessa trajetória é que ocorrem mais mudanças quando há pressões na paisagem. A quarta trajetória se refere ao desalinhamento e realinhamento, quando pressões feitas pela paisagem desestabilizam o regime, mas as inovações localizadas no nicho não estão suficientemente desenvolvidas e os regimes vão se adaptando e se reestruturando aos poucos.

Geels (2006a) também aborda a tipologia de reconfiguração, que ele chama de reconfiguração passo a passo. A visão comum das transições e mudanças em sistemas sociotécnicos é a substituição tecnológica, com uma tecnologia básica substituindo outra, seguindo de um grande ajuste social, político, cultural e mudanças infraestruturais. Esta é uma dinâmica que geralmente ocorre em setores organizados em torno de uma tecnologia dominante. No entanto, muitas vezes novos elementos são desenvolvidos em nichos e

²³ O primeiro choque do petróleo ocorreu em 1973, quando os países do Oriente Médio descobriram que o petróleo é um bem não-renovável e que, por isso, iria acabar algum dia. Os produtores então diminuíram a produção, elevando o preço do barril de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 em apenas três meses. As vendas para os EUA e a Europa também foram embargadas nessa época devido ao apoio dado Israel na Guerra do Yom Kippur (Dia do Perdão). Com isso, as cotações chegaram a um valor equivalente a US\$ 40 nos dias de hoje. (http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/petroleo_choque1.shtml)

posteriormente adotados em regimes existentes para resolver problemas específicos, sem assim alterar significativamente o regime incumbente. Esses novos elementos tecnológicos podem, subsequentemente, desencadear novas transformações no regime à medida que mais se aprende sobre eles e que ocorrerem mudanças na paisagem. Essas transformações, em seguida, criam oportunidades para a adoção de outras inovações de nicho, que podem criar novas combinações com outros elementos. A dinâmica da reconfiguração passo a passo não é a de um novo elemento que atravessa e muda o sistema por completo, mas de muitas pequenas mudanças acumuladas ao longo do tempo.

Berkers e Geels (2011) também abordam e conceituam a tipologia chamada de reconfiguração (*stepwise reconfiguration*). Segundo eles, nessa tipologia as inovações são adotadas como complementos ou como substituições de componentes do regime. Os atores do regime incumbente sobrevivem a essas transições através de interações com fornecedores e idealizadores das inovações. Neste caso, o sistema sociotécnico no nível do regime é reconfigurado lentamente através de combinações de componentes novos e antigos. Dessa forma, uma reconfiguração não substitui o regime incumbente.

Geels & Kemp (2007), ao analisar processos de mudança em sistemas sociotécnicos, apontam outras tipologias de mudança. Segundo eles, além da transição em si, há mais duas tipologias: a reprodução e a transformação. Reprodução se refere a mudanças incrementais em trajetórias existentes. O sistema sociotécnico continua o mesmo, apresentando apenas adaptações para incorporar uma nova tecnologia, que poderia ser considerado parecido com o processo de reconfiguração apresentado acima. Transformação se refere a mudanças de direção das trajetórias, mudanças nas regras que regem um determinado sistema, sem mudar o sistema em si. Já as transições se referem ao processo de mudança mais completo, que estabelece uma nova trajetória e um novo sistema sociotécnico.

No caso da tipologia da reprodução, há apenas dinâmicas no nível do regime, não no nível da paisagem nem no nicho. A orientação de atores dominantes, tecnologia chave e base de conhecimento não mudam fundamentalmente, apenas se adaptam. Há apenas mudança incremental e cumulativa ao longo de trajetórias. Em resumo, a trajetória permanece a mesma, ocorrendo apenas inovações incrementais.

Na tipologia da transformação já ocorrem dinâmicas de interação no nível do regime e da paisagem. O mecanismo básico é que as mudanças no nível da paisagem criam pressão sobre o regime, levando à reorientação da direção das atividades inovadoras. Isso ocorre através de uma mudança nas regras do regime que influenciam ações dos atores. É

importante ressaltar que as mudanças não ocorrem de forma mecânica, mas através de negociações, lutas de poder e atuação de atores interessados no processo de mudança. Geralmente, são pressões externas, pública e regulatória, ou a entrada de novos atores que ajudam a promover as mudanças. Um exemplo são pressões externas que podem expor externalidades negativas das tecnologias existentes, por exemplo, e exigir respostas de atores do regime sociotécnico. Geralmente, no processo de transformação, são os próprios atores do regime em exercício que redirecionam a trajetória do sistema existente.

A transição, como já abordado no texto, em seu sentido mais completo, significa uma mudança de um sistema sociotécnico para outro. Não se trata da reorientação de uma trajetória existente, mas sobre uma mudança para uma nova trajetória. Um exemplo de transição pode ser, por exemplo, a mudança de um sistema de transporte baseado em carruagens puxadas por cavalos para um sistema de transporte baseado em automóveis. Esta transição envolveu mudanças drásticas em todos os elementos do sistema sociotécnico (por exemplo, tecnologias, conhecimento, infraestrutura, regulamentos, práticas de uso, preferências culturais, entre outros) e não apenas adaptações.

Em resumo, as tipologias de trajetórias de mudança aqui apresentadas dependem de interações intra ou entre os níveis da PMN e entre diferentes grupos sociais; e demonstram que processos de mudança, a partir da incorporação de novas tecnologias, podem ocorrer de diferentes formas. Nos processos de reconfiguração e reprodução, o sistema é alterado, mas mantém sua estrutura básica. O sistema é dinamicamente estável, o que implica que a inovação é principalmente incremental ao longo da trajetória vigente. As dinâmicas ocorrem principalmente no nível do regime e são conduzidas por atores que também fazem parte do regime e reproduzem as regras existentes. Nos processos de transformação, as trajetórias de desenvolvimento mudam de direção através de alterações nas regras de regime. As interações entre a paisagem e o regime são importantes, bem como outras pressões externas. No final das contas, a transformação é feita por atores do próprio regime. Já nos processos de transição ocorre uma mudança para um novo sistema sóciotécnico e se institui uma nova trajetória de desenvolvimento. As transições ocorrem através de interações entre os três níveis da PMN, e as mudanças vem de atores externos que se desenvolvem nos nichos sociotécnicos. No caso das transições, os atores do regime incumbente podem desaparecer, dando lugar a novos grupos sociais e redes.

2.6 Considerações e críticas sobre a perspectiva multinível

Parte do próprio Geels (2002) apontar algumas necessidades de aprimoramento da PMN. O autor menciona que é uma perspectiva complexa que requer muita informação e dados qualitativos para permitir a análise. Além disso, ele menciona que pelo fato de sistemas sociotécnicos serem difíceis de limitar, se torna difícil delimitar de forma objetiva e estática os níveis da PMN. Berkhout et al (2004, p. 54) também criticam a PMN afirmando que há dificuldade em compreender como os seus níveis conceituais podem ser aplicados empiricamente. Outros autores apontam críticas relativas a pouca ênfase dada por ela à questão da agência, visto que os atores são protagonistas de todos os processos de mudança. Segundo Shove e Walker (2010) a PMN é muito focada em estrutura e não dá a devida atenção a elementos como a agência e necessidades humanas. Smith et al (2005, p. 1492) afirmam que, apesar da amplitude do conceito de regime, existe uma tendência para tratar a transformação do regime como um processo monolítico, dominado por ações racionais e negligenciando importantes diferenças de contexto.

Outro ponto apresentado se refere ao fato das pesquisas relacionadas à PMN colocarem muita ênfase nos nichos sociotécnicos em detrimento dos outros níveis (BERKHOUT et al., 2004). Essa questão é abordada por Geels (2004), que confirma que o regime e a paisagem necessitam de mais estudos que os explorem. Sovacool e Hess (2017) mencionam que frequentemente o nível da paisagem é usado para se referenciar a tudo que não se encaixa nem no nicho nem no regime.

Coenen et al. (2012) argumentam que a abordagem dos sistemas de inovação tecnológica e a perspectiva de vários níveis como a PMN não possuem sensibilidade territorial na análise de transições tecnológicas e introduzem uma perspectiva que denominam de "geografia de transições" para explicar a necessidade de uma análise mais explícita e sistemática dos contextos espaciais e institucionais dos processos de transição. Segundo eles, a PMN, por exemplo, tende a sofrer com o fato de que as diferenças espaciais no regime e nos níveis de paisagem não são levadas em consideração nas análises. Em vez disso, os níveis conceituais e territoriais são muitas vezes confundidos, no sentido de que o nicho passa a representar a escala local, o regime a escala nacional e a paisagem a escala global, erroneamente.

Jørgensen (2012) afirma que a PMN tem sido usada como uma estrutura para descrever e analisar um número substancial de transições históricas e que um elemento-chave desta estrutura é que ele organiza processos sociotécnicos de forma hierárquica.

Jørgensen sugere uma abordagem plana para estudar transições de sustentabilidade inspirando-se na teoria do ator-rede. Sua abordagem traz o conceito de arena de desenvolvimento e é construída em torno da noção desses espaços, onde as atividades sociais e materiais estão localizados. Segundo ele, as arenas são construções temporárias e seus limites podem se expandir ou diminuir, dependendo das performances dos atores. Os atores não se restringem a uma única arena, e as arenas podem se sobrepor, ser acopladas e vivenciar conflitos, levando a tensões sociais e a processos de reconfiguração. O objetivo do autor com sua crítica a PMN é desenvolver um quadro alternativo para estudar processos de transição.

Outra questão levantada por Berkhout et al. (2004) se refere ao fato de que, ao contrário do que é muitas vezes apresentado em análises que utilizam a PMN, as inovações não surgem apenas a partir dos nichos, podendo também, segundo os autores, ter origem nos regimes existentes. Segundo Oroski (2013), a partir de análises de Berkhout et al. (2004), ocorrem dinâmicas relevantes nos regimes sociotécnicos e o que a princípio poderia ser visto simplesmente como o surgimento de um novo regime, é, na verdade, a transformação de um regime sociotécnico existente, dado, por exemplo, por uma ampliação do regime atual com a incorporação de novos padrões, produtos e tecnologias. Para finalizar, Smith et al. (2006) afirmam que a PMN é também bastante criticada por ser, apesar de incorporar a abordagem mais holística de sistemas sociotécnicos, muito orientada por questões tecnológicas.

Como qualquer abordagem, há sempre a necessidade de aprimoramentos e ajustes, no entanto, a PMN, por ainda ser pouco explorada no Brasil e principalmente no que tange ao biogás, se coloca como um referencial esquemático dinâmico para melhor compreender como o uso da fonte vem evoluindo no País.

2.7 Co-evolução de regimes sociotécnicos: interações multi-regimes para difusão de novas tecnologias

Uma questão interessante apontada anteriormente no marco teórico, especificamente para o caso holandês de difusão do uso de bombas de calor, se refere ao fato de que transições podem ser facilitadas por interações e movimentos em diferentes regimes. A análise da co-evolução²⁴ de sistemas sociotécnicos (regimes sociotécnicos) é um assunto

²⁴I use co-evolution to refer to the simultaneous development of two or more distinct industrial populations that interact so closely that variation and selection processes in both populations interact. The 'system' concept also stems from innovation studies and is used with a variety of meanings. In general, the concept is used in a

ainda pouco explorado no meio acadêmico e é um tópico relevante para a difusão da produção e uso do biogás, que se relaciona com diferentes setores da sociedade, como já defendido neste trabalho. Diante disso, este tópico trará uma breve abordagem sobre o tema baseando-se no trabalho de Raven (2007), que analisa a evolução de dois regimes na Holanda, que não se relacionavam em nenhum aspecto e passaram a se relacionar e gerar benefícios mútuos a partir da difusão da bioenergia. Raven denominou esse processo de interação multi-regimes.

Raven (2007) avalia a relação entre os regimes de eletricidade e de resíduos na Holanda, que antes era totalmente desconexa e se transformou em um relacionamento simbiótico e integrado por conta de um elemento chave: a biomassa. A ideia é demonstrar a relevância da co-evolução de diferentes regimes, não apenas o energético, que é o enfoque deste trabalho, para o desenvolvimento de tecnologias como a do biogás.

O autor afirma que data da década de 1970 o início de transformações nos setores de resíduos e de eletricidade nos países europeus, que anteriormente eram altamente independentes. Atualmente, em muitos países da Europa e especificamente na Holanda, as empresas de gerenciamento de resíduos tornaram-se importantes players no setor energético, principalmente na geração de eletricidade e calor. O autor defende que foi a partir do estabelecimento do mercado de bioenergia no país, que as mudanças começaram a ocorrer e o relacionamento entre os dois setores se intensificou e consolidou e, de acordo com ele, os setores de resíduos e eletricidade passaram a atuar em mercados similares (RAVEN, 2007, p. 2197).

Um movimento relevante para promover a sinergia entre os dois sistemas sociotécnicos foi a mudança na gestão de resíduos no país. Na década de 80, a alternativa predominante era o encaminhamento dos resíduos para aterros sanitários que passou a ser desestimulada. Com isso, soluções como reciclagem e reutilização dos resíduos passaram a ganhar mais espaço, assim como a utilização de resíduos para geração de energia, com iniciativas de incineração e a geração de biogás.

Raven (2007), utilizando o exemplo da Holanda, objetivava demonstrar a existência de mais de um mecanismo que pode promover a mudança em regimes sociotécnicos e, para isso, ele propôs quatro tipologias de interação possíveis de ocorrer entre regimes que

acabam levando a mudanças: competição entre regimes, simbiose entre regimes, integração de regimes e “spillover” entre regimes. A Tabela 2 sintetiza cada uma delas.

Tabela 2: Explicação sobre tipologias de interação multi-regimes propostas por Raven (2007)

Tipologias de interação multi-regimes propostas por Raven (2007):
Competição entre regimes
Ocorre quando regimes começam a cumprir funções semelhantes. Um exemplo é a competição que ocorre ao longo do século XX na Holanda entre o regime de eletricidade e gás natural para fornecimento de tecnologia para o cozimento de alimentos. O setor de gás natural acabou vencendo a competição.
Simbiose entre regimes
Ocorre quando dois regimes colhem benefícios mútuos da existência um do outro. Um exemplo é a relação entre os regimes de eletricidade e de gás natural. O regime de eletricidade se beneficia do regime de gás natural por ter a possibilidade de abastecimento de combustível constante, enquanto o regime de gás natural se beneficia por poder acessar um grande mercado (eletricidade).
Integração de regimes
Ocorre quando previamente separados os regimes tornam-se um (em parte ou completamente). Um exemplo é a integração técnica quando uma planta de processamento de resíduos se conecta com uma planta de geração de energia.
Spillover entre regimes
O derramamento entre regimes é um tipo diferente de interação e refere-se à transferência de experiências de um regime para outro. Por exemplo, quando a estrutura organizacional de um regime é bem sucedida, indústrias, decisores políticos ou outros atores podem tentar copiar a estrutura para outro regime. Um exemplo bem conhecido foi a liberalização do mercado de telecomunicações, que serviu de exemplo para a liberalização dos mercados da energia na Europa.

Fonte: Elaboração própria a partir de Raven (2007)

A partir da apresentação das tipologias, Raven (2007) defende que os regimes de eletricidade e resíduos acabaram se tornando simbióticos e parcialmente integrados, gerando benefícios para os dois sistemas sociotécnicos. A mudança foi iniciada no regime de resíduos, em 1979, quando um político holandês desenvolveu uma lista de prioridades sobre os variados métodos de gestão de resíduos que foi denominado de “*Lansink’s Ladder*” e colocava no topo da lista a prevenção da geração de resíduos, seguida da reutilização/reciclagem, incineração e, por último, o envio dos resíduos para aterros sanitários. Em 1981 foi instituída uma política oficial de gestão de resíduos baseada integralmente na lista de Lansink. A partir deste momento os resíduos passaram a ser vistos como recursos. Outra questão apresentada como crucial para a integração entre os regimes e o desenvolvimento do biogás no país, foi quando o setor energético associou aos resíduos orgânicos a classificação de biomassa e a partir daí o mercado de bioenergia se consolidou (RAVEN, 2007, p. 2202).

Um fato que é defendido por Raven (2007) como um ponto muito relevante para o desenvolvimento do biogás no país se refere à estipulação da coleta seletiva e a proibição de envio de resíduos orgânicos para aterros sanitários (primeiramente o envio dos resíduos para os aterros se tornou muito custoso pelo fato de crescentes impostos serem cobrados para tal e em 1996 os aterros foram proibidos). De acordo com o autor,

In 1994, the government obliged municipalities to collect organic and non-organic waste from households separately. Separate collection for companies followed in 1997. In 1996, landfill of organic waste was completely prohibited, which forced waste management companies to look for other options. The laws and policies were accompanied by various instruments that gave high priority to target-group specific instruments such as stakeholder involvement, negotiated targets (covenants, for example to reduce packaging waste) and environmental care programmes for businesses (RAVEN, 2007, p. 2202).

No que se refere ao regime de eletricidade, o autor cita o Ato da Eletricidade de 1989 como um marco também importante, pois permitiu, além de outras questões importantes, que grandes demandantes de eletricidade pudessem decidir de quem comprar e que distribuidores de eletricidade passassem a poder produzir em menor escala. Além disso, a diretriz à época era a busca por eficiência energética e o governo também promoveu acesso a recursos para investimento, pesquisa e desenvolvimento em novas fontes de energia. Neste sentido, “waste incineration, biogas production from landfill sites and organic household waste, and wood combustion were means to improve environmental efficiency of electricity generation” (RAVEN, 2007, p. 2204).

Em suma, após mudanças nos dois regimes, que antes não se relacionavam em nenhum aspecto, foi instituída uma relação simbiótica entre eles, pois “*the waste regime profited from having access to an inexpensive waste processing method, while the electricity regime profited from having a relatively inexpensive supply of a “renewable” fuel source*” (RAVEN, 2007, p. 2204).

Para terminar, em linha com o que será abordado no tópico seguinte, Raven (2007) menciona o relevante papel do Estado na institucionalização do biogás como fonte de energia renovável no país. Através da isenção da cobrança de um imposto sobre a energia que havia sido introduzido em 1995 para promover a redução na demanda, fontes consideradas “verdes” (*green electricity*) foram beneficiadas. Essa isenção dada às fontes renováveis estimulou que companhias de energia passassem a investir em alternativas e a biomassa e a eólica foram as fontes mais beneficiadas. O biogás, por poder ser integrado ao sistema mais facilmente, foi uma das fontes que mais recebeu investimento à época. Outra ação governamental, que estimulou a utilização de resíduos orgânicos no país como fonte

energética, ocorreu em 2001, quando o governo obrigou companhias de eletricidade a reduzir suas emissões de GEE implementando a co-combustão de carvão com biomassa. A partir disto, Raven (2007, p. 2205) afirma que “*renewable energy generation from waste was now institutionalized in the Dutch and European electricity regimes*” e isso reforça a relevância do papel do Estado neste processo, que será abordado no item a seguir.

2.8 A importância do papel do Estado na difusão de novas tecnologias

Este item do marco teórico não se refere às abordagens que se relacionam diretamente com transições sociotécnicas, mas é um tema considerado relevante como já apontado ao longo do capítulo. O objetivo é demonstrar que o Estado tem papel importante na difusão de novas tecnologias. Dentro da PMN, por exemplo, muitas vezes o Estado suporta o desenvolvimento de novas tecnologias nos nichos sociotécnicos durante longo período de tempo, demonstrando a relevância de sua atuação.

Segundo Mazzucato (2014), em muitas regiões do mundo testemunhamos uma diminuição expressiva do papel do Estado, que foi e é justificada em termos de redução do déficit público e como forma de tornar a economia mais “dinâmica” e “inovadora”. Enquanto o mercado é aceito como força inovadora, o Estado é projetado como força paralisante, necessária apenas para o básico, porém muito grande e pesada para ser o mecanismo dinâmico (MAZZUCATO, 2014, p. 23).

Diante disso, a autora busca desfazer essa imagem, considerada por ela errônea, defendendo que o estado tem potencial de ser inovador e dinâmico, podendo desempenhar, dependendo do contexto e condições, um papel empreendedor na sociedade (MAZZUCATO, 2014). O diferencial do trabalho da autora é que ela se baseia em fatos para buscar comprovar o que defende. Ela cita como exemplo o papel ativo desempenhado pelo Estado nas incubadoras de inovação e empreendedorismo, mencionando o Vale do Silício como um dos casos, e demonstrando que o Estado foi fundamental não apenas para facilitar a economia do conhecimento, mas para efetivamente criá-la com uma visão arrojada e investimento específico. Utilizando como exemplo o caso da Apple e seus produtos, associados segundo ela de forma simplista apenas a empreendedores arrojados e não avessos a risco, a autora defende, como já mencionado em item anterior, que tais investimentos não aconteceram graças a investidores capitalistas ou “gênios de fundo de quintal”, mas graças a mão visível do Estado que fez essas inovações acontecerem (MAZZUCATO, 2014, p. 24).

É importante destacar, no entanto, o papel também fundamental do setor privado, que tem grande relevância no desenvolvimento de inovações, seja investindo, promovendo melhorias ou tornando tecnologias amigáveis para o usuário final. A própria Apple pode ser citada como exemplo. A partir das tecnologias desenvolvidas por meio de investimentos estatais, a empresa foi capaz de integrá-las e torná-las funcionais e atrativas para a sociedade,

by focusing on the origins of the technologies in the iPhone, it overlooks Apple's real achievement: integrating these technologies with one another; improving them to make them usable, reliable and portable prototypes; brokering deals with cellular carriers and record labels so iPhones could make calls and download songs and be affordable; and marketing iPhones in a way that people would be willing to buy them. All of these were risky, difficult undertakings (THE GUARDIAN, 2014).

O objetivo deste item não é vilanizar o mercado ou defender o papel do Estado colocando um em detrimento do outro, mas apenas reforçar, ao contrário do que tem sido bastante defendido atualmente, que o Estado tem papel relevante no processo de difusão de novas tecnologias, tendo que ser parceiro do setor privado e, quando necessário, mais ousado, assumindo riscos que empresas não estão dispostas muitas vezes a arcar (MAZZUCATO, 2014, p. 29). De forma objetiva a autora defende que,

o Estado não pode e não deve se curvar facilmente a grupos de interesse que se aproximam dele em busca de doações, rendas e privilégios desnecessários, como cortes de impostos. Em vez disso, deve procurar aqueles grupos de interesse com os quais possa trabalhar dinamicamente em sua busca por crescimento e evolução tecnológica (MAZZUCATO, 2014, p. 29).

A ideia não é que o Estado coloque em prática ou mantenha mecanismos e instrumentos de eficiência não comprovada ou mantidos por pressão política. O que precisa ser entendido é que o governo precisa buscar papel relevante por meio de formas mais eficientes de atuação como, por exemplo, por meio de contratos públicos (public procurement), políticas regulatórias bem desenhadas, utilização de novas tecnologias em suas instalações, para assim promover a difusão de tecnologias consideradas relevantes para sociedade (FORAY et al., 2012).

No que se relaciona ao tema abordado neste trabalho, as fontes de energia renováveis, a autora afirma que,

não constitui uma surpresa o fato de termos descoberto que os países líderes na revolução verde em todo o mundo (a energia solar e eólica são os exemplos paradigmáticos examinados) são aqueles em que o Estado desempenha um papel

ativo que vai além do que é normalmente atribuído à teoria da falha do mercado (MAZZUCATO, 2014, p. 24).

Além disso, Hopkins e Lazonick (2011) defendem que em relação a difusão de fontes renováveis de energia, o governo e o setor privado precisam ambos se envolver para prover o que eles chamam de “*patient capital*” que é requerido para o seu desenvolvimento e utilização na sociedade. Mazzucato afirma que o apoio do Estado para transição energética em prol de energia limpa deve continuar até que elas superem a vantagem dos custos irre recuperáveis das tecnologias existentes, e em alguns casos, isso pode levar um século (MAZZUCATO, 2014, P. 160).

É importante ressaltar que o estabelecimento de políticas para estímulo de fontes de energia renováveis precisa ser muito bem planejado, desenvolvido e monitorado, enfatizando que nem sempre elas podem surtir o efeito almejado ou gerar benefícios para toda sociedade. No entanto, especificamente em relação ao caso da difusão da energia fotovoltaica no Brasil, Castro et al. (2016) afirmam que a isenção de PIS/COFINS acelera a difusão da tecnologia e valores mais altos da alíquota de ICMS atrasam sua difusão, demonstrando assim que políticas públicas são relevantes nos processos de transição para produção e uso de novas fontes de energia renovável como é também o caso do biogás. Os autores também abordam o caso dos Estados Unidos, país referência na ideologia de livre mercado, mas que apresenta forte atuação governamental para difusão de novas fontes renováveis como, no exemplo citado abaixo, a energia fotovoltaica:

Nos Estados Unidos, 40% de todos os empreendimentos de médio e grande porte para geração de eletricidade foram sistemas FV. O país tem cerca de 20 GW de potência instalada nessa fonte, dos quais 55% estão no estado da Califórnia. As políticas energéticas para o setor de geração distribuída incluem incentivos fiscais e linhas de crédito especiais, estando disponíveis desde os anos 80 e sofrendo adaptações quando necessário. Dentre eles destacam-se um instrumento regulatório de 1983 e revisado em 2000, criado para incentivar as concessionárias a incluir fontes renováveis em sua matriz, inclusive a solar (RPS Renewable Portfolio Standards). Além disso, o Ato Nacional de política energética (1992) e o Ato de Política Energética de 2005 possibilitam uso de créditos fiscais e disponibilizam assistência financeira para interessados em investir na tecnologia (CASTRO et al., 2016, p. 2).

Ainda sobre o caso dos EUA e o estímulo a difusão da digestão anaeróbica para geração de biogás, Sam et al. (2017, p.2) afirmam que,

Early government support was key to establishing economically-viable and cost-effective AD systems. This has been especially true for small-scale agricultural producers due to significant upfront capital costs and risk of failure from mismanagement. Environmental concerns about sustainable practices, the need for better on-farm livestock waste stabilization, and public interest in alternative

energy sources led US federal and state policymakers to create incentives for the adoption of AD systems by agricultural producers. For example, the US Environmental Protection Agency (EPA) established the AgSTAR program, which provides technical assistance to agricultural producers on biogas recovery. Likewise, the US Department of Agriculture (USDA) created the Rural Energy for American Program (REAP), which provides guaranteed loan financing and grants to agricultural producers and small rural businesses for improving energy efficiency and producing renewable energy.

Doris et al. (2009) também afirmam que políticas públicas são relevantes para o desenvolvimento de fontes de energia renovável criando mercados, minimizando incertezas, e incorporando as externalidades positivas das tecnologias em seus cálculos de análise do custo benefício. Para finalizar, exemplos de instrumentos de políticas públicas, que podem ser colocadas em prática para estimular fontes de energia renováveis são apresentados na Tabela 3 e precisam ser avaliados e desenvolvidos, de forma atenta e minuciosa, para então serem aplicados de acordo com a necessidade das fontes alternativas disponíveis e dos objetivos de cada contexto.

Tabela 3: Exemplos de políticas públicas que podem ser colocadas em prática para estimular a difusão de fontes renováveis

Instrumentos de políticas públicas para estímulo de fontes renováveis:	Breve explicação:
Renewable Portfolio Standard (quantity-based policy)	Requer a produção de um quantidade estipulada de energia renovável dentro de um setor específico ou uma economia. Eles geram o Green (renewables) certificate, certificado fornecido por um regulador para produtores de eletricidade renovável que pode ser comercializado para produtores de eletricidade que precisam cumprir sua obrigação de produzir uma porcentagem mínima de energia renovável sob o Renewable Portfolio Standard.
Imposto sobre carbono (price-based policy)	Imposto sobre carbono é uma taxa imposta ao uso de combustíveis à base de carbono (carvão, petróleo, gás).
Metas de redução de GEE por setor	Metas estipuladas por governos ou setor privado para promover a redução de GEE.
Metas de intensidade de energia	Metas de uso de energia por unidade do PIB.
Novos padrões de construção	Regras que obriguem que novas construções usem energia limpa e busquem maior eficiência energética.
Novos padrões de mobilidade	Regras que estimulem a busca por alternativas de mobilidade menos carbono intensivas.
Feed-in tariff	Garantia de compra pelo governo da eletricidade de produtores de energia renovável com um preço fixo durante um determinado período de tempo.
Net-metering	Arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade (Instituído no Brasil pela RN 482 de 2012 e RN 687 de 2015 da ANEEL), ou outras titularidades.
Empréstimos/financiamentos	Financiamentos a taxas atrativas e facilidade de acesso ao crédito para o desenvolvimento de projetos de geração de energia renovável.
Isenção tributária/ Subsídios fiscais	Dispensa de pagamentos de tributos específicos.
Subsídios	Concessão de recursos financeiros feita pelo governo a determinadas atividades com a finalidade de manter acessíveis os preços de seus produtos.
Chamada pública	Chamada realizada por distribuidoras para compra de tecnologias específicas para geração de energia.
Leilões de energia elétrica renovável	Os leilões referem-se a uma forma de contratação competitiva eletricidade a partir de energias renováveis ou onde as tecnologias de energia renovável são elegíveis. O produto pode ser de capacidade (MW) ou energia (MWh).

Fonte: Elaboração própria, 2017

2.9 Utilização de conceitos abordados no marco teórico na análise

Os conceitos e a abordagem da PMN apresentados neste capítulo suportarão a análise realizada sobre a configuração do sistema sociotécnico energético no que se relaciona ao biogás e a transição para difusão do biogás como ativo energético no país.

Para compreensão de como se configura o sistema sociotécnico energético em relação ao biogás, será considerado o que é defendido por Raven (2007), que afirma que *regimes exist of three interrelated sets of elements: rules (or institutions) embedded in and carried by social networks (actors), and artefacts and infrastructures.*

Diante disso, será realizada uma configuração do sistema sociotécnico energético em relação ao biogás considerando os elementos descritos por Raven (2007) e também considerando os elementos citados por Geels (2002, 2005a), conforme apresentados no primeiro tópico deste capítulo. A Figura 8 elenca os pontos que serão avaliados para esta configuração, assim como indica como será feita a análise.

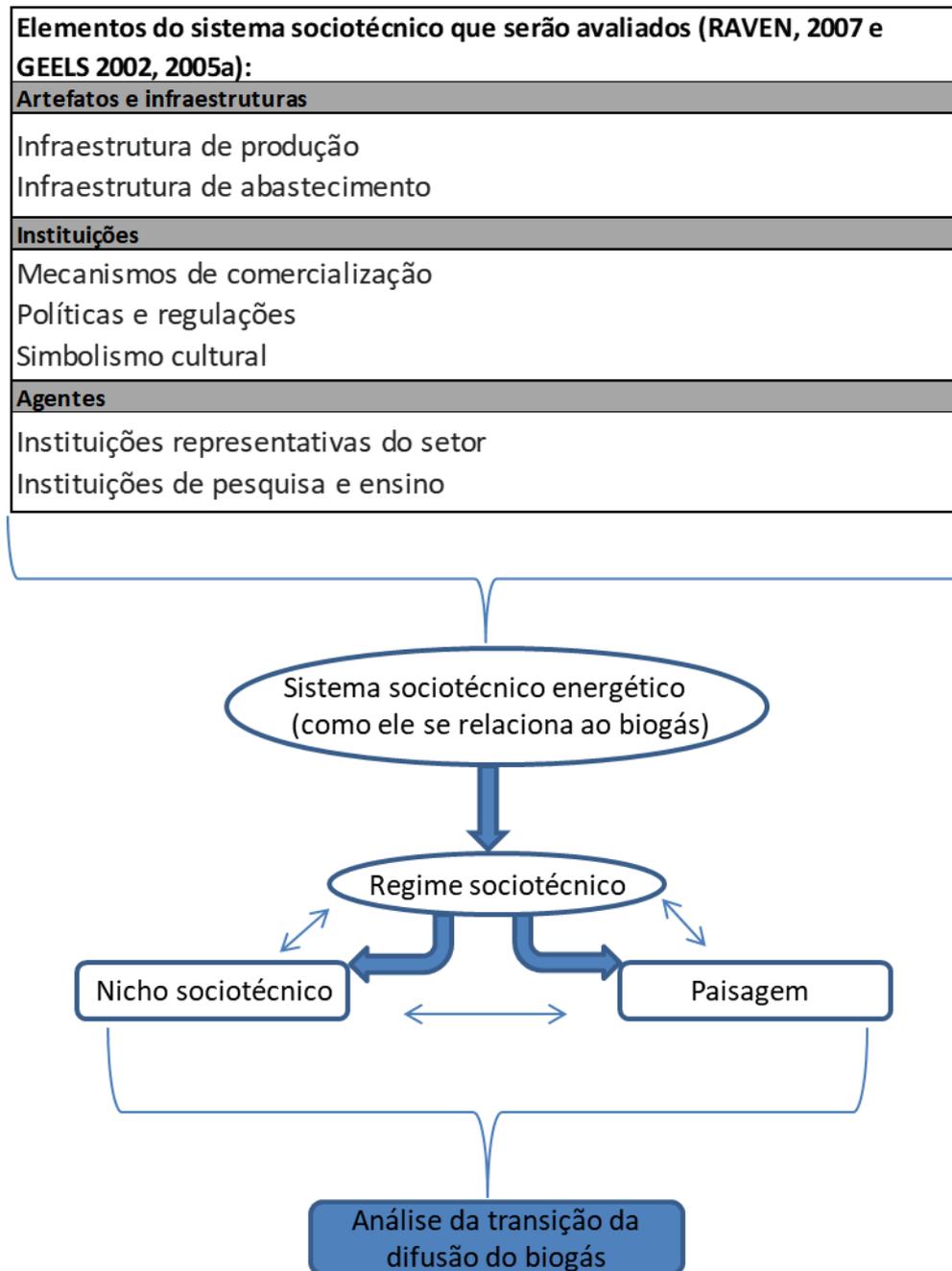


Figura 8: Elementos que serão avaliados para compreensão dos níveis da PMN e transição para a difusão do biogás no Brasil

Fonte: Elaboração própria, 2017

A análise dos elementos permitirá subsidiar o entendimento da transição para produção e uso do biogás no país. Ao longo das análises serão apontados os entraves que dificultam o processo de transição, que serão resumidos no item final do capítulo 6.

A partir da delimitação do marco teórico, que embasa a análise realizada neste trabalho apresentada nos tópicos acima, serão apresentados a seguir rápidas contextualizações dos setores (regimes) que se relacionam com o biogás no Brasil. O

objetivo é abordar diferentes regimes que são relevantes para o desenvolvimento do biogás para promover melhor compreensão da importância que a fonte poderia ter em diferentes setores da economia.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DOS SETORES RELACIONADOS COM O BIOGÁS

Apesar de o enfoque principal ser a geração de energia a partir do biogás, conforme foi defendido no primeiro capítulo, mudanças em outros setores (sistemas sociotécnicos) da sociedade são muito relevantes nesse processo. Diante disso, este capítulo traz uma breve contextualização sobre os setores (regimes) relevantes para o desenvolvimento do uso do biogás no Brasil. Como no capítulo cinco apenas o setor energético será explorado na análise, conclui-se pertinente essa contextualização para compreensão de que o biogás é relevante não apenas neste regime (energético), mas também no de resíduos, transporte e agropecuário.

3.1 Setor de saneamento: quadro atual da geração de resíduos e de tratamento de esgotos no Brasil

Saneamento é o conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde; melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo; e facilitar a atividade econômica. No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido por lei (Lei nº. 11.445/2007) como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais (TRATA BRASIL, 2017).

3.1.1 Geração de resíduos sólidos

3.1.1.1 Resíduos sólidos urbanos

A questão dos resíduos sólidos, tanto sua geração como sua gestão, tem se firmado como um tema complexo e urgente na sociedade moderna. Com o crescimento econômico e populacional verificado nos últimos anos na maior parte do planeta, tanto o consumo como o descarte e seus impactos socioambientais, vem ganhando maior visibilidade. Neste contexto, serão apresentados neste capítulo alguns dados sobre a geração de resíduos no Brasil.

Apesar do estabelecimento da PNRS²⁵ em 2010, pouco se avançou rumo à melhor gestão de resíduos no país e este é um enorme desafio para gestão pública brasileira e requer

²⁵ A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) apresenta instrumentos importantes para permitir o avanço necessário no país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. No entanto, pouco avançou em

também o envolvimento de todos os setores da sociedade. Além disso, o tema é relevante pelos seus potenciais impactos econômicos, sociais e ambientais na sociedade. Negativos, se a questão for mal gerida e, positivos, se a questão for tratada como prioridade e bem direcionada.

De acordo com o Banco Mundial (2016), por conta do crescimento populacional, da rápida urbanização e do desenvolvimento econômico, a gestão de resíduos sólidos se tornou uma das questões mais críticas atualmente para a humanidade. Ainda mais considerando que mais da metade da população mundial não tem ainda acesso a serviço regular de coleta de lixo e que lixões ilegais servem de destino para 40% dos resíduos sólidos gerados no mundo.

No Brasil, a questão é bastante crítica. Um país com dimensão continental com mais de 206 milhões de habitantes, onde em torno de 85% são classificados como população urbana (IBGE, 2016), segundo classificação da ONU (2016), é uma economia em desenvolvimento e que, apesar da forte crise econômica atual que impactou negativamente na geração de resíduos, apresentou uma trajetória de crescimento econômico na última década e conseqüente aumento da geração de resíduos, que deve voltar a apresentar crescimento expressivo assim que a economia brasileira se recuperar. Segundo a ABRELPE (2017), apesar do crescimento populacional no Brasil ter sido de 0,8% entre 2015 e 2016, a geração per capita de RSU registrou queda de quase 3% no mesmo período. De qualquer forma, a tendência esperada é de crescimento na geração de resíduos nos próximos anos por conta de crescimento populacional e hábitos de consumo da população (ABRELPE, 2017).

Segundo a ABRELPE (2017), em sua publicação anual sobre o panorama de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, baseada em questionários respondidos voluntariamente por diversas empresas do setor, o montante de RSU coletado em 2016 foi de 71,3 milhões de toneladas, o que registrou um índice de cobertura de coleta de 91% para o país, pequeno avanço comparado ao ano anterior, e que evidencia que 7 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. Segundo ainda a publicação, a disposição final dos RSU coletados demonstrou piora comparado ao índice do ano anterior, de 58,7%, para 58,4% ou 41,7 milhões de toneladas enviadas para aterros sanitários. O caminho da disposição inadequada continuou sendo trilhado por 3.331 municípios brasileiros, que enviaram mais de 29,7 milhões de toneladas de resíduos, correspondentes a 41,6% do coletado em 2016, para lixões ou aterros controlados, que não

possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2017, p.14).

Sobre os custos de gestão de resíduos, a ABRELPE (2017) afirma que o mercado de limpeza urbana no país seguiu a mesma tendência socioeconômica brasileira e movimentou R\$27,3 bi, uma queda de 0,6% em comparação a 2015. Os recursos aplicados pelos municípios em 2016 para fazer frente a todos os serviços de limpeza urbana no Brasil foram, em média, de cerca de R\$9,92 mensais por habitante, uma queda de 0,7% em relação a 2015.

Um ponto extremamente relevante no que tange aos resíduos sólidos é em relação à coleta seletiva. Ela foi definida através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (2010), como a coleta de resíduos previamente separados de acordo com a sua constituição e composição devendo ser implementada por municípios como forma de encaminhar as ações destinadas ao atendimento do princípio da hierarquia na gestão de resíduos²⁶. Segundo a ABRELPE (2017) projeta-se, a partir das respostas para construção do seu panorama, que 3.878 municípios apresentam alguma iniciativa de coleta seletiva. Porém, como informado no relatório, cabe ressaltar que em muitos municípios as atividades de coleta seletiva não abrangem a totalidade de sua área urbana não significando que os municípios tenham o processo todo estruturado, pelo contrário, podendo significar ter apenas pontos para recebimento do material separado para reciclagem ou algum tipo de convênio com cooperativas de catadores. É importante ressaltar aqui que a coleta seletiva já deveria estar operando em todos os municípios de acordo com a PNRS (2010), mas ainda está longe de ser uma realidade estruturada e consolidada no país. A sua implementação teria forte impacto positivo na geração de biogás via biodigestores, por exemplo.

Apesar dos esforços empreendidos e dos avanços registrados, principalmente a partir de 2010, segundo relatório anterior da ABRELPE, “os índices registrados ao final de 2014 mostram que a situação está bastante distante do quanto foi discutido e buscado pela sociedade durante os mais de 20 anos de tramitação do projeto de lei sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos” (ABRELPE, 2015). Em relatório mais recente, publicado em

²⁶ De acordo com o Art. 9º da PNRS (princípio da hierarquia na gestão de resíduos): “Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

agosto de 2017, a ABRELPE (2017) afirma que pela primeira vez, em sete anos desde a criação da PNRS, houve retrocesso em toda a cadeia de resíduos.

No que se refere à questão de geração de resíduos sólidos e a emissão de GEE, segundo a EPE (2008), são quatro as principais formas de relação entre RSU e o efeito estufa: 1) emissão de dióxido de carbono (CO_2) decorrente do consumo de energia para extração e produção dos bens (incluindo a extração e processamento dos combustíveis a serem usados); 2) emissão de CO_2 oriunda do consumo não energético de combustíveis no processo de produção dos bens; 3) emissão de metano (CH_4) a partir dos aterros sanitários em que os materiais acima e os restos de alimentos são depositados e se decompõem; e 4) fixação de carbono das parcelas dos materiais que não se decompõem nos aterros sanitários (EPE, 2008, p.14).

Mais recentemente, em 2017, o Observatório do Clima e o ICLEI apresentaram um panorama sobre a questão dos resíduos sólidos urbanos no país com enfoque na questão das emissões de GEE. A partir da criação da Plataforma SEEG, iniciativa desenvolvida pelo Observatório do Clima, o relatório contempla a estimativa de emissões associadas ao setor de resíduos entre o período de 1970 a 2015. Ele apresenta a estimativa de emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) provenientes de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos, incineração de resíduos industriais e de serviço de saúde e tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais.

A emissão de GEE do setor de resíduos, segundo o Observatório do Clima e do Local Government for Sustainability (ICLEI) (2017), no ano de 2015 totalizou 64,35 milhões de toneladas (Mt) de CO_2 equivalente, representando em torno de 3,34% das emissões nacionais. Apesar da baixa contribuição do setor de resíduos para as emissões de GEE, o seu crescimento tem sido acentuado. A Figura 9 apresenta as emissões totais do setor.

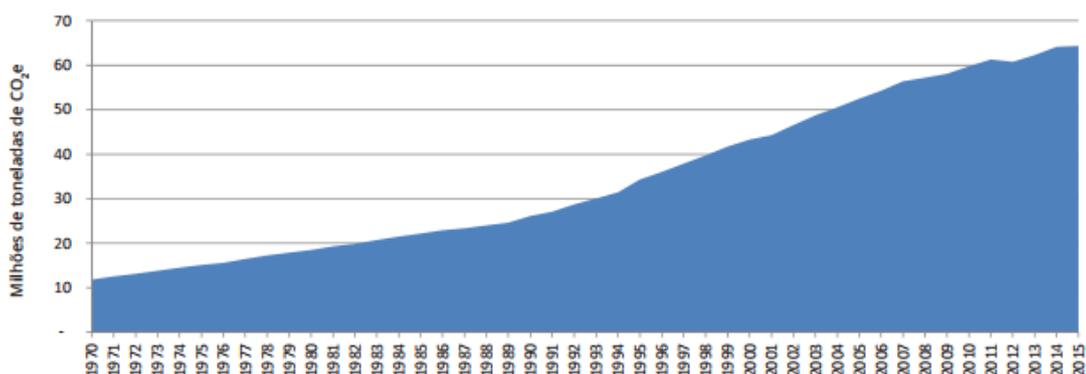


Figura 9: Emissões de GEE no setor de resíduos brasileiro
Fonte: ICLEI, 2017

Outra informação interessante do estudo se refere ao fato da região sudeste ter sido mapeada como a principal emissora, representando 53,3% das emissões totais do setor, com as participações mais expressivas dos estados de São Paulo (28,8%), Minas Gerais (13,1%) e Rio de Janeiro (9,6%). O estudo defende que somente realizar a disposição ambientalmente adequada dos resíduos em aterros sanitários não é suficiente para a redução de emissões de GEE, sendo necessário pensar em novas formas de valorização do resíduo, seja biológica, física ou energética (OBSERVATÓRIO DO CLIMA & ICLEI, 2017).

O documento também afirma que os RSU configuram a questão mais problemática do setor de resíduos e estima que, globalmente, é gerado 1,5 bilhão de toneladas de RSU anualmente, com previsão de aumento para aproximadamente 2,2 para o ano de 2025 e do total atual de resíduos gerados no ambiente urbano em todo planeta, cerca de 300 milhões de toneladas (Mt) são reciclados, 200 Mt são tratados com recuperação energética, 200 Mt dispostos em aterros sanitários e 800 Mt são destinados a aterros controlados ou vazadouros à céu aberto. Fica evidente assim a problemática na gestão de resíduos não apenas no Brasil, mas no mundo, onde a maioria dos resíduos gerados é gerida em alternativas não consideradas satisfatórias em termos socioambientais (IPCC, 2014; OBSERVATÓRIO DO CLIMA & ICLEI, 2017).

Em relação ao Brasil, o relatório faz uma análise utilizando como referência a pirâmide de hierarquização²⁷ na gestão de resíduos, a mesma apresentada no quinto relatório

²⁷ A pirâmide dos resíduos (conforme a hierarquia na gestão de resíduos da PNRS) pode ter sido inspirada na Lansink's Ladder: In 1979, a Dutch politician (Ad Lansink) developed a priority list for the various waste management methods, which became known as "Lansink's Ladder". (RAVEN, 2007, p. 2201). No topo da lista estava a prevenção de geração de resíduos, seguida por reutilização e reciclagem, incineração e aterros sanitários. Essa lista se tornou política oficial na Holanda em 1981.

do IPCC em 2014 e mencionada em parágrafo anterior se referindo a PNRS, que indica, a partir do topo dela, das melhores para as piores soluções na gestão de RSU conforme apresentado na Figura 10. A gestão de RSU no país, segundo o relatório, se caracteriza pela baixa valorização biológica, física e energética, significando que o material coletado é encaminhado para disposição final em aterros ou lixões, apresentando baixos índices de contribuição de alternativas de valorização como, por exemplo, compostagem e reciclagem (OBSERVATÓRIO DO CLIMA & ICLEI, 2017).



Figura 10: Pirâmide de hierarquização na gestão de resíduos
Fonte: IPCC, 2014

Segundo outro relatório, elaborado pela Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) e ABRELPE (2017) e em linha com o apresentado acima, cerca de 60% das cidades brasileiras encaminham anualmente 30 milhões de toneladas de resíduos para locais inadequados. Quase 3.000 lixões foram identificados no Brasil em junho de 2017, afetando a vida de 76,5 milhões de pessoas e trazendo um prejuízo anual para os cofres públicos de mais de R\$3,6 bilhões, valor gasto para cuidar do meio ambiente e para tratar dos problemas de saúde causados pelos impactos negativos dos lixões. Segundo o relatório, o poder público precisaria gastar apenas um terço desse valor para dar destinação adequada aos resíduos no Brasil atendendo todas as disposições da PNRS.

Para finalizar, o relatório traz uma série de sugestões para promoção da melhor gestão de RSU no Brasil, sendo elas a produção e disseminação de informações para os

gestores municipais quanto às alternativas tecnológicas para tratamento e destinação de RSU; bem como incentivar a elaboração de planos municipais de gerenciamento de resíduos sólidos; a promoção de medidas de incentivo a não geração e reuso de resíduos sólidos; a criação de instrumentos econômicos de incentivo à reciclagem e à redução do uso de materiais na cadeia produtiva; a remoção de barreiras fiscais à cadeia da reciclagem; a implantação plena dos acordos setoriais de logística reversa; o estabelecimento de mecanismos de incentivos técnicos e financeiros para a implantação pelos municípios de processos de tratamento da fração orgânica, como a compostagem e digestão anaeróbica; o fomento à utilização plena do potencial energético dos resíduos; a criação de mecanismos sólidos de incentivos para implantação de sistemas de aproveitamento de biogás, tanto em pesquisas tecnológicas, quanto em incentivos financeiros e tarifários para que os projetos não sejam tão vulneráveis ao mercado de carbono; e transversalmente a todas as ações, o estabelecimento de práticas de educação e conscientização ambiental (OBSERVATÓRIO DO CLIMA & ICLEI, 2017).

Nota-se que a alternativa de geração do biogás, principalmente via digestão anaeróbica, se torna uma solução relevante estando próxima ao topo da pirâmide de hierarquização, abaixo apenas da redução, do reuso e da reciclagem e acima do aterro sanitário com recuperação e uso de gás metano. O relatório produzido pelo Observatório do Clima e ICLEI (2017) afirma que o setor de resíduos sólidos no Brasil é ignorado no compromisso nacional do Brasil para o acordo do clima de Paris e defende que o setor de resíduos sólidos poderia ser uma opção barata e eficiente de redução de emissões de GEE. O documento recomenda a revisão da NDC do país de forma a incluir entre suas políticas ações de tratamento e disposição final de resíduos sólidos e líquidos. Eles afirmam que tais ações têm potencial de redução de emissões a custo relativamente baixo, num setor que pode responder por 10% a 20% das emissões de gases de efeito estufa em grandes cidades brasileiras, embora represente apenas 3% das emissões nacionais. O relatório defende que o setor de resíduos possui o melhor custo efetividade para redução de emissões, com base em cenários econômicos e políticas vigentes, devendo se tornar uma área prioritária para ação (OBSERVATÓRIO DO CLIMA & ICLEI, 2017).

Em suma, após o conteúdo apresentado neste item, fica evidente que a geração de resíduos sólidos é um problema que afeta as grandes metrópoles há muito tempo. Em relação aos problemas ambientais mais comuns associados à disposição final de resíduos sólidos, encontra-se a liberação do lixiviado, um líquido resultante da decomposição do lixo,

que contamina corpos d'água superficiais ou subterrâneos. Em recente estudo, tomando como amostra aterros desativados no município de São Paulo se concluiu que há um passivo histórico que persiste, que pode ser objeto de perturbação da qualidade de diversos corpos d'água (ROSA et al., 2017) e que políticas que estimulem novas práticas em relação à gestão de resíduos, prioritariamente estimulando sua não geração e, quando não seja possível, recuperando os resíduos e transformando-os em recursos, entre eles, recursos energético, são urgentes e necessárias.

3.1.1.2 Resíduos agrossilvopastoris

Não há muitas fontes de dados que abordem informações sobre os resíduos agrossilvopastoris no Brasil. O relatório que aborda o tema foi produzido pelo IPEA em 2012 e apresentou estimativas dos montantes totais gerados de resíduos orgânicos do setor e de agroindústrias primárias associadas com base na produção do ano de 2009, conforme dados elaborados pelo IBGE.

O relatório considerou a produção de 13 culturas²⁸, seis temporárias e sete permanentes, selecionadas entre as culturas de maior área cultivada no Brasil. Estimou-se a geração total de 291 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano nas agroindústrias associadas a essas culturas. A cultura que mais gerou resíduos no levantamento foi à cana-de-açúcar, gerando sozinha um montante de 201 milhões de toneladas (torta de filtro e bagaço). Esta cultura tem ainda como subproduto do seu processamento a vinhaça, sendo estimado um volume gerado desse efluente de mais de 604 milhões de m³/ano (IPEA, 2012). Sobre o setor da pecuária o relatório afirma (IPEA, 2012. p. 10):

Que foi estimada uma geração total de 1,7 bilhão de toneladas/ano de dejetos, considerando as principais criações animais (bovinos, suínos e aves). A maior parte desses dejetos, porém, foi gerada pela criação de bovinos de corte, a qual ocorre em sua maioria no modelo extensivo, ficando os resíduos dispersos nas pastagens, sem impactos ambientais significativos e sem viabilidade de aproveitamento em sistemas de biodigestão. Para as criações confinadas, foram estimados 365 milhões de toneladas de dejetos, sendo também a maior parte destes dejetos produzidos pela criação de bovinos (86,7%), seguida pela de aves (7,7%) e suínos (5,6%).

No que tange a geração dos resíduos da silvicultura, a estimativa apresentada foi construída com base nos resíduos gerados na colheita florestal, processamento mecânico da madeira e produção de papel e celulose. Estimou-se um total de 38,5 milhões de

²⁸ São elas: soja (em grão), milho (em grão), cana-de-açúcar, feijão (em grão), arroz (em casca), trigo (em grão), café (em grão), cacau (amêndoas), banana (cacho), laranja, coco-da-baía, castanha de caju e uva.

toneladas/ano de resíduos florestais gerados nas duas etapas da cadeia produtiva da madeira (colheita e processamento mecânico) e foram estimados em 10 milhões de toneladas/ano os resíduos da indústria de papel e celulose.

O relatório enfatiza a importância do aproveitamento desses resíduos, pois além de evitar potenciais impactos negativos causados pelo descarte inadequado no ambiente, poderia também gerar muitos benefícios socioeconômicos para o país e tem enorme potencial para gerar fertilizantes, alimentação animal e matéria prima para outras produções industriais e, o que defende esta tese, gerar energia (IPEA, 2012).

Em publicação mais recente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2017) afirma que são produzidos no Brasil, por ano, cerca de 180 milhões de toneladas de resíduos e efluentes de animais estabulados (suínos, bovinos e aves). Dispostos aleatoriamente na natureza, esses resíduos e efluentes podem gerar impactos ambientais de grande magnitude, como a poluição das águas e a poluição atmosférica. Desde a degradação da qualidade da água devido ao excesso de matéria orgânica e o conseqüente aumento descontrolado de algas, provocado pelos nutrientes fósforo e nitrogênio contidos nos resíduos até a emissão de metano (CH_4) na atmosfera, que é um GEE que impacta muito mais no processo de aquecimento global do que o gás carbônico ou dióxido de carbono (CO_2). Segundo o Observatório do Clima (2017), o setor agropecuário é responsável por 69% das emissões de gases do efeito estufa no Brasil e estão incluídos nesse percentual os poluentes decorrentes do processo digestivo dos rebanhos, o uso de fertilizantes e o desmatamento para abertura de novas áreas para a atividade econômica. Por este motivo e pela maior concentração do potencial de geração de biogás neste setor, que será apresentado em capítulo posterior desta tese, se justifica tornar prioritária a produção de biogás a partir de resíduos agrosilvopastoris no Brasil.

Como uma solução para o setor agrosilvopastoril, a geração de biogás poderia gerar inúmeros benefícios, tais qual a mitigação dos impactos ambientais causados pelos resíduos sem tratamento; aumento da oferta de energia; geração de biofertilizantes (líquidos e sólidos); redução do uso de fertilizantes industrializados e de origem fóssil; disponibilização de uma nova e crescente fonte de renda ao produtor rural; redução dos custos de produção; e redução da emissão de gás metano e de outros GEE.

Diante disso, fica claro que caso esses resíduos não sejam bem manejados, tratados e dispostos, possuem alto potencial de gerar impactos negativos, provocando, além de emissões de GEE, contaminação do solo, da água e do ar, gerando riscos à saúde humana e

aos ecossistemas, além de custos à saúde pública, que no longo prazo podem inviabilizar a continuidade destas atividades. Nesse sentido, a geração de biogás a partir de resíduos agrossilvopastoris, que apresenta enorme potencial, deveria ser estimulada e desenvolvida no país.

3.1.2 Tratamento de esgoto no Brasil

Em 2015, dos 7,4 bilhões de habitantes do mundo, 2,4 bilhões de pessoas ainda não possuíam saneamento básico (WBA, 2017). No Brasil, apenas 50,3% da população têm acesso à coleta de esgoto. Mais de 100 milhões de brasileiros não têm acesso a este serviço e mais de 3,5 milhões de brasileiros, nas 100 maiores cidades do país, despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletoras disponíveis. Do esgoto coletado, apenas 42,67% são tratados. A média das 100 maiores cidades brasileiras em tratamento dos esgotos é de 50,26%, onde apenas 10 delas tratam acima de 80% de seus esgotos (TRATA BRASIL, 2017).

Além disso, como consequência do crescimento do processo de industrialização e urbanização, houve um aumento expressivo da quantidade de efluentes com alto teor de orgânicos, que são passíveis de causar grandes impactos ambientais negativos, tais como a poluição dos corpos hídricos. Neste sentido, promover o saneamento ambiental, e ainda explorar o potencial energético das estações de tratamento de esgoto, com base na tecnologia de saneamento já existente, pode ser uma alternativa interessante e deve ser estimulada no mundo. Para geração de energia a partir do saneamento, o metano produzido pela degradação da matéria orgânica poderia ser canalizado e queimado em motores geradores de energia, com o intuito de minimizar os impactos ambientais e valorizar o biogás que representa uma fonte de energia limpa e renovável. Um dos entrevistados durante a pesquisa, representante de uma empresa produtora de biogás a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE), afirmou que a rubrica de energia elétrica é um dos itens de maior impacto orçamentário no balancete de ETE. Dessa forma, além do benefício socioambiental de promover uma destinação melhor aos resíduos, benefícios econômicos são também obtidos com a instalação de biodigestores em plantas de tratamento de esgoto.

Outro aspecto positivo se refere ao fato que no processo de tratamento de efluentes líquidos, a digestão anaeróbica de biossólidos promove um ambiente higiênico e sanitário, fornecendo tratamento descentralizado e local desses resíduos. Isso ajuda na prevenção de infecções bacterianas, doenças diarreicas como cólera, tracoma, esquistossomose e hepatite.

Além disso, nos locais onde ocorre a coleta e tratamento de águas residuais, a digestão anaeróbica pode ser usada para estabilizar o lodo de esgoto antes de ele ser aplicado como fertilizante. A digestão anaeróbica também reduz a carga de carbono da água e, portanto, as tornam menos prejudiciais para os corpos aquáticos. Mais ainda, o uso da digestão anaeróbica em estações de tratamento de efluentes pode tornar estas instalações de tratamento autossuficientes em termos energéticos.

As atividades de abastecimento de água e tratamento de esgoto são responsáveis por 2,6% do consumo total de eletricidade no Brasil. O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), publicado em 2013, prevê uma coleta de 92% dos esgotos gerados até 2033, em comparação aos 40% coletados e tratados no ano de 2013 e, portanto, espera-se um aumento significativo do consumo energético no setor (PNBB, 2015).

Diante do contexto acima apresentado, o PNBB (2015) defende que o aproveitamento energético de biogás em ETEs é acima de tudo uma medida de eficiência energética que pode reduzir os custos operacionais do serviço de tratamento de esgoto no país e deveria ser difundida.

3.2 Setor energético: quadro atual da geração de energia no Brasil

3.2.1 Matriz energética: perfil e emissões

De acordo com o MME (2017), a oferta interna de energia (OIE) brasileira, energia necessária para movimentar a economia, foi de 290 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) em 2016. Em relação ao perfil da matriz energética brasileira, de acordo com a EPE (2017) a OIE em 2016 foi composta de 43,5% de energias renováveis e 56,5% de não renováveis (EPE, 2017). A Figura 11 retrata a OIE do Brasil em 2016 (EPE, 2017). O país vem reduzindo seu patamar de dependência externa de energia por conta do aumento na produção nacional de petróleo e gás natural, combinadas com recuo na demanda de derivados. No entanto, o Brasil ainda é importador de energia fóssil, e buscou no mercado externo mais de 13 milhões de m³ de gás natural em 2016 representando um dispêndio de mais de dois bilhões de dólares (ANP, 2017, MDIC, 2017). De acordo com o PDE 2026, apesar de ter uma participação decrescente na matriz de consumo final, os derivados de petróleo ainda se manterão com alta relevância para segurança energética do país. No período decenal, esta parcela cresce à taxa de 0,4% ao ano, com destaque para os grandes volumes importados de nafta, QAV e óleo diesel (EPE, 2017).



Figura 11: Repartição da oferta interna de energia no Brasil
Fonte: EPE, 2017

Entre as fontes não renováveis (56,5%), o petróleo e derivados (36,5%) aparecem em primeiro lugar (EPE, 2017). Sobre os derivados de petróleo, destacam-se o crescimento do GLP e do gás natural, utilizados predominantemente para cocção de alimentos e aquecimento de água. A demanda por GLP crescerá 1,4% ao ano em função da substituição parcial da lenha e do carvão, devido, sobretudo, ao aumento do rendimento médio das famílias da zona rural. Por outro lado, mesmo considerando uma base de consumidores ainda pequena, o gás natural deslocará parte do consumo de GLP na medida em que há expansão de sua rede de distribuição em áreas urbanas e por isso crescerá 6,3% ao ano (EPE, 2017). A partir dos avanços regulatórios recentes sobre o biometano e sua possibilidade de injeção na rede de gás natural, pode haver perspectiva de aumento de oferta de gás renovável (biometano) e produzido no país para atender esse crescimento de demanda por gás.

Especificamente sobre o gás natural, o documento de consulta pública do PDE 2026 (EPE, 2017) afirma que,

mesmo antes da crise econômica, já se observava um arrefecimento das expectativas de crescimento do mercado de gás natural nas sucessivas revisões do PDE, pela perda de competitividade do gás natural frente aos energéticos concorrentes. Um cenário econômico mais otimista, naturalmente impactaria positivamente o consumo de gás natural, entretanto o aumento da competitividade do gás natural é fundamental para que este mercado mude de patamar. O aumento da competitividade do gás natural passa tanto por questões objetivas, como o preço do energético frente aos seus concorrentes, quanto por questões subjetivas, como a confiança do consumidor no fornecimento do energético ou a insegurança para a

conversão de equipamentos e mudança de tecnologia. A desverticalização do mercado em virtude da necessidade do programa, já em curso, de desinvestimento da Petrobras representa grande oportunidade de ingresso de novos agentes no setor. Muitas questões que hoje representam entraves ao mercado de gás natural já estão sendo discutidas com representantes do setor no âmbito do programa Gás Para Crescer do MME, com destaque para a implementação de medidas de estímulo à concorrência, que limitem a concentração de mercado e promovam efetivamente a competição na oferta de gás natural, a harmonização entre as regulações estaduais e federal, a regulação do mercado livre e a redução da assimetria de informações, aumentando a transparência e previsibilidade do mercado, entre tantas outras medidas e iniciativas. Se adequadamente endereçadas, essas questões tem o potencial de alavancar significativamente o mercado de gás natural nos próximos anos (EPE, 2017, p. 41).

Já entre as fontes renováveis (43,5%), a biomassa da cana (17,5%) e a energia hidráulica (12,6%) são as de maior destaque, lenha e carvão vegetal aparecem em seguida com 8% e lixívia e outras renováveis com 5,4% (EPE, 2017). No que se refere à repartição entre lixívia e outras renováveis, o biogás aparece neste grupo com representação de 0,9% em 2016. De 2015 para 2016 houve um incremento de 46,2% na quantidade de biogás ofertada (em mil tep). Em termos relativos é uma variação considerável, mas em termos absolutos confirma que a fonte ainda é inexpressiva na matriz energética brasileira. A Tabela 4 apresenta a participação da lixívia e de outras renováveis, onde o biogás está inserido.

Tabela 4: Participação de lixívia e outras renováveis na OIE

Lixívia e outras renováveis (mil tep)	2015	2016	Δ 16 / 15
Lixívia	7.905	8.447	6,8%
Biodiesel	3.126	3.009	-3,7%
Outras biomassas	1.151	1.103	-4,1
Biogás	94	137	46,2%
Gás industrial de carvão vegetal	87	83	-4,2%
Eólica	1860	2.880	54,9%
Solar	5,1	7,3	44,7%
Total	14.227	15.667	10,1%

Fonte: EPE, 2017

No que se refere aos setores econômicos que mais demandam energia no país, o setor industrial (33%) e de transportes (32,4%) se destacam. Em seguida vem o setor energético

(10,3%), o residencial (9,7%), o não energético (5,8%), o de serviços (4,9%) e o agropecuário (4%). Em resumo, a produção industrial, o transporte de carga e mobilidade de pessoas representam aproximadamente 65% do consumo de energia no país (EPE, 2017) e o biogás poderia ser explorado para ser utilizado em ambos.

No que tange às emissões de GEE, em 2016, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 428,95 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (194,3 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes. A intensidade de carbono na economia foi de 0,15 kg CO₂/US\$ppp. O Brasil permanece menos intensivo em carbono em relação às economias europeias (-11%), norte-americana (-50%) e chinesa (-70%)²⁹. Produzindo e consumindo energia, cada brasileiro emite, em média, sete vezes menos do que um americano e três vezes menos do que um europeu (EPE, 2017). De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN)³⁰ 2017 (EPE, 2017), os setores que mais emitem dentro do setor energético são também os que mais consomem energia, sendo os setores de transporte e industrial, representando 45,3% e 19,1% das emissões respectivamente, os maiores emissores. Um ponto importante a mencionar é que a emissão total antrópica associada à matriz energética brasileira aumentou ano após ano até 2015. Em 2016, provavelmente por conta da crise econômica e menor demanda de energia, além do reequilíbrio da energia hídrica, e consequente diminuição do acionamento de térmicas, as emissões diminuíram. No entanto, caso o país retome uma trajetória de crescimento econômico, e novos períodos de escassez hídrica assolem o país, as emissões do setor energético voltarão a aumentar. A Figura 12 aponta a evolução das emissões de CO₂ da matriz energética brasileira em distintos anos.

²⁹ “Para gerar uma unidade de produto, a economia brasileira emite, na produção e consumo de energia, 11% menos que a economia europeia, 50% menos que a economia americana e 70% menos que a economia chinesa” (BEN, 2017, pág. 43).

³⁰ O relatório consolidado do Balanço Energético Nacional – BEN documenta e divulga, anualmente, extensa pesquisa e a contabilidade relativas à oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia. Ele é confeccionado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A EPE é uma empresa pública, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. Sua finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

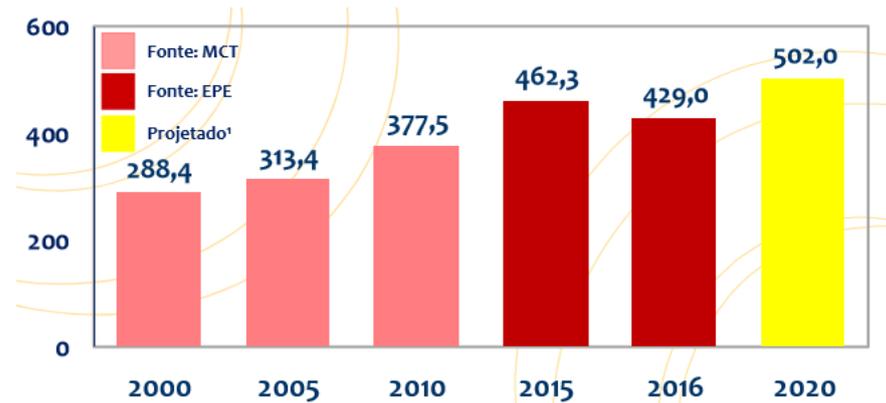


Figura 12: Evolução das emissões de CO₂ associadas à matriz energética brasileira em MtCO₂-eq
Fonte: EPE, 2017

Conforme já apresentado na introdução, atualmente os setores que mais emitem são o agropecuário e o energético com 32% e 30% das emissões líquidas do país respectivamente (EPE, 2015). Sob o setor energético especificamente, a Figura 13 traz as emissões abertas por cada subsetor, onde o setor de transportes aparece como o maior responsável pelas emissões de GEE.

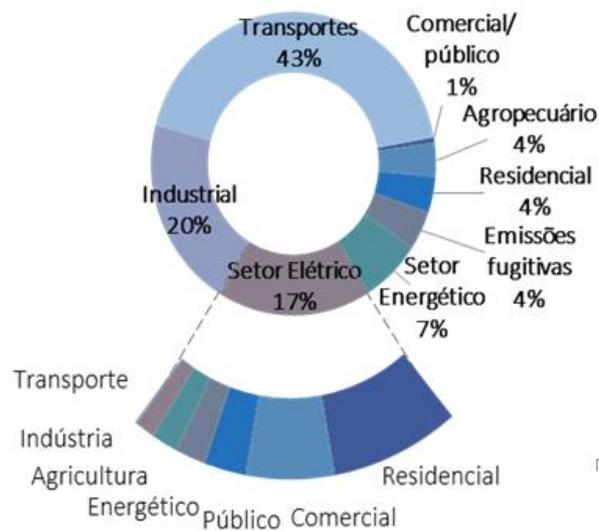


Figura 13: Emissões do setor energético
Fonte: EPE, 2017

No que tange ao biogás no contexto da matriz energética brasileira, de acordo com a nota técnica sobre o Plano Nacional de Energia 2050 (EPE, 2015), afirma-se que em virtude dos compromissos em prol da mitigação das emissões de GEE, a perspectiva é que no futuro, até 2050, haja “penetração de tecnologias de veículos híbridos e elétricos, geração

distribuída com sistemas fotovoltaicos e a biogás, assim como a utilização de biometano para fins veiculares” (EPE, 2015, p. 6 e 7). O documento afirma também que há perspectiva de aumento do consumo de diesel no setor agropecuário brasileiro, no entanto, indica que “parte desse consumo de óleo diesel poderá ser suprido a partir do uso de biogás em máquinas e implementos agrícolas aptos para utilização desse energético” (EPE, 2015, p. 144).

Ainda no mesmo documento, a EPE (2015) explicita que por conta da perspectiva de expansão das redes de gás e do aumento do rigor das legislações ambientais para mitigar impactos locais e globais, se estruturará um cenário para maior aproveitamento energético de resíduos orgânicos, principalmente gasosos. Neste cenário o biogás apresenta uma série de vantagens, pois, segundo a instituição, é um energético flexível tanto no uso, podendo ser convertido em eletricidade, injetado na rede de gás após tratamento, ou usado como combustível, como na produção, podendo ser produzido a partir de resíduos rurais, urbanos e industriais. Segundo a EPE, “essa característica sinaliza um grau de descentralização na produção e uso de combustíveis que introduz um fator de inovação no setor energético” (EPE, 2015, p. 215). No tópico seguinte, o olhar será específico para geração de eletricidade.

3.2.2 Matriz elétrica: perfil e emissões

A oferta interna de energia elétrica atualmente apresenta mais de 150 GW de potência instalada (ANEEL, 2017). Em 2016 a matriz elétrica nacional apresentou mais de 80% de energia renovável³¹, sendo a energia hidroelétrica a de maior representatividade (68,1%), como pode ser verificado na Figura 14 que foi retirada do relatório síntese do BEN 2017 (EPE, 2017). Para efeito de comparabilidade e para reforçar o cenário diferenciado do Brasil, as fontes renováveis respondiam por apenas 22,7% da matriz elétrica mundial em 2014 (IEA, 2017).

³¹ Renewable energy is energy from sunlight, wind, geothermal heat, wave power, tidal energy, hydropower, or organic matter that flow through Earth’s biosphere, available for human use indefinitely, provided that the physical basis for their flow is not destroyed (JACCARD, 2004).

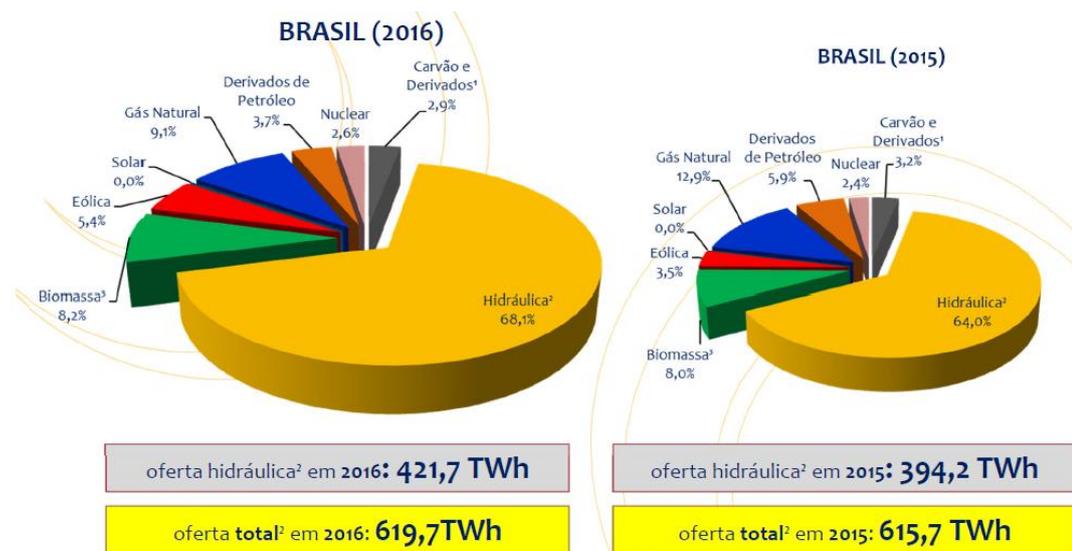


Figura 14: Matriz elétrica brasileira
Fonte: EPE, 2017³²

Após quatro anos de estresse, as condições hidrológicas foram favoráveis, o que acarretou em um aumento da energia hidráulica disponibilizada. Em 2016, o acréscimo foi de 7,0% comparado ao ano anterior. A maior oferta hídrica, aliada a expansão da geração eólica, contribuiu para o avanço da participação de renováveis na matriz elétrica de 75,5% para 81,7%. Houve também queda da geração térmica a base de derivados de petróleo e gás natural, pois uma menor quantidade de térmicas precisou ser acionada (EPE, 2017).

De acordo com o BEN (EPE, 2017), a capacidade instalada (150.338 MW) é predominantemente hídrica e térmica, com a energia eólica ganhando cada vez mais representatividade. A Tabela 5 demonstra o crescimento de capacidade instalada de diferentes fontes entre 2015 e 2016. No que se refere à geração termelétrica, onde o gás natural e a biomassa se apresentam como os combustíveis mais utilizados, houve uma redução de 18% entre 2015 e 2016. (BEN, 2017). A Tabela 6 apresenta a participação de cada fonte na geração termelétrica em 2016.

³² 1- Inclui gás de coqueria, 2 - inclui importação e 3 - Inclui lenha, bagaco de cana, lixivia e outras fontes primárias.

Tabela 5: Capacidade Instalada (MW) (não inclui geração distribuída)

Fonte	2015	2016	Δ 16/15
Hidrelétrica	91.650	96.925	5,8%
Térmica ²	39.580	41.276	4,3%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Eólica	7.633	10.124	32,6%
Solar	21	24	13,1%
Capacidade disponível	140.874	150.338	6,7%

Fonte: EPE, 2017³³

Tabela 6: Participação de cada fonte na geração termelétrica em 2016

Biomassa ²	31,0%
Gás Natural	34,4%
Nuclear	9,6%
Derivados de Petróleo	14,0%
Carvão e Derivados	11,0%

Fonte: EPE, 2017³⁴

Sobre a biomassa para geração de eletricidade, atualmente os resíduos da indústria sucroenergética destacam-se como fonte de energia para o processo produtivo e de excedente de eletricidade para a comercialização. Em relação ao horizonte decenal, evidencia-se que há um montante significativo a ser explorado, apontando para uma inserção crescente da bioeletricidade na matriz elétrica nacional (EPE, 2017). De acordo com o documento de consulta pública do PDE 2026, “as demais formas de geração a biomassa ainda não são explicitadas na matriz de geração. Entretanto, elas vêm mostrando elevado potencial de crescimento e já são representadas na geração distribuída” (EPE, 2017, pág. 62).

³³ 2 -Inclui biomassa, gás, petróleo e carvão mineral)

³⁴ 2 - Inclui bagaço de cana-de-açúcar, lixo, lenha, e outras fontes primárias.)

Em relação à demanda pela energia elétrica ofertada no país, ela atende ao consumo das residências, indústrias e outros setores. A consulta pública do PDE 2026 (EPE, 2017) prevê que o consumo de energia elétrica no país aumentará de 516 bilhões de kWh, em 2016, para 741 bilhões de kWh, em 2026. Para demonstrar a grandiosidade desse número, uma família brasileira consome em média cerca de 2.000 kWh por ano.

No que tange às emissões, o setor elétrico no Brasil possui nível baixo de emissões de GEE, apresentando índice muito abaixo de países desenvolvidos e em desenvolvimento como demonstra a Figura 15 (EPE, 2017). A Figura 16 traz o fator médio de emissão anual do Sistema Interligado Nacional (SIN) de 2006 a 2016, que demonstra oscilações nas emissões do setor.

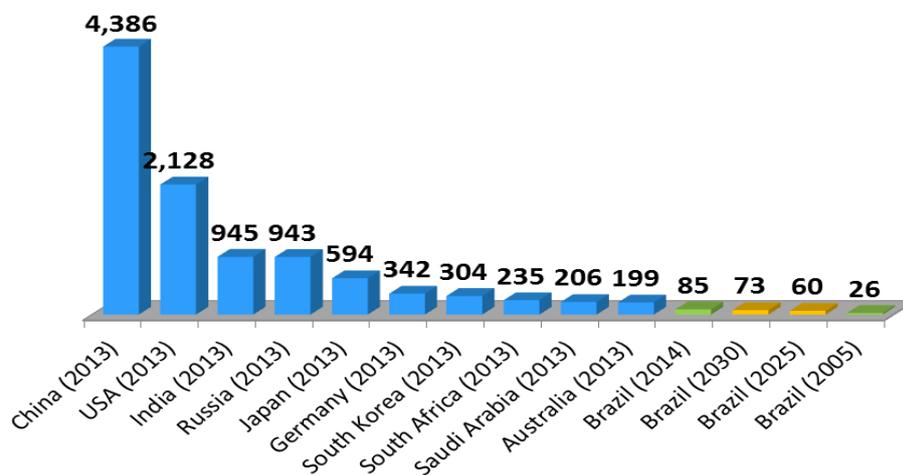


Figura 15: Emissões de GEE do setor elétrico (MtCO₂ eq)
 Fonte: EPE (2017); EPE (Brazil data); IEA, 2015 (International data)

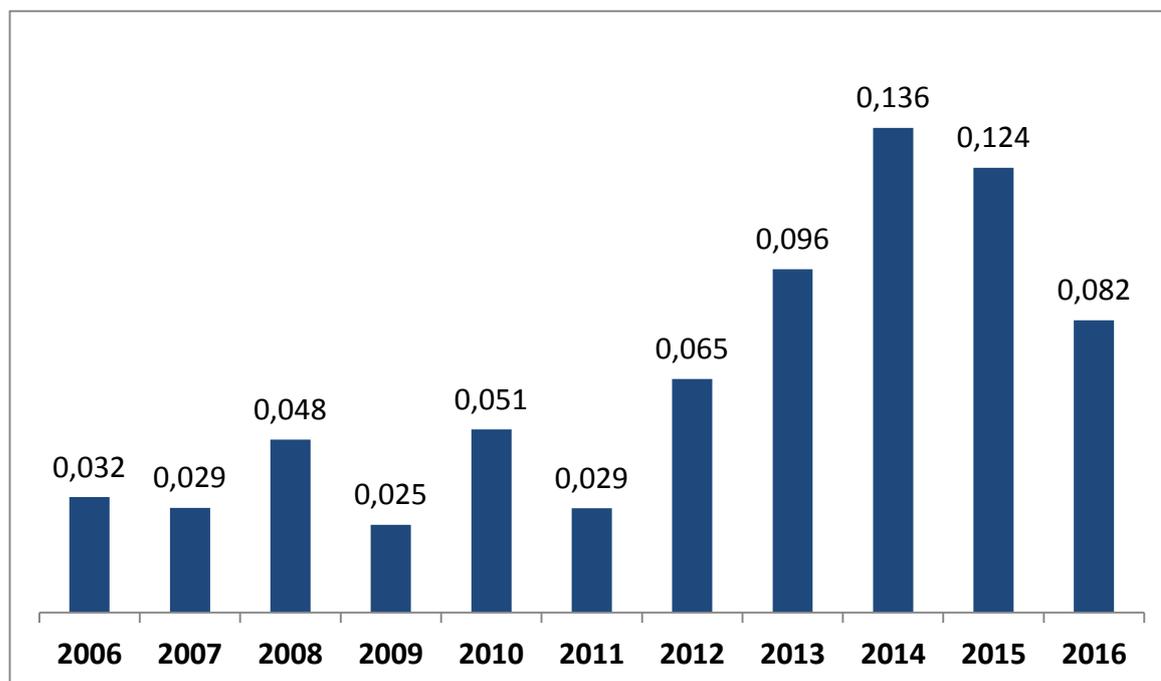


Figura 16: Fator médio de emissão anual do SIN (tCO₂/MWh)

Fonte: MCT, 2017

No entanto, como mencionado em capítulo anterior, há estudos recentes, como a publicação do Banco Mundial e da consultoria PSR (2017), que afirmam que, em caso de hidrologia seca, como foi vivenciado nos últimos anos no país, com disponibilidade de hidroeletricidade reduzida, irá requerer o acionamento de termelétricas e assim aumentar as emissões de GEE. As emissões anuais em um ano seco podem ser até quatro vezes mais altas do que as emissões anuais em um ano úmido. Por conta disso, torna-se fundamental, de acordo com o estudo, que sejam colocadas em prática medidas de conservação de energia e de disseminação de fontes renováveis (BANCO MUNDIAL e PSR, 2017). Um estudo do IRENA (2017) afirma que,

renewable energy and energy efficiency will work in synergy to drive global energy decarbonisation. When pursued together, they result in higher shares of renewable energy, a faster reduction in energy intensity, and lower energy system costs. This also brings environmental and social benefits, such as less air pollution and can achieve the emission reductions needed to limit global temperature rise to no more than 2°C. This would avoid the most severe impacts of climate change. (IRENA, 2017).

Além da busca por mitigar as mudanças climáticas, outro tema relevante se refere à adaptação. Com as mudanças que já irão ocorrer como consequência do aquecimento global, cenários climatológicos diversos podem impactar a matriz elétrica do país. As mudanças climáticas podem afetar, por exemplo, de forma bastante distinta as diversas bacias do SIN e

podem alterar a disponibilidade de outras fontes como a biomassa e fotovoltaica (EPE, 2017). Tudo isso precisa ser levado em consideração para o planejamento da matriz energética e elétrica no longo prazo e a maior diversidade energética poderá prover maior segurança e estabilidade ao sistema.

Uma mudança recente se refere à geração distribuída. A micro e minigeração distribuída³⁵, incentivada por recentes ações regulatórias que viabilizaram a compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte (*net metering*), atingiu em 2016, de acordo com o BEN 2017, uma potência instalada de 72,5 MW. Destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 56,9 MW de potência instalada (EPE, 2017).

De acordo com a EPE (2015), fatores como a perda de capacidade de investimento do estado, as grandes quantidades de recursos necessários para os grandes projetos centralizados, a introdução do gerenciamento da demanda, a maior concentração populacional em grandes centros urbanos, as fontes renováveis que são viáveis em escalas menores, a integração cada vez maior dos sistemas de energia, aumentam a perspectiva de uma maior participação da oferta descentralizada no atendimento da demanda energética. Além disso, vem ocorrendo mudanças na relação do consumidor com a energia nos últimos anos. O aumento do poder de escolha tem se materializado no setor de eletricidade através da popularização das tecnologias de micro e minigeração distribuída, onde o consumidor passa a ser também produtor de eletricidade (*prosumer*). No tópico seguinte a oferta descentralizada de energia, especificamente a geração distribuída, será contextualizada.

3.2.2.1 Oferta descentralizada de energia (ou geração distribuída)

De acordo com a EPE (2015), o conceito clássico de geração distribuída de energia é diretamente ligado à geração de energia elétrica e de energia térmica em alguns casos de esquemas de cogeração. No entanto, existe também outra abordagem que se refere ao conceito de oferta descentralizada de energia, que, ao contrário do conceito de geração distribuída, não se refere apenas à eletricidade, incorporando a produção descentralizada de qualquer vetor energético. Diante disso, o conceito engloba a geração distribuída e se refere de forma geral a produção de energia perto do ponto de consumo, com atendimento prioritário à demanda e com escalas reduzidas.

³⁵ A geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. (ANEEL, 2016)

Ainda de acordo com a EPE (2015), a geração distribuída se refere à geração conectada na rede de distribuição de até 30 MW de capacidade e localizada perto da carga e considera a seguinte classificação de escala: micro GD – capacidade menor ou igual a 100 kW; mini GD ou pequena escala – capacidade superior a 100 Kw e menor ou igual a 1MW; média GD ou média escala – capacidade superior a 1 MW e menor ou igual a 5MW; e grande GD ou grande escala – capacidade superior a 5 MW e menor ou igual a 30 MW.

Além da questão da escala, há também diferentes tipologias de geradores distribuídos. A primeira é a micro ou minigeração distribuída, que são geradores de menor escala que seguem uma lógica de decisão dispersa e baseada na realidade de cada consumidor individual. A segunda tipologia se refere à autoprodução industrial, que segue a lógica de otimização de custos na ótica de produtores. Há também a geração na ponta, bastante difundida, onde o consumidor instala uma geração para zerar ou reduzir o consumo e demanda de ponta, horário onde os custos de energia elétrica para consumidores tipo A³⁶ são mais elevados. A última tipologia se refere à cogeração ou multigeração, que se refere a esquemas, que além da geração de energia elétrica, ainda produz utilidades.

Com a geração distribuída, o consumidor, podendo gerar sua própria energia, evolui de uma posição passiva para ativa no setor elétrico. Em 2016 houve um salto de mais de quatro vezes no número de instalações, terminando o ano com 81 MW instalados, distribuídos em 7,7 mil unidades consumidoras. Em outubro de 2017, havia 16.201 unidades consumidoras, mais que o dobro do ano anterior (ANEEL, 2017). Apesar do crescimento recente, essa modalidade de geração ainda é insignificante no Brasil segundo o PDE, havendo espaço para se desenvolver muito mais na próxima década (EPE, 2017).

No Brasil, esse tipo de modalidade de geração foi regulamentado em 2012 pela ANEEL, através da Resolução Normativa (REN) n° 482, que instituiu o sistema de compensação (*net metering*) no país. De acordo com a ANEEL (2012), o sistema de compensação é um arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com

³⁶ A unidade consumidora de energia elétrica é classificada em dois grupos: A e B. O grupo A (alta tensão) é composto por unidades consumidoras que recebem energia em tensão igual ou superior a 2,3 kilovolts (kV) ou são atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica (aplicada ao consumo e à demanda faturável). No grupo A, subdividido em seis subgrupos, geralmente se enquadram indústrias e estabelecimentos comerciais de médio ou grande porte. O grupo B (baixa tensão) é caracterizado por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV, com tarifa monômica (aplicável apenas ao consumo). Está subdividido em quatro subgrupos. O consumidor do tipo B1 é o residencial. O consumidor rural é chamado de B2, enquanto estabelecimentos comerciais ou industriais de pequeno porte, como por exemplo uma pastelaria ou uma marcenaria, são classificados como B3. A iluminação pública é enquadrada no subgrupo B4. (ANEEL, 2017). http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/folder_perguntas%20e%20respostas_414_final.pdf

microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. Por meio deste sistema, um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora (como, por exemplo, painéis solares fotovoltaicos ou pequenas turbinas eólicas) e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade. Quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia poderá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na própria fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses (já alterado pela REN nº 687 de 2015). Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outra unidade consumidora de energia elétrica.

Em 2015, a REN nº 482 foi atualizada pela REN nº 687, com o objetivo de tornar o processo de conexão mais célere e ampliar o acesso à geração distribuída para um número maior de unidades consumidoras. Atualmente, a resolução permite a conexão de geradores de até 5 MW na rede de distribuição (antes da atualização era apenas até 1 MW), a partir de fontes renováveis de energia ou cogeração qualificada. Apesar do crescimento recente, essa modalidade de geração ainda precisa se disseminar pelo país. A Figura 17 traz a evolução das conexões de GD no Brasil desde 2012.

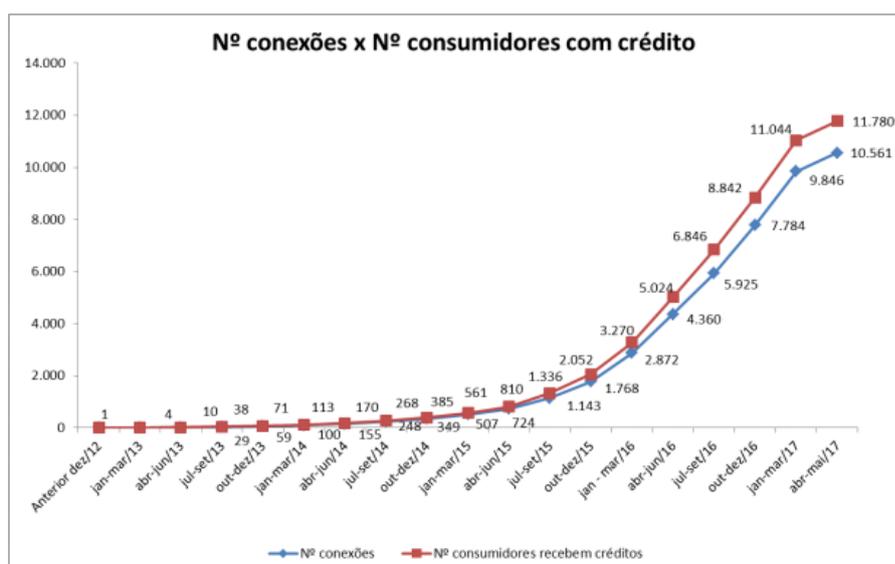


Figura 17: Número de conexões de geração distribuída no Brasil
Fonte: ANEEL, 2017

O documento para consulta pública do PDE 2026 (EPE, 2017) afirma que entre as tecnologias de geração distribuída de pequeno porte, destaca-se a baseada no aproveitamento solar fotovoltaico e ela se apresenta com maior potencial de penetração no horizonte decenal, em razão da sua modularidade e custo decrescente. Além dela, o plano considera também a contribuição de sistemas a biogás de pequeno porte. Segundo o PDE, em 2026, estimam-se cerca de 770 mil adotantes de sistemas fotovoltaicos sob o regime da REN 482, totalizando 3,6 GWp, suficiente para atender 0,6% do consumo total nacional. A evolução das plantas a biogás é menor, com a perspectiva de aproximadamente 300 MW no final do horizonte do Plano. A Figura 18 traz a perspectiva do PDE 2026 para a energia fotovoltaica e o biogás via GD no Brasil. Partindo de um mesmo patamar inicial em 2016, a energia fotovoltaica dispara enquanto o biogás apresenta taxa menor. Um ponto importante de considerar em relação à fonte é seu fator de capacidade. O biogás apresenta fator de capacidade em torno de 80%, enquanto a energia solar fotovoltaica apresenta em torno de 17% (EPE, 2017), o que poderia alterar a perspectiva de crescimento do biogás no país.

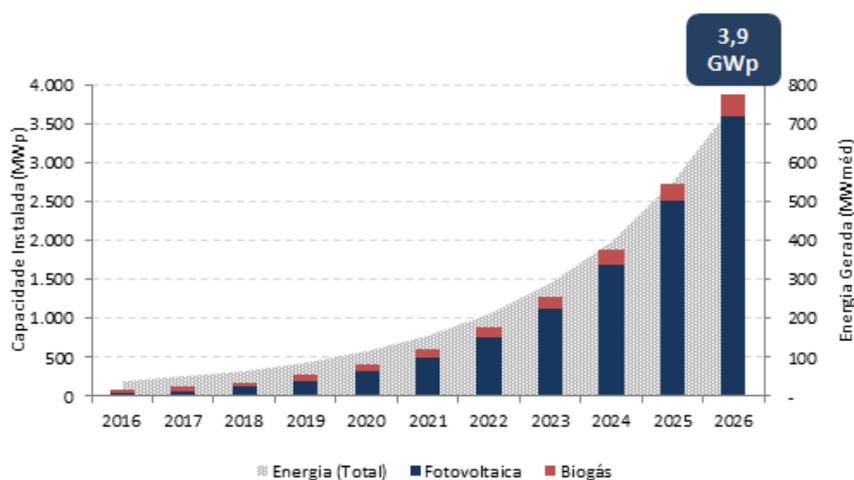


Figura 18: Capacidade instalada e energia a partir da geração distribuída fotovoltaica e de biogás³⁷
Fonte: EPE, 2017

Uma perspectiva crítica em relação à geração distribuída no Brasil e seu esquema de compensação líquida de energia (*net metering*) se refere ao uso de tarifas monômias, como hoje é praticado, que segundo a EPE (2017) traz um problema para o equilíbrio das tarifas de energia elétrica. Segundo o documento de consulta pública do PDE 2026, a distribuidora tem custos fixos e variáveis embutidos na sua tarifa, e o gerador, ao reduzir a sua conta via compensação, deixa de contribuir com as duas parcelas, enquanto não são reduzidos os dois

³⁷ A figura foi reproduzida como apresentada no documento do PDE 2026, onde a unidade de medida MWp foi utilizada erroneamente também para o biogás.

custos para a distribuidora. Diante disso, os custos fixos passam a ter que ser cobertos pelos demais consumidores, através de aumentos na tarifa. Esse aumento na tarifa de energia elétrica acaba tornando o investimento em geração distribuída mais atrativo, levando novos consumidores a optarem por gerar sua própria energia, agravando o problema das distribuidoras. Pelo fato da difusão da GD ainda ser baixa no país, seu impacto nas tarifas ainda é insignificante, porém, considerando a perspectiva a longo prazo, um dos desafios será criar condições que estimulem sua difusão, que ao mesmo tempo não onerem outros consumidores, e que não prejudiquem as atividades da distribuidora, pois o acesso à rede é fundamental para a existência da GD no sistema de *net metering* utilizado no país (EPE, 2017). A principal solução discutida para tal é a inserção da tarifa binômia, que provavelmente reduzirá o interesse pela GD, sobretudo no que se refere as alternativas mais caras.

A partir das informações sobre a GD no Brasil apresentadas, infere-se que o biogás é uma das fontes que poderia ser mais explorada dentro do arcabouço regulatório do *net metering* e isso será abordado em mais detalhe no capítulo 5 deste trabalho. No item seguinte, será contextualizado o setor de transporte, um regime considerado relevante para a difusão do biogás purificado (biometano) no Brasil.

3.3 Setor de transporte: quadro atual do setor de transporte rodoviário no Brasil

De acordo com o BEN (EPE, 2017), o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética, segundo setor em emissões no país, atingiu 428,95 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, sendo a maior parte (194,3 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes, que foi o segundo maior demandante de energia no país totalizando 32,4%, apenas após o setor industrial.

O setor de transportes apresentou em 2016 uma frota circulante de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus de aproximadamente 42,9 milhões de unidades. A frota circulante brasileira está predominantemente concentrada em cinco Estados, que juntos somam 72,8% de todos os veículos que transitam no país: São Paulo, com 36,8% do total; Minas Gerais, 10,4%; Rio de Janeiro, 9%; Rio Grande do Sul, 8,5%; e Paraná, com 8,1%. Sobre os combustíveis utilizados, em 2016, os veículos flex representaram quase 59,8% da frota total, e os veículos a gasolina, 29,4%. Somados, chegam a quase 90% de todos os automotores circulantes. A frota movida apenas a álcool vem diminuindo a cada ano, atingindo menos de 1% em 2016. Já os veículos a diesel vêm se mantendo em torno de 9,8%

do total que circula no país. Os veículos movidos a GNV, os tetrafuel e os híbridos elétricos, segundo o Sindipeças, não são representativos e, por conta disso, não estão contidos na Figura 19 que apresenta a evolução da frota brasileira por tipo de combustível. A Figura 20 apresenta a evolução da frota a gasolina e da frota flex desde 2007 (SINDIPEÇAS, 2017).

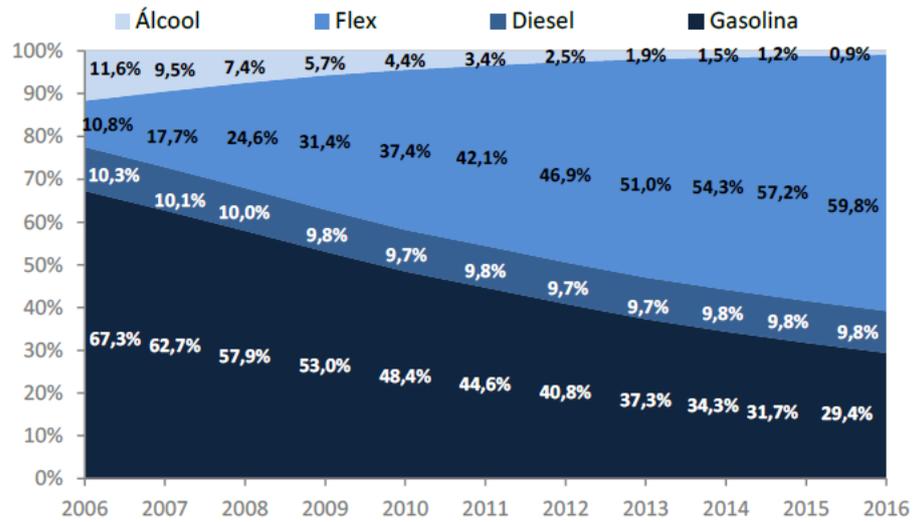


Figura 19: Frota brasileira por tipo de combustível
 Fonte: Sindipeças, 2017

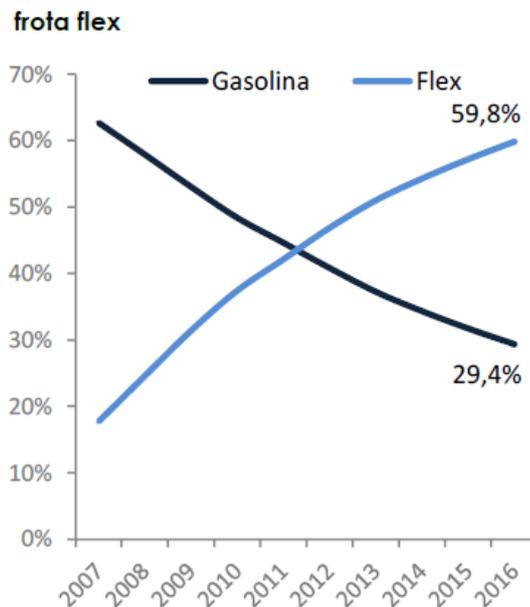


Figura 20: Frota flex X frota a gasolina
 Fonte: Sindipeças, 2017

Segundo estimativas do documento de consulta pública do PDE 2026,

a frota de veículos leves representa cerca de 95% da frota total de autoveículos (caminhões, ônibus e veículos leves). Na próxima década, estima-se que a frota de veículos leves alcance 52 milhões de unidades em 2026, o que corresponde a uma taxa de motorização de 4,3 habitantes por autoveículo. A atividade total do transporte de passageiros aumentará cerca de 4% ao ano, entre 2016 e 2026. O transporte coletivo atenderá a maior parte do crescimento da demanda por mobilidade no período considerado. A expansão da participação do transporte coletivo sobre a atividade total de passageiros, aliada aos avanços tecnológicos dos veículos, contribui para o aumento da eficiência energética no sistema. No caso do transporte de cargas, considerou-se que a atividade aumenta 3,5% a.a. entre 2016 e 2026. O modal ferroviário assumirá participação crescente na matriz de atividade de cargas, passando de 27,2% para 31,4% no período de projeção, dado que projetos ferroviários com execuções físicas avançadas devem entrar em operação. No entanto, o transporte de cargas através de caminhões a diesel continuará altamente preponderante. A demanda total de energia do setor de transportes aumentará, em média, 1,6% a.a. entre 2016 e 2026, com destaque para o crescimento da participação do etanol hidratado e óleo diesel. A demanda de eletricidade, apesar de seu alto crescimento, apresenta ainda uma pequena participação de 0,3% em 2026 (EPE, 2017,p.32).

Apesar dessa diminuição da frota a gasolina nos últimos anos, pelo fato do seu preço ter ficado mais competitivo, houve um aumento da demanda por este combustível no setor de transportes, gerando impacto negativo na renovabilidade da matriz energética do setor de 22% para 20% em 2016 de acordo com BEN (EPE, 2017). No entanto, com os aumentos recentes da gasolina, atingindo valor médio em setembro de 2017 de R\$ 3,850 por litro, espera-se que outras fontes voltem a ganhar cada vez mais espaço, inclusive o biogás refinado (biometano).³⁸ Abaixo se apresenta a Tabela 7 com preço médio dos principais combustíveis comercializados no Brasil no mês de agosto de 2017 (ANP, 2017), onde o GLP apresenta o maior preço médio de revenda e o GNV o menor.

Tabela 7: Preço médio de revenda dos combustíveis – Agosto 2017

PRODUTO	POSTOS PESQUISADOS	UNIDADE DE MEDIDA	PREÇO MÉDIO REVENDA
ÓLEO DIESEL	8423	R\$/l	3,102
ÓLEO DIESEL S10	11466	R\$/l	3,237
ETANOL HIDRATADO	13220	R\$/l	2,611
GASOLINA COMUM	14838	R\$/l	3,781
GLP	12046	R\$/13kg	57,601
GNV	841	R\$/m3	2,368

Fonte: ANP, 2017

³⁸ <https://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/preco-da-gasolina-sobe-19-na-semana-e-bate-novo-recorde-no-ano-diz-anp.ghtml>

O BEN 2017 também apresenta o consumo de energia no setor de transportes, incluindo nesse caso todos os modais além do rodoviário, onde o óleo diesel passa então a ter maior representatividade, com 43,9% do consumo, 29,3% a gasolina, 4% o querosene de aviação, 3,3% o biodiesel e 1,9% o gás natural (outros combustíveis representam 0,8%) (EPE, 2017). Ainda de acordo com a EPE (2017), o óleo diesel mineral é a principal fonte utilizada para transporte de cargas pesadas no país e, apesar de seu consumo potencial ser reduzido com um aumento da participação do biodiesel no óleo diesel comercializado, ainda ganha importância entre os derivados de petróleo, com um crescimento médio anual de 1,6%.

Em termos de consumo energético, o setor de transportes deixará de liderar no horizonte decenal, após o setor industrial, no ranking dos setores consumidores de energia. Entretanto, se mantém como um dos setores ainda com demanda significativa por conta do segmento de transporte rodoviário (EPE, 2017).

Um ponto relevante se refere aos impactos à saúde e ao meio ambiente, relacionados ao uso majoritariamente de combustíveis fósseis no setor de transportes. Um estudo recente demonstrou que em São Paulo há incremento considerável na concentração de partículas ultrafinas, que entram nos alvéolos pulmonares e causam malefícios à saúde, quando altos preços do etanol levaram dois milhões de motoristas a substituir o combustível por gasolina. Por outro lado, os pesquisadores observaram que, quando os preços do etanol voltaram a cair, a concentração das nanopartículas também diminuiu na atmosfera (ESTADÃO, 2017).

Além de serem poluentes e poderem causar danos ambientais, o aumento de concentração de partículas ultrafinas pode exacerbar a incidência de diversas doenças respiratórias. Os pesquisadores também alertam que esse tipo de partícula não costuma ser controlado por agências ambientais, que em geral observam gases, como monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, ou material particulado, já bem conhecido pelos seus malefícios à saúde. Nanopartículas, justamente por seu diminuto tamanho, podem ser também bastante prejudiciais, pois como são extremamente pequenas (somente 10 a 50 nanômetros), e se comportam como gases, têm acesso direto aos alvéolos pulmonares adentrando na parte mais interna do pulmão, o que não ocorre com as partículas maiores (ESTADÃO, 2017)³⁹. Tudo isso reforça a relevância de incentivar combustíveis renováveis

³⁹ <http://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/ambiente-se/troca-de-etanol-por-gasolina-piora-presenca-de-nanoparticulas-no-ar/>

para o setor de transportes e o biometano pode ser uma alternativa, como substituto do gás natural veicular (GNV) e pode substituir também o diesel.

Em relatório recente, o Greenpeace e o Instituto Saúde e Sustentabilidade (2017), considerando a manutenção da utilização do diesel B7 na matriz energética de transporte público apenas no município de São Paulo entre 2017 e 2050, estimam durante esse período a ocorrência de 178.155 mortes atribuíveis à poluição do ar e, considerando a perda de produtividade associada, um custo destas mortes precoces em aproximadamente R\$ 54 bilhões em valores de 2015. Apesar de o relatório objetivar a eletrificação completa do setor de transportes brasileiro, o biometano poderia ser considerado uma alternativa associada aos carros elétricos. No que se refere aos carros elétricos e a crença de que sua difusão eliminará a questão de poluentes na atmosfera, Timmers e Achten (2016) afirmam que os governos têm incentivado pesadamente o estabelecimento do mercado de carros elétricos com o objetivo de reduzir a poluição atmosférica. No entanto, eles sugerem que os carros elétricos podem não proporcionar a redução nos níveis de materiais particulados como esperado, pois defendem que,

their relatively high weight as far as electric vehicles were found to be 24% heavier than equivalent internal combustion engine vehicles. Therefore, it could be concluded that the increased popularity of electric vehicles will likely not have a great effect on PM levels (TIMMERS & ACHTEN, 2016, p.10).

A partir do que foi exposto acima, o biometano pode se firmar como alternativa renovável para o abastecimento do setor de transporte brasileiro. Com as altas recentes do preço da gasolina e o crescimento dos carros movidos a GNV nos últimos anos, mesmo que ainda quantitativamente inexpressivo frente ao total de veículos, o biocombustível poderia ser explorado para substituir o gás natural onde há contexto favorável para produção de biogás e seu refinamento para torna-lo o biometano. No tópico seguinte, para fechar essa contextualização, serão abordadas características do setor agropecuário brasileiro, que demonstram a importância de o biogás ser explorado por seus agentes.

3.4 Setor agropecuário: quadro atual do setor agropecuário brasileiro

A agropecuária consiste no conjunto de atividades associadas ao cultivo de plantas (agricultura) e à criação de animais (pecuária) para o consumo humano ou para o fornecimento de matérias-primas para outros processos produtivos. Esse segmento da economia manteve sua participação relativamente estável no valor adicionado da economia

nos últimos 10 anos e tem grande representatividade econômica para o país. O setor, apesar dos gargalos de infraestrutura associados principalmente ao escoamento da produção, conseguiu se beneficiar, na maior parte do período, do patamar elevado dos preços das commodities agrícolas no mercado internacional (EPE, 2016).

De acordo com a ABIOGÁS (2015), o setor do agronegócio (agricultura e pecuária) é a principal força da economia brasileira e responde por um em cada três reais gerados no país, sendo responsável por 40% do Produto Interno Bruto (PIB), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros. Além disso, é um grande consumidor de energia, sendo “responsável por 37% do consumo de energia brasileira, ou aproximadamente 190 TWh (16 milhões de toe) dos 500 TWh (42 milhões de toe) consumidos anualmente” (ABIOGÁS, 2015, p.24).

O investimento em tecnologia de correção e em melhorias químicas dos solos, bem como o desenvolvimento de novas variedades agrícolas aliado ao empreendedorismo dos produtores, impulsionou nos anos mais recentes o crescimento significativo dos setores da agricultura e da pecuária no Brasil, e os transformou em uma das principais alavancas de crescimento econômico. As diversas cadeias produtivas que compõem a agricultura, a pecuária e as florestas plantadas representam segmentos de significativa importância para o país, proporcionando suporte à estabilização da economia nacional, sobretudo, em função da contribuição significativa nos sucessivos saldos positivos da balança comercial. Juntas, a agricultura familiar e a agricultura empresarial contribuem para a geração de milhares de empregos e respondem por parcela considerável do PIB nacional, sendo responsáveis pelo abastecimento de alimentos, tanto no mercado interno quanto no externo (MAPA, 2017). De acordo com a ABIOGÁS (2015), em Conferência das Nações Unidas para o Comércio e Desenvolvimento, em 2015, o Brasil foi colocado como o maior produtor de alimentos do mundo na próxima década.

Para a quase totalidade dos setores econômicos, o principal componente em termos de emissões de GEE é o consumo direto e indireto de combustíveis fósseis, como nos processos de geração de eletricidade, de calor ou no setor de transporte. No setor agrícola, entretanto, as emissões decorrem prioritariamente de processos bióticos inerentes ao uso e ao manejo do solo, à fisiologia específica de animais de rebanho (fermentação entérica de bovinos ruminantes) e, ainda, ao tratamento e à disposição de resíduos vegetais e animais, além do manejo de áreas nativas para sua transformação em agroecossistemas. Além disso, em seus processos produtivos, o custo da energia situa-se entre os três principais itens que

mais oneram o orçamento, por conta da necessidade de energia elétrica, combustível e, dependendo do setor, energia térmica. O setor agropecuário é consumidor de montante expressivo da energia elétrica nacional e de combustíveis fósseis, principalmente o diesel (ABILOGÁS, 2015, p.6; MAPA, 2017).

Especificamente no que tange às emissões, somadas, as atividades de agricultura e de pecuária respondem por um quarto das emissões de GEE nacionais brutas. A expansão constante da área utilizada com atividades de agricultura e pastagem extinguiu florestas nativas, tornando durante um período a mudança do uso da terra a principal fonte de emissões de GEE no Brasil (MAPA, 2017). De acordo com o último inventário brasileiro de emissões, a agricultura e a pecuária são atividades econômicas de grande importância no Brasil e que geram emissões de GEE por diversos processos, dentre os quais se destacam: a fermentação entérica nos ruminantes; a produção dos dejetos de animais; o cultivo de arroz inundado; a queima de resíduos agrícolas; e a emissão de óxido nitroso (N₂O) em solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados.

No longo prazo, os prováveis impactos advindos com as mudanças climáticas poderão comprometer de forma expressiva a atividade agrícola. Alguns modelos apontam para cenários negativos nas condições climáticas brasileiras, indicando possíveis reduções na disponibilidade de água em determinadas regiões e seu aumento em outras. Além da insegurança hídrica, a agricultura brasileira poderá sofrer impacto com o aumento das temperaturas atmosféricas, vindo a afetar o atual mapa agrícola, o que poderá colocar em risco a segurança alimentar da população brasileira, além de gerar resultados negativos na balança de pagamentos com a redução de produtos destinados à exportação.

Por conta disso, para continuar estimulando o crescimento do setor produtivo agropecuário, promover a redução das emissões de gases de efeito estufa e a eficiência energética no setor, novas tecnologias devem ser utilizadas pela agricultura brasileira, entre elas o processo de biodigestão para produção de biogás e seu refino, para geração do biometano.

Para estimular a redução das emissões no setor e o uso de novas tecnologias, o governo instituiu o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também intitulado de Plano ABC. Ele é uma importante parte do compromisso de reduzir as emissões de GEE, assumido pelo Brasil na 15ª Conferência das Partes (COP15) ocorrida em Copenhague no ano de 2009.

Seu objetivo geral é promover a redução das emissões de GEE na agricultura, conforme preconizado na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), melhorando a eficiência no uso de recursos naturais e aumentando a resiliência de sistemas produtivos e de comunidades rurais, possibilitando assim a adaptação do setor agropecuário às mudanças climáticas.

O plano é uma política pública que apresenta o detalhamento das ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima para o setor agropecuário, e aponta de que forma o Brasil pretende cumprir os compromissos assumidos de redução de emissão de GEE neste setor. Ele foi fruto de trabalho coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, pelo Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (Mapa) e pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA)⁴⁰, com participação e representatividade da sociedade civil e foi aprovado em maio de 2011.

Os objetivos específicos do plano são contribuir para a consecução dos compromissos de redução da emissão de GEE assumidos voluntariamente pelo Brasil, no âmbito dos acordos climáticos internacionais e previstos na legislação; garantir o aperfeiçoamento contínuo e sustentado das práticas de manejo nos diversos setores da agricultura brasileira que possam vir a reduzir a emissão dos GEE e, adicionalmente, aumentar a fixação atmosférica de CO₂ na vegetação e no solo dos setores da agricultura brasileira; incentivar a adoção de Sistemas de Produção Sustentáveis que assegurem a redução de emissões de GEE e elevem simultaneamente a renda dos produtores, utilizando diversas tecnologias, entre elas incentivando o uso de tratamento de dejetos animais para geração de biogás e de composto orgânico.

No que se refere especificamente ao tratamento de dejetos animais para geração de biogás, tema desta tese, o plano instituiu a ampliação do uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos animais e explicita a utilização do biogás como tecnologia a ser utilizada para esse propósito. Especificamente sobre os indicadores de monitoramento da eficácia do plano, no que tange ao tratamento de dejetos animais, serão monitorados o volume de biogás processado; o volume de metano utilizado na geração de energia; a energia elétrica gerada a partir do uso do biogás; e as toneladas geradas de composto orgânico (MAPA, 2017). De acordo com material de divulgação do Plano ABC (MAPA, 2017),

⁴⁰ Ministério extinto pelo atual presidente Michel Temer.

A correta destinação dos dejetos e efluentes originados a partir da criação de animais estabulados tem-se constituído como um importante fator que condiciona a regularidade ambiental das propriedades rurais. O tratamento adequado desses efluentes e dejetos contribui para a redução da emissão de metano que representa o equacionamento de um problema ambiental, além de possibilitar um aumento na renda dos agricultores, seja pelo composto orgânico produzido ou pela geração de energia automotiva, térmica e elétrica por meio do uso do biogás. Os processos de biodigestão e compostagem já são conhecidos e proporcionam a redução de custos de produção por evitar consumo de energia, insumos químicos, diminuir os riscos para o meio ambiente, bem como reduzir a emissão de GEE. Propõe-se disponibilizar a agricultores, cooperativas e associações que trabalham nas cadeias da suinocultura, bovinocultura e avicultura os investimentos e as infraestruturas adequadas e necessárias para a adoção de tecnologias de tratamento de dejetos e efluentes de animais.

O plano também instituiu desafios para conseguir alcançar o objetivo de promover o tratamento de dejetos animais, tais quais listados abaixo (MAPA, 2012):

- Conquistar a adesão dos produtores, das empresas integradoras e cooperativas, em função das vantagens da biodigestão anaeróbica com ou sem geração de energia e da compostagem a partir do tratamento de dejetos animais e efluentes agroindustriais;
- Reduzir a emissão de gás metano (CH₄) por dejetos;
- Disseminar o conceito do potencial econômico do biogás e da compostagem, bem como das vantagens para viabilizar ações, investimentos e custeios de ações em saneamento e meio ambiente;
- Qualificar técnicos e produtores para elaboração e implantação de projetos de geração de energia e compostagem a partir do tratamento de dejetos e efluentes oriundos da criação de animais;
- Fortalecer a assistência técnica pública e privada em todo o território nacional;
- Aumentar a compra de energia, por parte das empresas distribuidoras, pelo processo de geração distribuída;
- Incentivar a eficiência energética nas propriedades rurais e agroindústrias, a partir do aproveitamento em suas produções do biogás gerado em estações de tratamento de efluentes industriais e dejetos animais;
- Viabilizar e articular mecanismos de transferência de tecnologia para implantação de biodigestores e composteiras;
- Consolidar os índices técnicos brasileiros que apontem a redução de emissão de GEE a partir da adoção de técnicas de biogás e compostagem;
- Criar rede laboratorial de referência para biogás e compostagem, a fim de constituir base científica para o desenvolvimento do biogás enquanto produto combustível;
- Desenvolver pesquisa e validação de metodologia de redução de emissão de GEE para animais estabulados ou semiconfinados;
- Reduzir o consumo de água nos sistemas produtivos e evitar contaminação dos recursos hídricos;

- Viabilizar economicamente a elaboração e a implementação de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Sobre o monitoramento dos indicadores que tratam a questão do tratamento dos dejetos especificamente, não foram encontrados relatórios atualizados que apresentem a evolução dos objetivos colocados no plano. Além disso, é importante ressaltar que apenas dispor de um plano, sem ferramentas que incentivem a adoção das soluções propostas, tais como mecanismos de financiamento e capacitação, e sem acompanhamento da sua evolução, pode não promover os efeitos desejados. De qualquer forma, o estabelecimento do biogás como alternativa a ser seguida em uma das principais políticas públicas do setor agrosilvopastoril brasileiro, demonstra a importância da fonte em mais um sistema sociotécnico no país e legitima ainda mais sua relevância.

Diante disso, os temas apresentados neste capítulo objetivaram demonstrar a importância que o biogás e o biometano podem ter para ajudar a solucionar desafios em diferentes setores (sistemas sociotécnicos) da economia brasileira e como já há espaço para que sua difusão ocorra no país. No entanto, ainda há entraves e desafios para isso acontecer. No capítulo seguinte serão apresentadas informações sobre a tecnologia do biogás e no capítulo cinco é explorado como se configura o sistema energético em relação ao biogás e no seis será avaliada a trajetória de sua difusão no país até o momento, assim como os principais obstáculos que precisam ser superados.

4. O BIOGÁS E SEU USO COMO FONTE ENERGÉTICA

A digestão anaeróbica é um processo biológico que ocorre espontaneamente e serve para tratar resíduos orgânicos produzindo valiosos e vem sendo praticada, para fins específicos, no mundo há mais de 100 anos. O que tem se apresentado como novidade, sendo países europeus os maiores responsáveis, é a aplicação desse processo biológico em escalas cada vez maiores e a gestão de uma gama maior de resíduos orgânicos para atender a demanda por fontes energéticas renováveis. O avanço em relação à tecnologia do biogás e a maior difusão da fonte ocorreram graças ao amplo processo de aprendizado através de pesquisa, prática e inovações em tecnologias e sistemas e, como será apresentado ao longo do capítulo, forte participação governamental neste processo.

Atualmente, há milhares de equipamentos de digestão anaeróbica estão processando com sucesso muitas toneladas de resíduos orgânicos municipais, agrícolas e industriais, gerando eletricidade, calor e gás natural renovável (biometano), assim como nutrientes de alto valor para os solos e plantas (WELLINGER et al., 2013). No entanto, ainda há muito que precisa ser feito para explorar o potencial de produção de energia a partir do biogás no mundo e, mais ainda, no Brasil. Nos itens a seguir a tecnologia do biogás será apresentada a partir de diversos tópicos relacionados. O objetivo deste capítulo é apresentar de forma breve e superficial a tecnologia, questões associadas e como se configura a produção e uso do biogás no mundo.

4.1 Características e processo produtivo

O biogás é formado naturalmente a partir da exposição de todas as formas de biomassa a condições anaeróbicas (ausência de oxigênio). Este biogás que é produzido naturalmente é emitido para a atmosfera onde seu componente principal, o metano, contribui para o aquecimento global. Dito isto, a exploração energética do biogás não é recente (WELLINGER et al., 2013). A fonte em seu estado bruto já é utilizada há muitas décadas em países como Índia e China, principalmente para cocção. A partir da década de 70, por conta da insegurança energética promovida pela Crise do Petróleo, países desenvolvidos, como Alemanha e Suécia, começaram a investir no biogás e aprimorar seu processo produtivo. Durante muito tempo, o biogás não foi valorizado, sendo apenas considerado um subproduto da biodigestão de resíduos orgânicos (BLEY, 2015). No entanto, recentemente o biogás começou a ganhar relevância e a digestão anaeróbica de diferentes tipos de resíduos e

culturas energéticas, têm recebido crescente interesse, por significar potencial redução de GEE e promover a diversificação de matrizes energéticas com a entrada de mais uma fonte de energia renovável (WEILAND, 2010) e que ainda promove a melhor gestão de resíduos.

A conversão de matéria orgânica em biogás é realizada por um consórcio de microorganismos através de uma série de estágios metabólicos. As bactérias são similares às que são encontradas nos estômagos de animais ruminantes (WELLINGER et al., 2013). O processo acontece em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Cada uma depende de um conjunto de microrganismos e, como opções de processo, é possível executar todas as fases em um mesmo reator ou separá-las em dois reatores (processo bifásico). A Figura 21 apresenta as quatro etapas. No primeiro passo, compostos orgânicos complexos tais como lipídios, proteínas e polissacarídeos são convertidos em monômeros e oligômeros solúveis (por exemplo, aminoácidos, gorduras, ácidos, açúcares e glicerol) por hidrólise, também conhecida como liquefação. Este processo é facilitado por bactérias hidrolíticas ou fermentativas que liberam enzimas extracelulares. O composto solúvel resultante então é fermentado por bactérias acidogênicas em uma mistura de dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio (H_2), álcool e ácidos específicos. Esse processo é conhecido como acidogênese. Durante a acetogênese, álcoois e VFAs são oxidados anaerobicamente por bactérias acetogênicas. Na fase final, metanogênese, ocorre a transformação do acetato, H_2 e CO_2 em uma mistura de CH_4 e CO_2 (SURENDRA et al., 2014).

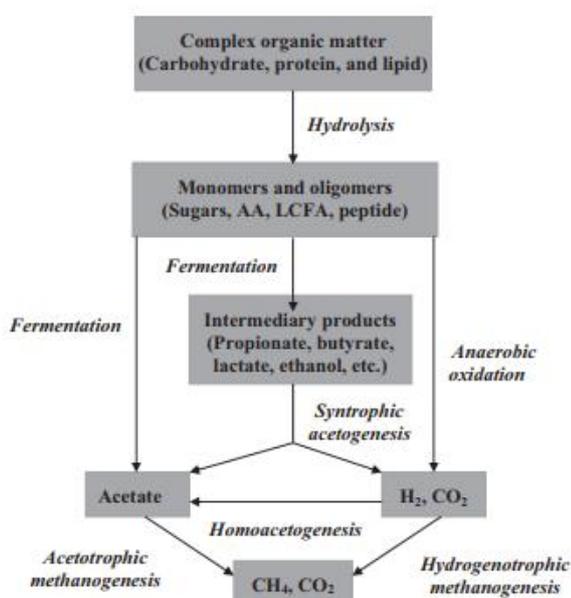


Figura 21: Etapas do processo de transformação de matéria orgânica em biogás
Fonte: Surendra et al. 2014

A metanogênese é a etapa mais sensível da digestão anaeróbia. Qualquer concentração de oxigênio é tóxica aos microrganismos e valores baixos de pH inibem sua atividade. Vale ressaltar que a queda de pH pode ser motivada pelo acúmulo de ácidos resultantes da alta atividade fermentativa (acidogênese), o que pode acontecer no caso de substratos de alto valor energético, especialmente gorduras (PROBIOGÁS, 2015).

Em relação à matéria prima utilizada para produção de biogás, ele pode ser gerado a partir de diferentes substratos orgânicos: substratos de origem agrícola, substratos de resíduos sólidos urbanos⁴¹, substratos de estações de tratamento de efluentes e substratos industriais (há também estudos sobre utilização de algas na produção de biogás). Os sistemas agrícolas de tratamento de dejetos constituem o uso mais comum da tecnologia no mundo e estações biodigestoras que utilizam a parte orgânica dos resíduos sólidos urbanos também têm ganhado cada vez mais espaço (IEA, 2017). Weiland (2010) apresenta o rendimento médio de biogás de alguns substratos conforme a Figura 22, onde os resíduos da agricultura apresentam os menores rendimentos no caso da Alemanha.

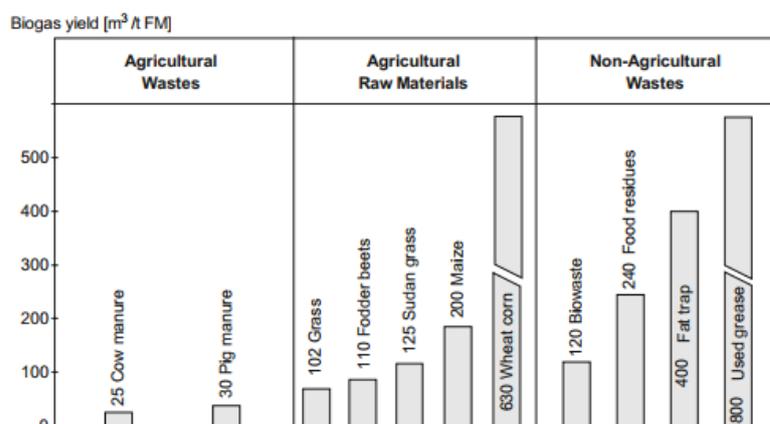


Figura 22: Rendimento médio de biogás de alguns substratos
Fonte: Weiland, 2010

Segundo o PROBIOGÁS (2015, p.12), quase todos os substratos com alto teor de matéria orgânica são adequados para utilização energética por meio da produção do biogás. Esses podem ser tanto dejetos líquidos quanto resíduos sólidos ou, ainda, biomassa dedicada, ou seja, plantas produzidas unicamente para a geração de energia. Segundo o

⁴¹ Os resíduos urbanos se caracterizam como uma mistura de resíduos sólidos de residências e comércio e os gerados nos serviços de limpeza urbana. Segundo o PROBIOGÁS (2015, p. 22), os RSU brasileiros, se comparados aos alemães, têm porcentagem maior de material orgânico (até 60%), o que, juntamente com o clima tropical, os torna mais úmidos, mesmo com coletas mais frequentes.

PROBIOGÁS (2015), os substratos com alto potencial para a produção de biogás no Brasil estão divididos em quatro grandes grupos. Primeiramente os advindos da produção agropecuária (produção primária: restos da safra, esterco, biomassa dedicada); os produzidos na indústria de alimentos (processamentos: cana-de-açúcar, amidos, cervejaria, refrigerantes, laticínios, matadouros); os de resíduos sólidos urbanos (resíduos orgânicos domésticos e municipais); e os de esgotos e lodos sanitários.

Os substratos são compostos por diferentes moléculas orgânicas, sendo que, na maioria dos casos, um grupo de substâncias predomina. Geralmente os substratos com alto teor de carboidrato (cana-de-açúcar, restos de frutas) são convertidos mais rapidamente em biogás, enquanto os com alto teor de gordura (p. ex. plantas oleaginosas) são convertidos mais lentamente (PROBIOGÁS, 2015).

Os elementos críticos para a escolha e a classificação dos substratos para a digestão anaeróbia com objetivo de produzir biogás consistem em saber a origem dos substratos, a sazonalidade dos substratos e a característica do material digerido. Substratos de mesma origem, denominados mono-substratos, geralmente já têm os requisitos para a degradação biológica, nesse caso, denominada mono-digestão. A digestão de uma mistura de substratos de diferentes origens (co-substratos) é chamada de co-digestão. Por meio da mistura consegue-se uma maior estabilidade no processo e a co-digestão consegue promover uma maior geração específica de biogás, aumentando a eficiência da planta.

No que diz respeito à questão da sazonalidade dos substratos, esse ponto é extremamente relevante no que tange aos resíduos da agricultura ou da transformação de produtos agrícolas na indústria alimentícia. Geralmente, a capacidade de adaptação de um processo a uma série de produtos sazonais (por exemplo, a indústria de frutas) é limitada e requer grande esforço. Nesse caso, um co-substrato, como a silagem (milho verde, gramíneas verdes), pode fornecer a base necessária para assegurar o funcionamento do digestor anaeróbio sem paradas. A silagem é o produto de uma fermentação realizada por bactérias lácticas e esse processo é praticado na agricultura brasileira para, por exemplo, o armazenamento de forragem verde. Mantendo as condições anaeróbias, a silagem pode ser conservada por meses e, adicionalmente, substâncias de difícil degradação, como a celulose, são preparadas para a posterior degradação metanogênica no digestor anaeróbio (PROBIOGÁS, 2015, p. 16).

Para finalizar as considerações sobre substratos, a Tabela 8 apresenta uma lista das indústrias que mais geram resíduos orgânicos no Brasil e poderiam ter maior perspectiva de

geração de biogás, confirmando o grande potencial dessa fonte no setor industrial. No entanto, vale ressaltar que a utilização energética dos substratos da indústria alimentícia geralmente requer maiores custos de investimento e operação, que somente se justificam se forem atingidas taxas de produção de biogás significativamente altas (PROBIOGÁS, 2015).

Tabela 8: Indústrias que mais geram resíduos orgânicos

Açúcar e Etanol (vinhaça, torta de filtro e bagaço)
Refrigerantes (efluentes e restos de produção)
Cervejarias (efluentes e resíduos, como bagaço de malte e restos de filtro)
Sucos e Vinhos (efluentes, lotes estragados e biomassas geradas na filtração)
Conservas e Frigoríficos (efluentes, resíduos e restos da produção)
Oleos e Margarinas (efluentes, torta de filtro de gordura e outros resíduos da produção)
Carne e Açougues (efluentes, sangue, intestinos, carne não comercializável e gordura)
Laticínios (soro de leite, lotes estragados e separador de gordura)
Amidos e Farinhas de cereais, mandioca, batatas (efluentes e restos da produção)
Panificação (efluentes da produção e resíduos da limpeza, lotes com falha, etc.)
Celulose, Papéis e Cartonagens (efluentes da produção)
Farmacêuticas (efluentes e resíduos com alto teor de substâncias biodegradáveis)
Café e Chás (efluentes e biomassas geradas na separação e na filtração, etc.)
Leveduras, Doces e outros produtos (efluentes da produção)

Fonte: Probiogás, 2015

O biogás é um composto gasoso, que assim como o gás natural, é constituído majoritariamente de metano. É considerado um recurso renovável porque faz parte do ciclo biogeoquímico do carbono. Nele, toda a matéria orgânica de origem vegetal ou animal, que morra, ou esteja velha, fraca, doente e fique exposta ao meio ambiente natural ou a processos sanitários, imediatamente é atacada por microrganismos detritívoros (BLEY, 2015). Em alguns ambientes, como em aterros sanitários e lixões, a produção de biogás ocorre espontaneamente. Na produção dedicada de biogás, os substratos são alimentados em um digestor. Dependendo da mistura do substrato e de outras condições do processo, são utilizados diferentes tipos de biodigestores e os substratos permanecem neles sob diferentes temperaturas e durante diferentes períodos (OLSSON & FALLDE, 2015). Alguns substratos, como resíduos de animais e estrume, requerem higienização, isto é, aquecimento do substrato para eliminar os agentes patogênicos (LANTZ, 2012).

A produção de biogás geralmente é mais intensa em condições tropicais de temperatura e biodiversidade, o que faz do Brasil um país especialmente propício para a fonte (BLEY, 2015, p. 72). No entanto, mesmo sem condições ideais de temperatura e biodiversidade, países como Alemanha, Suécia, Reino Unido, Áustria e Itália têm atingido patamares tecnológicos altos e hoje são referência nessa prática no mundo.

Em relação à sua composição, assim como o gás natural, o biogás é composto essencialmente de metano (50 a 75% por volume). Além disso, seu segundo componente é o

dióxido de carbono (25 a 50%). Além deles, ele é também composto por água, oxigênio, traços de enxofre e sulfato de hidrogênio (WELLINGER et al., 2013; SVLG, 2016). Ele pode também conter traços de substâncias voláteis. Um exemplo da composição do biogás produzido em uma usina comum a partir de esterco seria 60% de metano, 38% de dióxido de carbono e 2% de gases residuais. A Figura 23 apresenta especificidades do biogás o comparando com outros gases.

	Biogás (60 % CH ₄)	Gás natural	Propano	Metano	Hidrogênio
Poder calorífico (kWh/m ³)	6	10	26	10	3
Massa específica (kg/m ³)	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Densidade relativa ao ar	0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura de ignição (°C)	700	650	470	595	585
Vel. máx. de propagação de chama no ar (m/s)	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Faixa explosiva (% v/v)	6–22	4,4–15	1,7–10,9	4,4–16,5	4–77
Requisito teórico de ar (m ³ /m ³)	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

Figura 23: Propriedades do biogás e de outros gases
Fonte: SVLG, 2016

A Figura 24 e a Figura 25 apresentam o controle de concentração de CH₄ e de CO₂ de uma das plantas visitadas durante a pesquisa para a tese. Elas demonstram uma média de 67% de metano e 31% de dióxido de carbono na composição do biogás gerado por três reatores horizontais. A usina fica localizada na região sul do país e produz biogás e biometano a partir de resíduos de indústrias alimentícias da região. A empresa, antes de investir no biogás, já realizava e ainda realiza o serviço de compostagem.

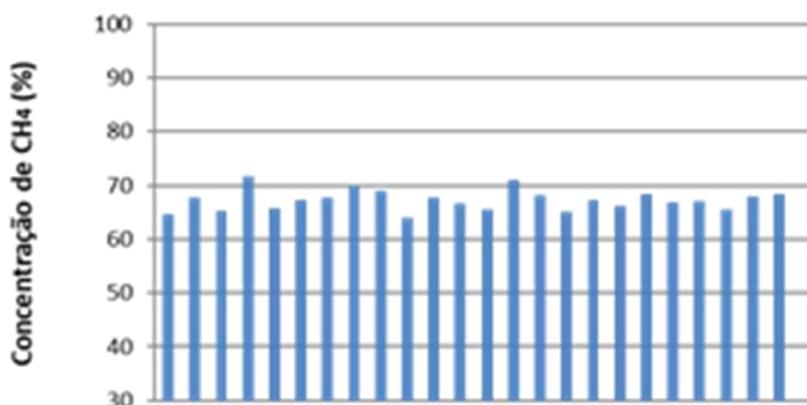


Figura 24: Concentração de CH₄ no biogás (medições diárias entre jan e fev de 2017)
Fonte: Ecocitrus, 2017

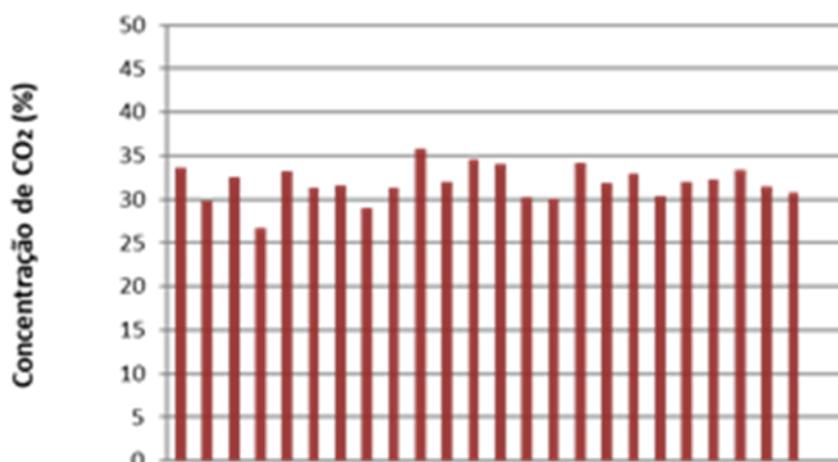


Figura 25: Concentração de CO₂ no biogás (medições diárias entre jan e fev de 2017)
 Fonte: Ecocitrus, 2017

No que tange às opções tecnológicas para produção de biogás, há inúmeras tecnologias para sua produção e geralmente elas são classificadas entre processos secos e molhados. Os processos mais utilizados se referem às tecnologias molhadas, onde tanques biodigestores⁴² (reatores) recebem diferentes tipos de substratos. O PROBIOGÁS (2015) define duas tecnologias mais usuais utilizadas baseadas em reatores de mistura contínua que são chamados de *Continuous Flow Stirred Tank Reactor* (CSTR). A primeira tecnologia é denominada de CSTR versão básica. Ela é especialmente utilizada para o tratamento de dejetos animais e apresenta construção, equipamentos, operação e manutenção relativamente simples. A segunda tecnologia é denominada de CSTR versão avançada. Ela é utilizada para substratos complexos, com altas cargas orgânicas e têm processo de construção mais elaborado, com reatores mais altos e misturadores centrais, necessitando de um maior investimento. Além do CSTR com processo anaeróbio completo, existem os CSTR bifásicos, nos quais o processo ocorre separadamente em duas etapas. (PROBIOGÁS, 2015).

Uma alternativa bastante utilizada no Brasil se refere à lagoa anaeróbia coberta. Elas são fáceis de serem construídas e são muito utilizadas no país para o tratamento de efluentes provenientes da agropecuária, da indústria (laticínios, carne e outros) e no tratamento do esgoto sanitário. No entanto, segundo o PROBIOGÁS (2015, p.30) elas geralmente não são capazes de tratar completa e adequadamente os efluentes e, em muitos casos, não

⁴² “Os biodigestores são grandes recipientes dimensionados especialmente para digerir biomassas de diferentes origens, como efluentes industriais, dejetos animais, resíduos sólidos orgânicos de diversas origens, que livres na natureza, representam sérios impactos ambientais, tanto em relação à poluição hídrica como atmosférica”. (BLEY, 2015, p.73)

apresentam cobertura eficaz, deixando escapar gás metano para a atmosfera. Para lidar com estas questões algumas abordagens alternativas têm buscado combinar as vantagens econômicas das lagoas anaeróbias em clima quente a uma melhor eficiência do tratamento e da produção de biogás, sendo elas as opções de lagoas com misturador (podem representar uma alternativa ao reator de mistura contínua (CSTR) e um *upgrading* das lagoas anaeróbias existentes) e as lagoas intensificadas (*Anaerobic Organized Pond Reactor*), que possibilitam processos anaeróbios mais eficientes pela aplicação do efluente em toda área do fundo. As lagoas anaeróbias cobertas com misturador são muito comuns e representam o estado da arte em países com climas tropicais como o Brasil, combinando vantagens das lagoas cobertas com as do CSTR. A Figura 26 apresenta as tecnologias mais difundidas para tratamento anaeróbio com utilização de biogás e suas respectivas desvantagens.

	CSTR VERSÃO BÁSICA	LAGOA ANAERÓBIA COM MISTURADOR	LAGOA ANAERÓBIA COBERTA (CLÁSSICA)
Desvantagens	Limite de aplicação para substratos com altos teores de impurezas, de natureza flutuante ou ricos em fibras.		
	Manutenção complexa dos equipamentos. Maiores custos de operação e manutenção se comparados com os das lagoas.	Separação de sólidos necessária. Custos elevados com a membrana de cobertura. Membrana única oferece pouca resistência, podendo rasgar caso não esteja sempre cheia de gás. Em comparação com CSTR: mistura limitada; limitação de fixação de agitadores; grandes superfícies; pequenas profundidades. Demanda maior de espaço e tempo de construção.	Em comparação com os CSTR, com as lagoas com misturador e com lagoas intensificadas, têm menor eficiência de degradação e menor produção de biogás.

Figura 26: Tecnologias mais difundidas para tratamento anaeróbio com utilização de biogás
Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Apenas para caráter ilustrativo, as imagens a seguir registram algumas tecnologias de produção de biogás no mundo. É importante ressaltar que há inúmeras tecnologias hoje existentes e utilizadas para produção de biogás. Segundo o PROBIOGÁS (2015, p. 64), a escolha de tecnologias para o tratamento e aproveitamento do biogás depende da composição, quantidade, continuidade de produção do biogás e das condições locais da planta.

Imagem 1: Digestor com aproveitamento de energia nos EUA: Harvest Energy Garden Walt Disney



Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Imagem 2: Reator de mistura contínua (CSTR) típico na Alemanha para digestão de silagem de milho.



Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Imagem 3: Lagoa com misturador (fase da instalação e operação)



Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Imagem 4: Lagoas cobertas de dejetos suínos



Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Imagem 5: CSTR com misturador central



Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Outra possibilidade em relação ao uso do biogás se refere ao gás gerado após seu processo de refino, denominado biometano, que pode ser substituído do gás natural, podendo ser transportado através dos gasodutos ou por meio de caminhões quando comprimido em cilindros de pressão. O biometano apresenta concentração de metano maior, em torno de 98% e as mesmas propriedades que o gás natural. A tecnologia de purificação do biogás consiste em sistema de lavagem com água pressurizada, além de possuir um filtro de carvão ativado para garantir a remoção de siloxanos e VOCs⁴³. Esse tratamento adicional que

⁴³ “Volatile organic compounds (VOCs) are emitted as gases from certain solids or liquids. VOCs include a variety of chemicals, some of which may have short- and long-term adverse health effects. Concentrations of many VOCs are consistently higher indoors (up to ten times higher) than outdoors. VOCs are emitted by a wide array of products numbering in the thousands. Organic chemicals are widely used as ingredients in household products. Paints, varnishes; and wax all contain organic solvents, as do many cleaning, disinfecting, cosmetic, degreasing and hobby products. Fuels are made up of organic chemicals. All of these products can release organic compounds while you are using them, and, to some degree, when they are stored.” (<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>)

consiste principalmente na separação do metano e do dióxido de carbono, além da retirada de componentes gasosos indesejáveis (H_2S , NH_3 e vestígios de outros gases), requer instalações de maquinários adicionais. A Figura 27 ilustra de forma simplificada o processo de produção e uso do biogás e biometano.

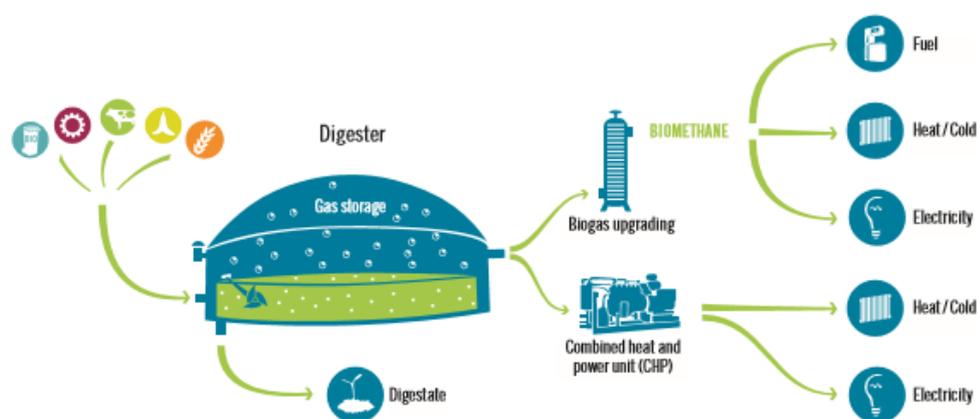


Figura 27: Descrição simplificada do processo de produção e uso do biogás e do biometano
Fonte: UNIDO & FACHVERBAND, 2017

É importante ressaltar que muitas vezes o biogás bruto, por poder ser uma mistura de vários componentes desejáveis e indesejáveis, pode necessitar de tratamento básico/preliminar antes do tratamento mais exigente, ou beneficiamento, para produção do biometano. Antes que o biogás possa ser convertido em eletricidade por meio de motores, por exemplo, o biogás bruto deve ser limpo em um primeiro processo em que o biogás saturado de vapor de água é dessulfurizado e seco por resfriamento (WELLINGER et al., 2013). O tratamento básico do biogás normalmente ocorre na usina de geração do biogás (biodigestor), e o tratamento mais exigente na unidade de beneficiamento do biogás. Como dito acima o processo principal na purificação do biogás para torná-lo biometano é a separação do CH_4 e do CO_2 . Há diversas tecnologias disponíveis no mercado para realização desse processo e muitas já se apresentam bem consolidadas. As quatro mais utilizadas são separação por membrana, métodos de adsorção (*scrubbing Technologies*), *Pressure Swing Adsorption* (PSA) e tratamento criogênico (UNIDO & FACHVERBAND, 2017).

Além disso, pode haver mais especificidades para adaptar o biogás beneficiado (biometano) aos padrões de qualidade da rede de gás natural e aos requisitos de consumidores de gás natural (veículos movidos a gás natural, flares, unidade CHP, etc.), podendo ser necessário acondicionamento adicional (por exemplo, ajuste no teor de metano

e poder calorífico, etc.), em função da legislação de cada país. Estes ajustes ocorrem nas próprias plantas de beneficiamento de biogás. Antes da injeção do biometano na rede de gás natural, podem também ser exigidas etapas complementares, tais como: ajuste de pressão, pressão de proteção, medição do gás e odorização se necessário.

Em suma, os métodos de produção de biogás são diversos e possuem características e necessidades específicas. Eles podem ser definidos pelo número de etapas do processo, temperatura, teor de matéria seca e a maneira pela qual o substrato é alimentado, apenas citando alguns exemplos. A tecnologia do biogás avançou bastante desde os primeiros biodigestores residenciais, até hoje utilizados, mas que não representam mais o estado da arte da tecnologia. Atualmente, grandes aprimoramentos foram atingidos e a tecnologia permite a produção satisfatória de biogás em muitos países que não possuem condições de temperatura ideais para isso. No tópico seguinte, serão abordados os diferentes usos do biogás.

4.2 Possibilidades de uso

No lado oposto da cadeia do biogás, que se refere a sua utilização, a fonte apresenta também versatilidade. Como já mencionado, ele pode ser utilizado para gerar eletricidade, calor e atuar como biocombustível substituto do gás natural. Atualmente a tecnologia é usada principalmente para geração de eletricidade no mundo (WELLINGER et al., 2013). Weiland (2010) corrobora que a maior utilização do biogás no mundo é para geração de eletricidade e calor, porém indica que tem crescido o interesse para sua utilização como combustível veicular renovável e para injeção na rede de gás natural. No que se refere a biodigestores de escala residencial, Surendra et al. (2014) afirmam que a tecnologia ainda é usada majoritariamente em países emergentes como Índia e China para cocção de alimentos.

Bond e Templeton (2011) enfatizam que a disseminação generalizada de biodigestores em países em desenvolvimento decorre da década de 1970 e que hoje se estimam em torno de quatro milhões e 27 milhões de biodigestores na Índia e na China, respectivamente. Todos se configuram como pequenos sistemas em áreas rurais alimentados com estrume animal para uso familiar na cocção de alimentos. O uso para cocção de alimentos, apesar de relevante para regiões específicas do Brasil⁴⁴, não será contemplado

⁴⁴ Estima-se que cerca de 3 bilhões de pessoas em todo o mundo dependem de combustíveis sólidos de biomassa, como bolos de esgoto secos, lenha, resíduos de colheita, palha ou outros resíduos agrícolas para aquecimento e cozimento. O ônus da coleta de lenha e a exposição a poluentes atmosféricos da cozinha

neste trabalho. No entanto, a utilização de biodigestores residenciais faz sentido em um país desigual como o Brasil e poderia ser alvo de políticas públicas específicas para sua disseminação e como vetor de desenvolvimento e diminuição da desigualdade. De acordo com notícias recentes famílias que utilizavam botijão em grandes cidades brasileiras, estão migrando para o uso da lenha por conta da alta do preço do gás (UOL NOTÍCIAS, 2017)⁴⁵.

Em relação ao uso em maior escala do biogás, de acordo com Lobato (2011), a fonte pode atender a diversos fins, tais como a utilização em caldeiras, fornos e estufas em substituição a outros combustíveis; a geração de eletricidade para uso local ou para venda às concessionárias de energia; a co-geração de eletricidade e calor; e o uso como combustível alternativo a ser injetado na rede de gás natural ou diretamente em veículos. Na seleção da tecnologia de conversão é importante observar algumas propriedades, além do poder calorífico e da composição do biogás, tem que se observar a presença de umidade, pressão, contaminantes, gases inertes e gases ácidos, responsáveis por corrosão precoce dos equipamentos, além da emissão de poluentes. Dependendo do tipo de uso do biogás, será selecionado o tratamento a ser realizado, podendo ser mais ou menos exigente, como já mencionado no capítulo anterior. A Figura 28 apresenta os respectivos tratamentos necessários conforme diferentes formas de uso do biogás.

doméstica recaem principalmente sobre mulheres e crianças em países em desenvolvimento. A introdução da digestão anaeróbia e do biogás como combustível doméstico pode ter um impacto muito positivo na qualidade da vida rural e, de fato, já é amplamente utilizada em países como Bangladesh e Índia (WBA, 2017). (<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2016/10/pequenos-agricultores-do-nordeste-produzem-gas-para-suas-cozinhas.html>)

⁴⁵ <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/11/16/alta-no-preco-do-botijao-faz-pobres-trocarem-gas-por-lenha-fogao-faz-falta.htm>

<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2015/10/idoso-volta-usar-fogao-lenha-para-driblar-aumento-do-botijao-de-gas.html>

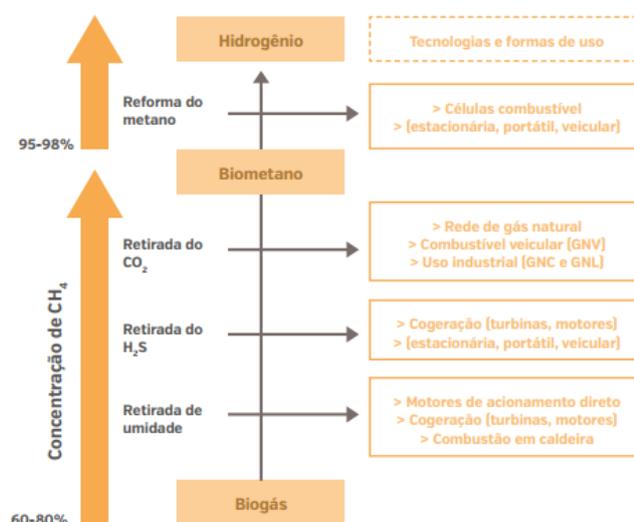


Figura 28: Tratamento conforme o uso final do biogás
 Fonte: PROBIOGÁS, 2015

O biogás bruto pode ser usado para aquecimento e produção de eletricidade, usando caldeiras e motores a gás ou turbinas. Para uso como combustível veicular ou para injeção em rede de gás natural, é necessária tecnologia e infraestrutura adicional, pois o biogás precisa ser purificado para atingir a qualidade do gás natural. No processo de refino o biogás é limpo de impurezas e o dióxido de carbono é removido, geralmente por meio de lavagem de água ou adsorção de pressão e balanço. De acordo com o PROBIOGÁS (2015, p. 64),

o biogás, tendo sido removidas as maiores contaminações (principalmente o gás H₂S), pode ser utilizado para a produção de energia elétrica (CHP) e energia térmica (aquecer, secar, resfriar). O biometano, por sua vez, resulta de uma purificação muito mais exigente aplicada em grandes e constantes volumes de biogás, e possibilita o mesmo uso que o do gás natural.

Segundo o PROBIOGÁS (2015, p.70), as principais opções de aproveitamento energético de biogás que podem ser consideradas tecnicamente amadurecidas e comprovadas na prática são: motores a gás estacionários (CHP) para gerar energia elétrica e térmica; caldeiras a gás para gerar energia térmica; injeção na rede de gás natural através da purificação do biogás a biometano, possibilitando posterior aproveitamento como energia elétrica, térmica e energia veicular. A Figura 29 ilustra as possibilidades de uso do biogás.

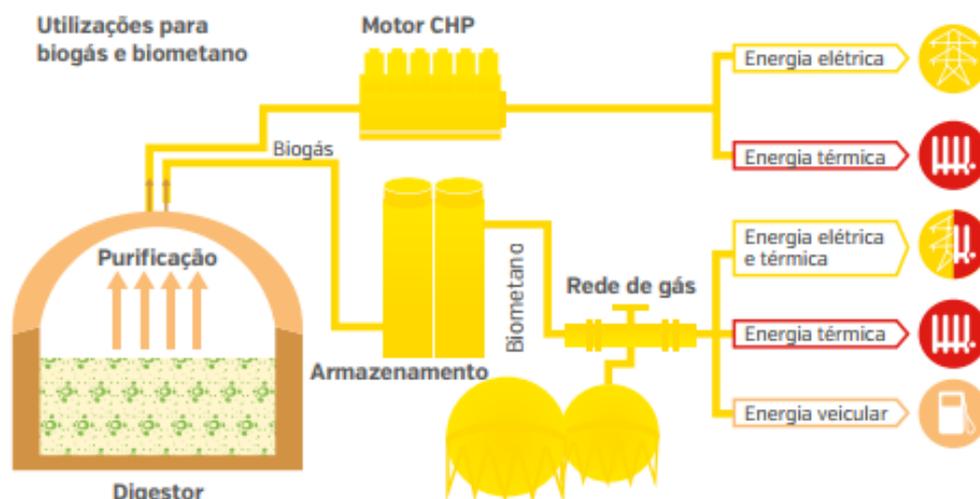


Figura 29: Aproveitamentos energéticos para biogás e biometano
 Fonte: PROBIOGÁS, 2015

A purificação do biogás geralmente consiste em primeiramente remover a umidade, pois a quantidade de água e vapor d'água que o biogás pode absorver depende da sua temperatura e devem ser removidos para atender às exigências de purificação das etapas posteriores e proteger os componentes de processamento de gás contra desgastes e corrosão. Também é realizado o processo de dessulfurização, necessário para a manutenção dos componentes do sistema que podem ser prejudicados através da ação corrosiva do ácido sulfuroso, resultante da reação entre sulfeto de hidrogênio e água. Um ponto importante se refere à eliminação do siloxano (quando a matéria orgânica é proveniente de resíduos domésticos), pois a combustão do biogás em motores a gás origina depósitos de silício de alta dureza, que têm efeito abrasivo e podem levar ao aumento do desgaste e dos danos nos equipamentos. Por último, há também o uso de tecnologias para a eliminação de dióxido de carbono.

O biometano geralmente tem um teor de metano de 95-99%. O gás usualmente é transportado para consumo em garrafas, através de caminhões feixe, ou por meio de gasodutos. Para um transporte de garrafas mais simples, o gás às vezes é transformado em líquido, o que torna o processo mais custoso. No caso da utilização da rede de gás natural, para injeção do gás na rede, é requerido um processo de pressurização. Para distribuir o biometano como combustível veicular é necessário, por exemplo, estações de abastecimento e que o veículo tenha um tanque de gás pressurizado, mas o motor de combustão interna convencional pode ser usado. Os motores Otto são mais comuns, mas os motores a diesel

também podem utilizar biometano (OLSSON & FALLDE, 2014). As possibilidades de usar biometano são muitas e variadas. A capacidade de injetar biogás processado na infraestrutura existente de gás natural significa que o gás formado a partir de biomassa pode ser armazenado temporariamente e utilizado conforme necessário. Wellinger et al. (2013) afirmam que o biogás e o biometano produzidos a partir do refinamento do biogás são combustíveis renováveis flexíveis que podem ser armazenados e eles também enfatizam uma outra funcionalidade, pouco abordada, que é a possibilidade de repor componentes de carbono em produtos plásticos.

A conversão em energia elétrica a partir do biogás é feita principalmente através da cogeração (CHP – *combined heat and power*). Estes equipamentos consistem, basicamente, de um motor de combustão e um gerador acionado por este motor, que gera energia elétrica. O gerador também pode ser acionado por outros tipos de motores ou turbinas a gás. Os critérios para a escolha de CHPs variam conforme a localidade, e também deve ser levada em consideração sua eficiência, intervalos de manutenção e custos de reparação (PROBIOGÁS, 2015a).

Em relação à geração de eletricidade, é importante ressaltar, se injetado na rede de energia elétrica, o fato de o biogás contribuir significativamente para a estabilização do suprimento de energia e equilibrar as flutuações da geração de energia das fontes eólica e solar. Além disso, o biogás pode ter valor estratégico para sua própria cadeia produtiva, servindo como fonte geradora de energia elétrica e também, se transformado em biometano, para mobilidade de produtos entre as diferentes fases de produção de unidades de produção agrosilvopastoril, por exemplo. Bley (2014) afirma que a produção de biogás e suas aplicações energéticas demandam, consomem e geram resultados econômicos (BLEY, 2015, p.80) e para o autor o biogás é uma peça-chave no fornecimento de energia renovável descentralizado.

Outra peculiaridade do processo de produção de biogás por meio de biodigestores é a geração de um subproduto, o digestato, um líquido quase pastoso que é um rico biofertilizante. O digestato é uma substância rica em nutrientes produzida no processo de digestão anaeróbica e que pode ser utilizado como fertilizante. Ele consiste das sobras do processo de digestão anaeróbica, representando materiais não digeridos e microorganismos que não sobreviveram ao processo. Ao utilizar o digestato ao invés de fertilizantes sintéticos, que utilizam gás natural em seus processos produtivos, pode-se economizar energia e diminuir a utilização de combustíveis fósseis, reduzindo assim também as emissões de GEE.

Além disso, todo nitrogênio, fósforo e potássio presente no substrato se mantém presente no digestato, tornando ele ainda mais rico. Para exemplificar, na Tabela 9 são apresentados os valores médios dos nutrientes que compõem o digestato (esses valores variam de acordo com o substrato):

Tabela 9: Nutrientes que compõem o digestato

Nitrogênio	2.3 - 4.2 kg/tonelada
Fósforo	0.2 - 1.5 kg/tonelada
Potássio	1.3 - 5.2 kg/tonelada

Fonte: UNIDO & FACHVERBAND, 2017

Segundo Weiland (2010) o digestato é um fertilizante valioso devido à maior disponibilidade de nitrogênio contido nele e a duração de seu efeito de fertilização. Além disso, o tratamento anaeróbico minimiza a sobrevivência de agentes patogênicos que é um fator importante para o uso de resíduos digeridos como fertilizante. No entanto, segundo ressalta o relatório do PROBIOGÁS (2015), a aplicação do material digerido como fertilizante é útil e eficaz para as plantações, mas deve ser controlada em termos de balanço de nutrientes e segurança sanitária. De acordo com Nicoloso (2014, p. 7 e 8),

a reciclagem dos dejetos como fertilizante orgânico na agropecuária é uma alternativa viável, desde que a taxa de aplicação dos dejetos ao solo não exceda a capacidade deste solo em reter nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros) e a capacidade das plantas em extraí-los e convertê-los em biomassa, grãos ou forragem. O tratamento dos dejetos de animais por biodigestão anaeróbia é uma alternativa para a redução dos seus teores de matéria orgânica (medido a partir da redução dos teores de carbono orgânico e demanda bioquímica de oxigênio). No entanto, este processo não remove a carga de nutrientes associada a estes efluentes. Assim, os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e demais nutrientes são mantidos inalterados após a biodigestão.

Ainda que haja um alto valor de nutrientes, a aplicação agrícola como fertilizante nem sempre é possível, pois há alguns fatores limitantes. Estes podem ser físicos, como o tamanho da área agrícola disponível; econômicos, como a distância entre o local da geração do biogás e a área para aplicação de fertilizantes; legais, como a proibição a utilização do material digerido que potencialmente é contaminado com elevado grau de impurezas; e falta de higienização dos materiais digeridos, válido para os substratos de origens como: esgoto sanitário, resíduos sólidos urbanos ou animal (esterco, estrume, matadouro). Conforme a recomendação da Organização Mundial de Saúde (OMS), para a eliminação de coliformes

fecais e parasitas, é indicada uma exposição ao calor acima de 50°C durante sete dias (PROBIOGÁS, 2015).

De qualquer forma, após a higienização através de alguma das alternativas de tratamento térmico e havendo demanda, a utilização na agricultura do material digerido da co-digestão de resíduos vegetais com resíduos de origem animal ou municipal deve ser considerada, pois o material tem alta carga de nutrientes e pode substituir a importação de fertilizantes químicos que são produzidos a partir de combustíveis fósseis.

No caso específico do Brasil, que será tratado no capítulo seguinte, tanto o biogás quanto o biometano servem para a substituição de lenha e gás liquefeito de petróleo para geração de energia térmica. No caso da geração de energia elétrica e combustível, há oportunidade para o biogás e o biometano substituírem os combustíveis fósseis que se apresentam como predominantes na matriz energética brasileira (ABIOGÁS, 2015).

4.3 Vantagens da produção e utilização

O biogás é um gás combustível renovável e como fonte de energia aparece como alternativa promissora para a substituição de fontes convencionais para diferentes tipos de aplicação. A sua diversidade no uso, podendo ser convertido em energia elétrica, térmica e substituir o gás natural, o torna ainda mais atrativo para o mercado. (PROBIOGÁS, 2015a). Esta flexibilidade única significa que o biometano pode ser gerado e usado em aplicações centralizadas e descentralizadas em todo o mundo. Segundo o PROBIOGÁS (2015a), a possibilidade de refinamento e geração do biometano, faz do biogás um recurso energético ainda mais flexível e isto é significativo no contexto brasileiro, devido à dependência do gás natural importado, dos limites espaciais da rede de gás, da grande e crescente frota de veículos a gás natural e ao aumento da demanda doméstica de gás. Investir no biogás promove a diversificação e a segurança energética para o país.

Além dos pontos acima mencionados, ele também possui o importante atributo de ser estocável, mesmo que ainda seja bastante custoso esse processo, evitando as oscilações comuns a outras renováveis intermitentes, como solar e eólica. Outra característica se refere ao potencial de produção poder ser descentralizado, permitindo que a produção e o consumo do energético sejam realizados no mesmo local e evitando-se assim custos logísticos e emissão de poluentes pelo transporte (BLEY, 2015).

No entanto, Bluemling et al. (2013) defendem que o biogás vai além da dicotomia existente entre geração centralizada e descentralizada, pois ele possibilita que uma variedade de combinações emergja. Baseando-se na produção de biogás exclusivamente a partir do contexto rural, eles diferenciam três características principais de um sistema de infraestrutura de biogás. Segundo proposto pelo artigo, o sistema é composto por uma rede de abastecimento de matéria-prima, que pode variar em dimensão do fornecimento de uma única fazenda até várias fazendas. No que se relaciona aos beneficiados pela energia gerada, pode ser um único beneficiário, ou seja, uma fazenda com o digestor de biogás, ou múltiplos beneficiários e usuários de energia de uma rede elétrica. Segundo eles, conforme a Figura 30 apresenta, a escolha em um sistema de infraestrutura de biogás é composta de dois parâmetros: o número de digestores de biogás e seu tamanho. A partir daí esses sistemas variam em distintas dimensões e modelos e isso pode ser visto como uma vantagem, pela flexibilidade de se montar diferentes modelos de negócio e, no contexto rural, ter o produtor rural como um dos protagonistas desses modelos.

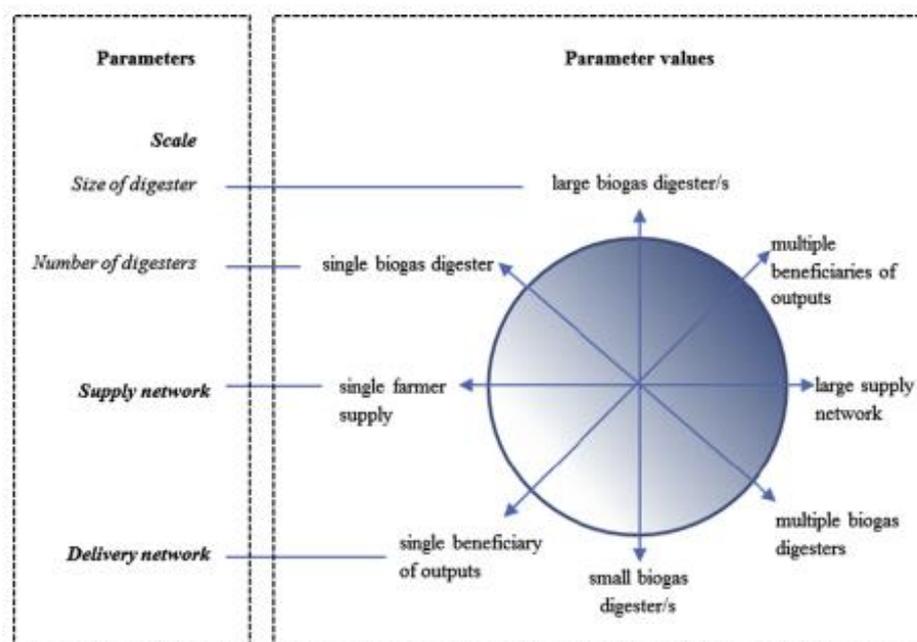


Figura 30: Características e possibilidades de um sistema de biogás
Fonte: Bluemling et al., 2013

Em termos de impactos ambientais, podem-se citar vários pontos positivos relacionados à produção de biogás, sendo um dos principais a redução de emissões de GEE, que pode ocorrer pela redução da emissão de dióxido de carbono pela substituição dos combustíveis fósseis ou redução da emissão de óxido nitroso e metano, os quais são

liberados quando se tem um tratamento inadequado e não controlado de resíduos orgânicos. De acordo com a Abiogás (2017), o biometano, por exemplo, comparado a todos os outros combustíveis quando usados em veículos pesados, é o único que apresenta, em sua análise de ciclo de vida, pegada de carbono negativa, conforme demonstra a Figura 31.

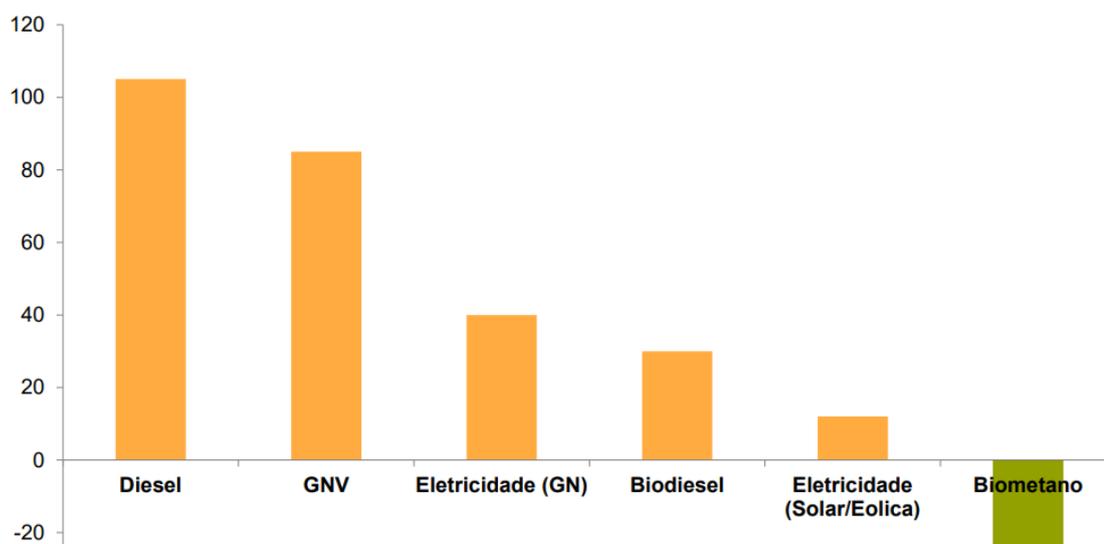


Figura 31: Intensidade de carbono do ciclo de vida dos combustíveis para veículos pesados (gCO₂eq/MJ)
Fonte: Abiogás, 2017

Além da mitigação das emissões dos GEE, sua utilização apresenta outros benefícios ambientais, tais como a melhor gestão de resíduos orgânicos e a diminuição da poluição hídrica e atmosférica, quando seu processo produtivo é bem gerido e controlado. Wellinger et al. (2013) confirmam isso, afirmando que a utilização do biogás pode reduzir as emissões de potentes GEE, como o metano, pode fornecer uma fonte de energia renovável (para eletricidade, calor ou transporte renovável) e pode reduzir os impactos da poluição por disposição de resíduos. Igualmente importante, o processo transforma resíduos em recursos. Produtos energéticos e um fertilizante orgânico valioso, fechando assim o que eles denominam de o “ciclo do solo ao solo”. Segundo eles, esse reconhecimento levou ao crescimento rápido do setor de biogás nas últimas duas décadas em alguns países europeus.

Além de evitar a emissão direta de GEE para a atmosfera através de seu uso, ele também propicia isso indiretamente. O biogás substitui combustíveis fósseis e fertilizantes minerais sintéticos, reduzindo também indiretamente as emissões de dióxido de carbono e outros gases poluentes associados ao uso desses produtos. Uma das principais vantagens ambientais da tecnologia do biogás é a prevenção da emissão descontrolada de GEE a partir

do armazenamento de matéria orgânica. Seja apenas captando o biogás por meio de dutos em aterros que recebem resíduos orgânicos e, o que é melhor ainda, utilizando biodigestores, que evita o envio de componentes orgânicos para aterros sanitários e, no caso brasileiro e de inúmeros países em desenvolvimento, para lixões a céu aberto (ISWA, 2017).

De acordo com Bley (2015, p.73) ao evitar o envio de resíduos orgânicos para aterros ou lixões, que no caso do Brasil, ainda é uma realidade crescente com quase 3.000 lixões mapeados no país em 2017 (ISWA, 2017), evita-se a poluição hídrica, dos solos e das águas e uma série de problemas de saúde associados. O resíduo orgânico poderia passar a ganhar a conotação de recurso, pelo poder de voltar a gerar algo com valor de uso (energia) e econômico. Se a melhor gestão de resíduos e o aproveitamento energético proporcionado pela geração de biogás fossem contabilizados em termos financeiros, por conta da não necessidade de gasto que poderia deixar de ser incorrida, sua produção poderia se tornar mais atrativa e viável. Segundo a EPE (2016b, p.211), um dos principais benefícios socioambientais da utilização da biomassa reside no fato da maior parte dos combustíveis ter origem residual, ou seja, ao mesmo tempo em que garante um maior aproveitamento dos recursos disponíveis, evita-se a disposição inadequada desses materiais.

Além disso, ao substituir combustíveis fósseis, como, por exemplo, o diesel, pelo biogás para geração de eletricidade ou pelo biometano como combustível veicular, inúmeros benefícios podem ser proporcionados, como a não emissão de diversos materiais particulados que geram danos severos ao meio ambiente e a saúde humana, temas já apresentados no capítulo anterior.

Outro ponto importante a ser mencionado se refere ao subproduto da produção de biogás via biodigestores, o digestato. Seu papel pode ser estratégico ao substituir fertilizantes químicos utilizados hoje em grande quantidade no país. É importante mencionar que os fertilizantes minerais são produzidos a partir de combustíveis fósseis por meio de um processo extremamente intensivo em energia (VERBONG e LOORBACH, 2012). De acordo com o BNDES (2012), o setor de fertilizantes é um segmento muito importante no Brasil, estando a elevação da produtividade da agricultura fortemente relacionada a sua utilização. No entanto, a produção interna tem sido insuficiente para atender à demanda e o digestato poderia atender essa demanda reprimida.

Segundo avaliação da Rede Biogásfert, braço da EMBRAPA para tratar da questão de fertilizantes no país, em 2014, 75% dos fertilizantes usados no país foram adquiridos no exterior e o Brasil enfrenta o risco de aumentar a cada ano a importação do produto se não

forem feitos novos investimentos na produção nacional (AGÊNCIA BRASIL, 2014). Diante disso, o digestato também se torna um produto com potencial comercial e precisa ter seu valor contabilizado na análise de competitividade de plantas biodigestoras. Sua adoção promove a redução da importação de fertilizantes, que hoje totaliza mais de 300 milhões de dólares anuais (MDIC, 2017), podendo impactar positivamente na balança comercial brasileira e promover benefícios ambientais.

Além disso, o aumento da produção agrícola global tornou esse setor muito mais intensivo em energia, tanto, diretamente, pelo uso de maquinário quanto, indiretamente, pelo uso massivo de fertilizantes. Dessa forma, o biogás se apresenta como uma boa solução para o setor, transformando resíduos que representavam apenas custo para o produtor rural em fonte de energia e conseqüente economia no longo prazo. De acordo com Bluemling et al. (2013), as novas energias renováveis⁴⁶ são reconhecidas por seus benefícios socioeconômicos e, no caso do biogás, se integrado na estrutura produtiva das áreas rurais, ele pode diversificar sistemas de produção e criar novas oportunidades de emprego e renda.

Em um uso mais rudimentar do biogás, mas não menos relevante apesar de não explorado neste trabalho, para cocção, é importante ressaltar o grande benefício socioeconômico que é gerado. Surendra et al, (2014) defendem que apesar dos avanços na tecnologia vivenciados pela sociedade contemporânea, ainda há cerca de três bilhões de pessoas no mundo, principalmente nas áreas rurais dos países em desenvolvimento, atendendo às suas necessidades energéticas para cozimento de alimentos através de meios tradicionais, isto é, queimando recursos de biomassa (lenha, resíduos de culturas e esterco animal) diretamente nos fogões. Tais práticas são conhecidas como fontes de problemas ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública considerados críticos. Por conta disso, os autores defendem que para alcançar o desenvolvimento sustentável nessas regiões, é imperativo que o acesso a energia limpa e acessível (renovável) seja disponibilizado. Para tal, eles sugerem que o uso da biomassa existente nessas localidades (por exemplo, estrume animal, resíduos de culturas, resíduos de cozinha e resíduos verdes) fosse direcionado para processos de geração de energia mais limpa e eficiente, sendo o biogás de digestão anaeróbica uma das possibilidades indicadas. Surendra et al (2014) afirmam que o biogás é

⁴⁶ De acordo com Soland et al. (2013), na Suíça, as pessoas diferenciam as energias renováveis e novas energias renováveis. O primeiro é sinônimo de energia hidrelétrica, e o segundo se refere às fontes renováveis de energia como o vento, a biomassa, o biogás e a energia fotovoltaica. No Brasil o termo novas renováveis também tem sido usado para se referir às fontes renováveis além da energia hídrica.

uma fonte de energia limpa e confiável, enquanto simultaneamente preserva o ambiente local e global.

Um ponto que vem sendo bastante pesquisado sobre as diversas fontes de energia utilizadas atualmente se refere à análise dos respectivos ciclos de vida⁴⁷ e seus respectivos balanços energéticos. De acordo com Berglund e Borjesson (2006), esse cálculo se refere a contabilização de toda energia que entra e sai de uma planta em todo seu ciclo de vida e, no caso do biogás, essa análise é complexa, pois há uma variedade de configurações possíveis de sistemas produtivos de biogás. Isso por conta da grande variedade de matérias-primas disponíveis, tecnologias de digestão e possibilidades de aplicação para o biogás e o digestato produzidos. Diante disso, Berglund e Borjesson (2006) avaliam o balanço energético na produção de biogás na Suécia e afirmam que ele varia essencialmente pelas matérias-primas utilizadas (substratos), pela tecnologia de produção do biogás e a utilização da energia. Os resultados mostram que a entrada de energia necessária para executar os sistemas de biogás, na maioria dos casos, é substancialmente inferior à produção de energia. No entanto, eles ressaltam que pela diversidade associada ao biogás, cada planta precisa ter seu balanço energético calculado levando em conta suas especificidades. Segundo os autores, dentre as plantas estudadas, a entrada de energia primária não correspondeu a mais de 20-40% do conteúdo energético do biogás produzido. As matérias-primas podem ser transportadas por cerca de 200 km (para estrume) e até 700 km (resíduos de carcaça de animais) antes que o balanço de energia se torne negativo. Dentre todos os itens analisados, a operação da planta de biogás é geralmente o processo que mais consome energia, correspondente a aproximadamente 40-80% da energia líquida e nos casos em que a produção ou o manuseio extensivo das matérias-primas são necessários, uma parte considerável da entrada de energia é alocada para essas operações.

Whiting e Azapagic (2014), em estudo mais recente, realizam a análise do ciclo de vida e dos impactos ambientais de um sistema que produz biogás a partir de resíduos agrícolas por digestão anaeróbica (tecnologia considerada estado da arte) em uma planta combinada que gera calor e energia (CHP) no Reino Unido. O estudo conclui que a digestão anaeróbica tem potencial para mitigar as emissões de GEE da geração de energia, porém seus impactos ambientais em uma base de ciclo de vida são incertos e dependem em grande parte das matérias-primas utilizadas (substratos). Além disso, os resultados indicaram que a

⁴⁷ A Análise de Ciclo de Vida tem sido usada como ferramenta para estimar os impactos ambientais das diversas fontes de energia. Existe uma metodologia informada na ISO 14040/14044 (Whiting e Azapagic, 2014).

co-geração de eletricidade e calor a partir de biogás produzido por digestão anaeróbica de resíduos agrícolas pode levar a reduções significativas na maioria dos impactos em comparação com alternativas de combustível fóssil. Isso inclui o potencial de aquecimento global que pode ser reduzido em até 50%. No entanto, os potenciais de acidificação e eutrofização são 25 e 12 vezes maiores, respectivamente, comparado com a melhor alternativa de combustível fóssil que seria o gás natural e isto se deve às emissões de amônia durante o armazenamento e utilização do digestato. Os autores indicam que esses impactos podem ser reduzidos usando o armazenamento coberto para o digestor e buscando técnicas melhoradas para aplicação de digestato em terras agrícolas. Contudo, mesmo com estas medidas, eles defendem que a acidificação e os potenciais de eutrofização permanecem muito superiores aos de uma CHP a gás e apesar da vantagem de ter geralmente um balanço de emissões positivo, as plantas de biogás precisam estar alertas para isso.

Segundo Wellinger et al. (2013), uma planta de biogás onde ele é convertido em eletricidade e grande parte do calor coproduzido pode ser usado, geralmente também apresenta melhor avaliação de ciclo de vida. Por esta razão, as plantas de biogás que operam em modo de cogeração e alcançam alto grau de utilização do calor têm uma avaliação do ciclo de vida melhor do que as plantas de biogás onde o gás é apenas convertido em calor, em eletricidade ou biometano.

Diante disso, fica clara a importância de uma avaliação do ciclo de vida de qualquer planta de biogás e uma análise mais aprofundada de todos os impactos associados. O nível relativamente elevado de insumos necessários para a produção de biogás, além da conversão do gás em energia elétrica, calor ou combustível de transporte, só poderá ser justificado se esta forma de produzir energia renovável também contribua para ganhos energéticos e ambientais. No entanto, de acordo com Wellinger et al. (2013) uma avaliação do ciclo de vida por si só não pode determinar a viabilidade de uma planta de biogás, pois ela gera outros benefícios que precisam ser considerados na promoção de um sistema de energia sustentável. Aspectos como redução de emissão de gases de efeito estufa, melhor destinação de resíduos, a possibilidade de produzir e utilizar energia no mesmo local e estocá-la, sua versatilidade, e o fato de ser o único gás disponível a partir de fontes renováveis atualmente, tudo isso precisa ser levado em consideração e faz com que a fonte possa compensar outras fontes de energia renováveis intermitentes e, assim, preencher uma função importante no fornecimento de energia do futuro.

A partir de todos os pontos apresentados acima, pode-se afirmar que a geração de biogás para fins energéticos apresenta inúmeros aspectos positivos. Como o biogás é um combustível renovável, pode reduzir as emissões de GEE provenientes dos sistemas de transporte, agricultura, energia e setor de resíduos. Quando usado para produzir eletricidade ou calor, ele pode substituir a produção realizada atualmente com base em combustíveis fósseis. Quando usado em veículos, ele pode substituir a gasolina, o diesel e o gás natural. Quando injetado na rede de gás natural, ele pode substituir o gás natural fóssil. Além disso, se usado na agricultura, o digestato pode substituir o fertilizante artificial que é produzido com combustíveis fósseis (BERGLUND, 2006). A produção de biogás também reduz o vazamento de metano, que ocorre geralmente em aterros e, no caso do Brasil, também em lixões, e em fazendas com armazenamento de estrume.

De acordo com o PROBIOGÁS (2015a), o uso da tecnologia de biogás é especialmente vantajoso para a reciclagem de resíduos orgânicos: no tratamento de águas residuais, na agricultura/agroindústria e no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. O descarte dos substratos orgânicos sem o devido tratamento causa enormes impactos negativos, pois os ambientes naturais, tanto terrestres quanto aquáticos, contam com limitada capacidade de autodepuração e a degradação não controlada libera GEE, provoca a eutrofização e resulta em uma série de outros problemas ambientais e na saúde humana. O tratamento através da digestão anaeróbia se mostra uma solução atrativa para o Brasil, por ser um tratamento aliado à produção energética aplicado em um país com condições climáticas favoráveis (PROBIOGÁS, 2015). A utilização do biogás alia saneamento à geração de energia que são dois temas críticos para qualquer país se desenvolver. A utilização e geração do biogás deveriam ser colocadas como prioridade com uma agenda específica para superar as restrições financeiras e a falta de conhecimento técnico sobre a fonte nesses setores.

No âmbito do tratamento de efluentes industriais, o tratamento anaeróbio já é uma das alternativas existentes para redução da carga orgânica dos efluentes, que gera biogás naturalmente. O biogás produzido pode ser usado diretamente para cobrir a demanda de energia elétrica e térmica de ETEs. Para o uso do biogás como fonte de energia para o sistema, torna-se necessário, porém, um controle e monitoramento do processo, bem como uma avaliação de sua produção em termos quantitativos e qualitativos.

Para finalizar, a Associação Mundial de Biogás (WBA), criada em 2016 e com sede em Londres, defende que a utilização do biogás tem o potencial de facilitar o atingimento de

diversos Desafios do Milênio da ONU⁴⁸ e também do Acordo de Paris, que se refere ao desafio de conter o aquecimento global. Segundo a instituição, a digestão anaeróbica e as tecnologias de biogás contribuem de forma significativa para esses objetivos, não só através da geração de energia e biofertilizante de baixo carbono, mas também através da redução de emissões nocivas de metano de resíduos alimentares e agrícolas, fornecendo energia e promovendo segurança alimentar, melhorando a gestão de resíduos e saneamento e reduzindo a pobreza e a fome. Para finalizar, além de defender que a utilização do biogás tem a capacidade de reduzir as emissões globais de GEE em cerca de 20%, a associação enfatiza outros benefícios em seu primeiro documento oficial.

The WBA report clearly illustrates how biogas capture and use can contribute an enormous amount to economic and environmental development globally. Whether we consider energy production, agriculture, public health or cleaner air in our cities, biogas can become a driver for positive change in our communities. Now is the time to increase the time of biogas uptake and bring these benefits to a wider, global community. (WBA, 2016, p.1)

Um ponto defendido por este trabalho é que a geração de biogás, através de biodigestores, se configura em um processo que além de promover inúmeros benefícios socioambientais, também segue a lógica da economia circular. Ao direcionar resíduos orgânicos para geração de biogás, promove-se o reuso dos nutrientes, a reciclagem da matéria orgânica, que se transforma em energia, promovendo assim a recuperação energética dos materiais, que, no caso do Brasil, ficariam despositados a céu aberto, seriam direcionados para aterros ou lixões.

Para finalizar, a Figura 32 apresenta um infográfico que sintetiza características da fonte e as principais vantagens associadas ao uso do biogás apresentadas até o momento e que poderiam justificar o estabelecimento de políticas públicas para estímulo da fonte no Brasil. É importante observar que o enfoque é dado para geração de biogás via biodigestores, considerada a forma de exploração de biogás que gera o maior número de vantagens socioambientais.

⁴⁸ Em 2015, os países tiveram a oportunidade de adotar a nova agenda de desenvolvimento sustentável e chegar a um acordo global sobre a mudança climática. Em 25 de setembro de 2015, as Nações Unidas adotaram 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (SDGs) e 169 metas como parte de uma parceria global para acabar com a pobreza e a fome em todas as suas formas, mitigar os efeitos das mudanças climáticas, e garantir vidas prósperas, satisfatórias e pacíficas para todos. Os SDGs são metas a atingir até 2030. Isso dá aos governos e empresas menos de 13 anos para promover urgentes e necessárias mudanças em prol do desenvolvimento sustentável. (<https://nacoesunidas.org/pos2015/>)



Figura 32: Infográfico do biogás (via biodigestão)
 Fonte: Elaboração própria, 2017

4.4 Riscos associados à produção

Por produzir uma energia limpa e um rico biofertilizante, plantas de biogás e biometano contribuem para mitigação do aquecimento global e promovem outros benefícios ambientais como vistos no item anterior. No entanto, se as plantas não forem operadas corretamente, elas podem também representar riscos ao meio ambiente e a saúde humana. Dada à engenharia de processos um pouco complexa e o fato de gases altamente inflamáveis serem produzidos e armazenados durante o processo produtivo, é de extrema importância que as usinas de biogás sejam operadas com segurança. Com este objetivo, tornam-se necessárias a adoção de medidas de proteção adequadas para que os riscos dentro e no entorno de usinas de biogás possam ser limitados e reduzidos.

Para garantir a operação segura de uma usina, deve-se ter em mente que a segurança do biogás começa na fase de planejamento e segue através de toda a operação da usina, exigindo uma colaboração próxima entre fabricantes e operadores. O biogás é um gás inflamável e deve ser mantido afastado do calor, de superfícies quentes, faíscas, chamas

abertas e outras fontes de ignição, como um cigarro aceso, por exemplo. Deve ser mantido em um recipiente bem fechado e em local bem ventilado. A Tabela 10 apresenta as propriedades dos componentes gasosos do biogás e perigos associados (GIZ & FACHVERBAND, 2016).

Tabela 10: Propriedades dos componentes gasosos do biogás

	Propriedades	Atmosfera perigosa	Limite de exposição
CO ₂	Gás incolor e inodoro. Mais pesado que o ar.	8% v/v, perigo de asfixia.	5500 ppm
NH ₃	Gás incolor de odor intenso (forte). Mais leve que o ar.	Acima de 30-40 ppm, mucosas, trato respiratório e olhos ficam irritados. Acima de 1000 ppm, dificuldade para respirar, com potencial perda de consciência.	20 ppm
CH ₄	Gás incolor, inodoro. Mais leve que o ar.	4,4 - 16,5%	-
H ₂ S	Gás altamente tóxico, incolor. Mais pesado que o ar. Odor de ovos podres.	Em concentrações acima de 200 ppm, o olfato fica diminuído e o gás deixa de ser percebido. Acima de 700 ppm, a inalação de gás sulfídrico pode causar parada respiratória.	5 ppm

Fonte: SVLG, 2016

Mesmo com a adoção de medidas de proteção, ameaças a pessoas e a natureza podem eventualmente surgir em usinas de biogás. A agência alemã de Seguridade Social para Agricultura, Florestas e Horticultura (SVLFG), organização responsável pela segurança de agricultores na Alemanha, começou a analisar em 2012 os danos pessoais sofridos por trabalhadores em usinas de biogás e foi mapeado que os acidentes mais comuns são de natureza mecânica (ser atingido, quedas, cortes, esmagamentos, etc.). De todos os acidentes analisados pela pesquisa realizada pela SVLG (2016), quase 50% ocorreram durante atividades de manutenção e menos de 1% resultaram em ferimentos fatais. O uso de produtos químicos tóxicos, nocivos e sensibilizantes no processo (os auxiliares de processo, agentes ou compostos biológicos usados para dessulfurizar o biogás) também foi causa de diversos acidentes em usinas de biogás na Alemanha (GIZ & FACHVERBAND, 2016). A Figura 33 apresenta os acidentes mais usuais em usinas de biogás no país, identificando os acidentes mecânicos como os mais frequentes.

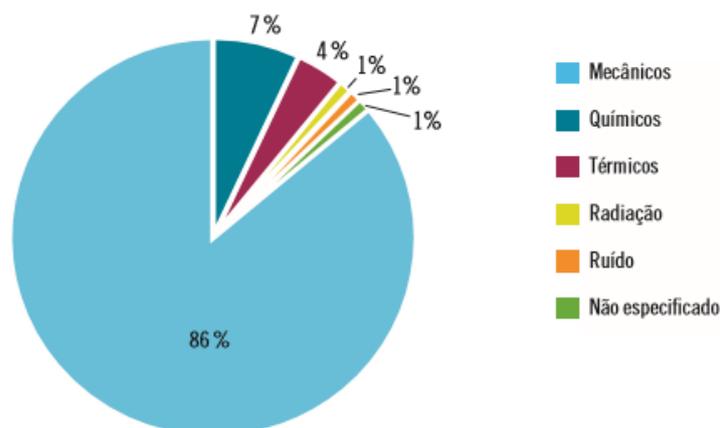


Figura 33: Acidentes mais frequentes em usinas de biogás
Fonte: SVLG, 2012

Wellinger et al. (2013), a partir da experiência da Alemanha, onde cerca de 7.000 plantas de biogás, sendo a maioria no setor agrícola, estavam em operação em 2011, afirma que a maioria dos acidentes registrados se deu devido a erros por parte dos operadores. Raros são os casos de acidente devido à ação tóxica do sulfeto de hidrogênio presente no biogás não tratado ou na alimentação da planta. Todos os acidentes registrados até então eram devidos à manipulação incorreta da planta por parte dos operadores. Neste ponto fica evidente a necessidade de capacitação constante da mão de obra atuante em projetos de biogás.

Os possíveis riscos em usinas de biogás incluem, por exemplo, a ocorrência de incêndios e explosões, mas também a presença de substâncias perigosas, corrente elétrica e do próprio biogás da usina. É preciso também estar atento a riscos mecânicos em determinadas áreas das usinas. A Figura 34 e a Figura 35 apresentam os principais riscos em relação às respectivas áreas e aos componentes de uma usina de biogás. Os riscos apresentados se referem especificamente aos riscos relacionados à saúde.



Figura 34: Visão geral de riscos em uma usina de biogás
Fonte: GIZ & FACHVERBAND, 2016

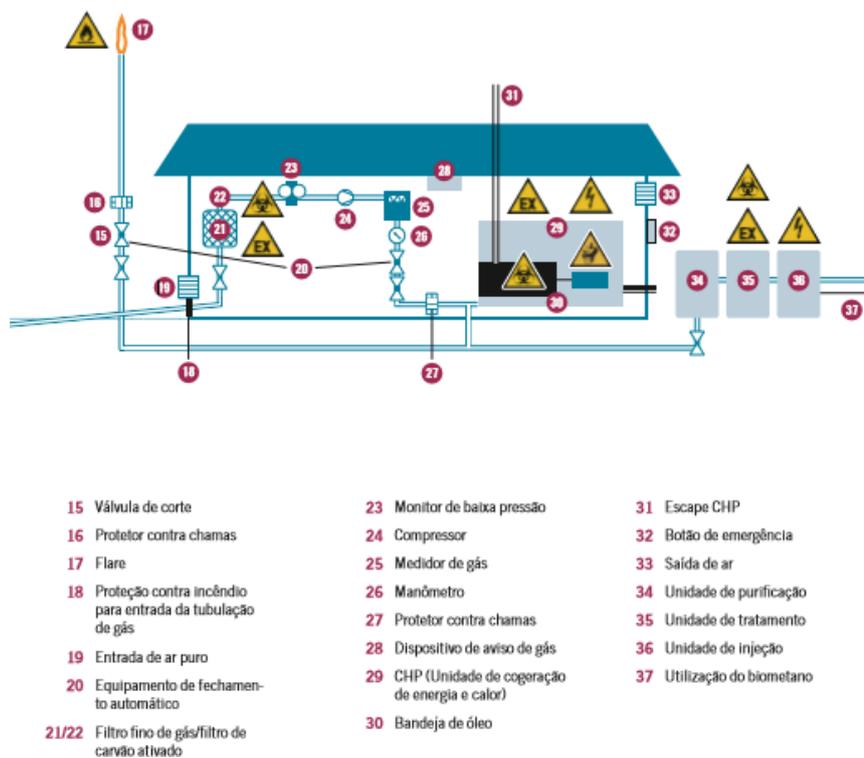


Figura 35: Visão geral de riscos em uma usina de biogás
Fonte: GIZ & FACHVERBAND, 2016

No que se refere aos riscos ao meio ambiente, os principais perigos se referem a fuga de biogás para a atmosfera ou de materiais de trabalho (p. ex., substrato, efluente de silagem, óleos ou combustíveis) alcançarem um corpo de água próximo, podendo ser divididos, dessa forma, em emissões gasosas para o ar e emissões para o solo e para a água. Acidentes deste tipo podem ser causados por falhas estruturais ou erros operacionais. A Imagem 6 retrata o impacto de um acidente em uma usina de biogás na Alemanha em 2015, quando aproximadamente 350.000 litros de lodo atingiram águas próximas e conseqüentemente seis toneladas de peixes mortos foram retiradas das águas.

Imagem 6: Foto do impacto causado por acidente em usina de biogás



Fonte: GIZ & FACHVERBAND, 2016

No que se refere às emissões gasosas, como já mencionado anteriormente, uma das principais vantagens ambientais da tecnologia do biogás é a prevenção da emissão descontrolada de GEE, principalmente o metano, a partir do armazenamento de matéria orgânica e ele substitui combustíveis fósseis e fertilizantes minerais sintéticos, reduzindo assim também as emissões de dióxido de carbono e metano associadas. Entretanto, o metano, que é um potente GEE⁴⁹, também é produzido por meio do processo de digestão

⁴⁹ De acordo com o IPCC, há forte evidência de que grande parte do aquecimento global é decorrente do aumento da concentração de GEEs, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os halocarbonetos, que são gases que contêm carbono ligado a flúor, cloro ou bromo.

Dióxido de Carbono (CO₂) com moléculas formadas por um átomo de carbono e dois de oxigênio, o CO₂ é um gás proveniente da queima de combustíveis fósseis e matéria orgânica e desflorestamento. Sua concentração na atmosfera do planeta passou de 280 ppm no período pré-industrial para 379 ppm em 2005, sendo que sua permanência na atmosfera é de 50 e 200 anos, o chamado tempo de decaimento do gás. O potencial de aquecimento global de uma molécula de CO₂ é usado como referência métrica padrão para determinar o PAG dos demais GEEs. Atualmente, o dióxido de carbono contribui com 60% do efeito estufa no planeta. **Metano (CH₄)** com moléculas formadas por um átomo de carbono e quatro de hidrogênio, o gás metano é gerado por atividades como a pecuária, o cultivo de arroz inundado, a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, insumos agrícolas e matéria orgânica em decomposição. Sua concentração na atmosfera passou de 715 ppb no período pré-industrial para 1732 ppb no início dos anos 1990 e chegou a 1774 ppb em 2005. Seu potencial de aquecimento global é 25 vezes maior do que o do dióxido de carbono, sendo que a molécula de

anaeróbia em usinas de biogás. Para assegurar os benefícios ambientais do biogás, as emissões desse gás deverão ser minimizadas e sempre controladas.

Análises de usinas de biogás demonstram que o tanque de armazenamento de material digerido é uma das principais fontes de emissão de metano, especialmente se não tiver um fechamento estanque. A unidade CHP também pode apresentar algum risco, mas em menor grau. Outros componentes da usina costumam ser relativamente estanques, mas vazamentos nas conexões entre o reservatório de gás ou gasômetro e o digestor e o pré-digestor podem também acontecer.

A emissão de amônia nas usinas de biogás também deve ser minimizada. Amônia causa acidificação do solo, provoca a eutrofização, pode causar danos à vegetação e pode ter um impacto prejudicial à saúde (em concentrações mais altas é tóxica; em águas subterrâneas, convertida em nitrito, afeta negativamente o metabolismo). Além disso, diversos produtos da queima, como óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e particulados, entre outros, são produzidos durante a combustão do biogás. A emissão destes produtos deve ser regulada a partir das respectivas normas nacionais.

Em relação a possíveis contaminações do solo e da água, as quantidades de líquidos processados e armazenados em usinas de biogás variam de centenas a vários milhares de metros cúbicos, sendo que tanques individuais armazenam frequentemente milhares de metros cúbicos de biogás. O conteúdo destes tanques não deve vazar para o meio ambiente, seja em condições normais de operação, seja em caso de acidente, uma vez que os impactos ambientais mais frequentes são provenientes da carga orgânica e dos nutrientes. Em caso de vazamento, grandes quantidades de poluentes orgânicos atingem o meio ambiente e a alta carga orgânica (carga de oxigênio química elevada) é convertida por microrganismos, consumindo oxigênio. Os níveis reduzidos de oxigênio podem acarretar a morte de peixes e, se uma grande quantidade de substrato atingir o meio ambiente, tem-se um risco considerável de eutrofização dos corpos d'água. Outra questão se refere ao uso de auxiliares de processo, que podem representar substâncias perigosas e trazer riscos ambientais. Algumas misturas de elementos residuais, por exemplo, se derramadas em corpos de água,

CH₄ permanece na atmosfera por até 20 anos, em média. Atualmente, o metano contribui com cerca de 15% do efeito estufa do planeta. **Óxido Nitroso (N₂O)** formado por moléculas com dois átomos de nitrogênio e um de oxigênio, esse gás é proveniente de insumos agrícolas como fertilizantes e de atividades de conversão do uso da terra. Sua concentração foi de 270 ppb no período pré-industrial para 319 ppb em 2005. Seu potencial de aquecimento global é cerca de 300 vezes maior que do dióxido de carbono e sua permanência na atmosfera chega a 150 anos. Atualmente, 5% do efeito estufa está relacionado ao N₂O. Observatório do Clima (2017).

podem ser altamente tóxicas para organismos aquáticos e ter impacto de longo prazo (GIZ & FACHVERBAND, 2016).

Whiting e Azapagic (2014) apresentam uma listagem de impactos que segundo eles precisam ser monitorados continuamente em sistemas de produção de biogás, tais como o potencial de depleção abiótica, potencial de acidificação e eutrofização, potencial de aquecimento global, potencial de toxicidade humana, potencial de depleção da camada de ozônio e potencial de criação de oxidantes fotoquímicos. Os autores afirmam que a produção de biogás pode colaborar para intensificar o potencial de aquecimento global, de acidificação, eutrofização, a depleção da camada de ozônio e de criação de oxidantes fotoquímicos, se medidas de proteção não forem tomadas no armazenamento do digestato.

Para finalizar, um risco que é mencionado na literatura e pelo público em geral se refere à presença de germes patogênicos nos substratos e que eles se espalhem com o resíduo da digestão, o digestato. Como os substratos em plantas de biogás podem conter bactérias, vírus e parasitas que podem causar doenças em homens, animais ou plantas, esse receio em relação ao uso do digestato faz sentido. No entanto, diferentes estudos científicos mostraram que os germes em um substrato são reduzidos durante o processo de biodigestão. Além disso, em países onde o uso do biogás e do digestato já é mais difundido há regras específicas sobre processos de tratamento do mesmo e critérios para uso. Por exemplo, no caso da União Europeia, se resíduos de origem animal são processados, a Regulação Europeia 1069/2009 estipula regras mínimas de saúde em relação aos resíduos animais, que caso não sejam atendidas não permitem a destinação do digestato para uso direcionado posteriormente para consumo humano. A regulação também define três categorias de substrato com diferentes níveis de riscos e especifica substratos que poderão ou não fornecer o digestato. Fatores que afetam o status de salubridade do digestato incluem temperatura, tempo de retenção, pH e conteúdo de amônia. A regulação 1069/2009 requer, por exemplo, que a categoria 3 de substratos precisa ser tratada a 70° C por uma hora. A categoria 3 inclui restos de alimentos; resíduos de cozinhas e cantinas; e conteúdo de separadores de gordura (WELLINGER et al., 2013).

Em relatório recente, publicado em 2016 (WRAP, 2016), baseado em inúmeras pesquisas de campo⁵⁰, se defende o uso confiável do digestato como fertilizante renovável

⁵⁰ O projeto DC-Agri foi encomendado em 2010 e os principais experimentos foram realizados em três estações agrícolas, com pesquisa complementar concluída em 2015. Foram 22 locais avaliados em todo País de Gales, Escócia e Inglaterra. (http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/WRAP_DC-Agri_research_summary.pdf).

por agricultores. A pesquisa demonstrou que o digestato pode aumentar os rendimentos econômicos de plantas de biogás sem impactos negativos sobre a qualidade ou a segurança das culturas onde serão utilizados e afirma que o composto pode aumentar a matéria orgânica do solo mais rapidamente do que outros materiais orgânicos. A conclusão do relatório afirma,

The DC-Agri results have clearly demonstrated that the repeated application of compost is a valuable means by which farmers can improve soil organic matter status, with associated increases in soil biological and physical functioning. This will ultimately lead to increases in crop yields and resilience, as well as reduced fuel costs. The increased nutrient supply from organic materials, including digestate and compost, can produce higher crop yields of equal quality to crops grown with bagged fertilisers. This, combined with a reduced reliance on manufactured fertiliser inputs, can also lead to improved financial returns. (WRAP, 2016, p. 12)

O texto em questão também aborda um último ponto em relação ao digestato, que se refere a sua capacidade de espalhar sementes em locais diversos e que não seriam apropriados para tal. No entanto, um estudo de Schrade et al. (2003) comprovou que todas as sementes se tornam não germináveis após a digestão termofílica e a maioria das sementes perdem a capacidade de germinação após 24 horas na condição mesofílica. Mesmo sementes mais resistentes perdem sua capacidade de germinação após três semanas nos digestores.

Diante disso, o objetivo deste item foi ressaltar pontos de alerta em relação à produção do biogás sinalizando a atenção requerida para operação de unidades produtoras da fonte. A percepção sobre a complexidade do processo e a necessidade de treinamento e cuidado constante, são elementos importantes e que também poderiam ser contemplados na elaboração de uma política pública de estímulo a fonte no Brasil. No item seguinte serão abordados pontos relacionados à aceitação pública de plantas de biogás baseando-se em experiências mais maduras em relação à fonte.

4.5 Aceitação pública

Este tópico apresenta algumas reflexões a partir de três artigos que relatam experiências com o biogás em países europeus e a aceitação pública em relação à fonte. De acordo com Kortsch et al (2015) com o desenvolvimento das novas renováveis e o crescente número de plantas de biomassa, centralizadas e descentralizadas, a população tem se posicionado cada vez mais sobre o tema na Alemanha. Um maior número de pessoas, por exemplo, está sendo afetado pelas mudanças em seu ambiente de vida por possíveis

impactos de plantas de biomassa e, especificamente, biogás. Entre os impactos negativos do estabelecimento de plantas de biogás, os principais pontos apresentados são o ruído do tráfego por conta do transporte de substratos por caminhão e consequente poluição; e o odor desagradável. Por outro lado, os autores mencionam aspectos positivos percebidos com a difusão do biogás, citando, por exemplo, a formação de cooperativas de energia, com participação ativa de atores privados de pequena escala (no caso específico de plantas de biogás na área rural) e o protagonismo dos produtores rurais. Segundo Kortsch et al (2015) os produtores rurais passam a influenciar diretamente seu projeto e participam ativamente da geração de energia. No entanto, a aceitação das plantas de biogás no meio rural não é algo uniforme e varia de acordo com o contexto e a atuação dos atores envolvidos.

Segundo Kortsch et al (2015, pág. 929), a experiência com o biogás em projetos descentralizados em alguns países (Paquistão, Índia), mostra a necessidade existente de envolver a comunidade local, do entorno de plantas de biogás, nos projetos desde a concepção dos mesmos. É necessário envolver usuários individuais e comunidades locais, particularmente em áreas rurais, no planejamento, implementação e gerenciamento da bioenergia. Além disso, os autores reforçam a necessidade de o poder público trabalhar conscientizando a população sobre a valorização de resíduos, as possibilidades energéticas existentes a partir deles e seus benefícios ambientais, para assim promover maior aceitação pública da fonte.

A pesquisa de Kutsch et al (2015) apresenta pontos negativos e positivos sobre a geração de biogás indicados pelos respondentes. Em relação aos aspectos negativos, os mais citados foram temor de avanço da monocultura para geração de energia, odor, ruído e tráfego mais intenso. No que tange aos aspectos positivos, os efeitos econômicos positivos esperados, a melhora em aspectos ambientais, a promoção da destinação adequada de resíduos e a promoção da independência energética, aparecem como os benefícios mais citados. A pesquisa realizada foi aplicada em três momentos distintos (anos diferentes) e o nível de aceitação entre os respondentes não foi alterado, se mantendo majoritariamente positivo. A pesquisa salienta que um fator crucial para o sucesso de projetos de biogás e sua aceitação entre a população é o apoio dos principais atores e cidadãos locais comprometidos e envolvidos, todos eles compartilhando constantemente informações sobre os projetos e sobre a fonte com toda a população local.

Soland et al (2013) reforçam que geralmente projetos de bioenergia onde a população é envolvida e comunicada desde seu planejamento, têm maior aceitação pública.

Por conta disso, é importante que gestores de plantas de biogás tenham habilidades de comunicação e diálogo, para ganhar a confiança de atores locais. Soland et al (2013) apresentam um estudo de caso da Suíça, onde a aceitação de plantas de biogás é relativamente alta. Além de pequenas plantas fotovoltaicas, segundo os autores, plantas de biogás são as mais numerosas entre as novas fontes renováveis no país. Os autores contextualizam o caso da Suíça, que por ser uma democracia com elevado grau de participação de seus cidadãos nas tomadas de decisão, a questão da percepção pública sobre plantas de novas renováveis, entre elas o biogás, é de extrema importância. Para mensurar a aceitação pública em relação ao biogás no país, uma pesquisa com 502 cidadãos suíços que residiam perto de 19 plantas de biogás foi conduzida. Todas as plantas selecionadas eram agrícolas e estavam em operação. A pesquisa também objetivava mensurar os benefícios percebidos, os custos percebidos e a confiança em relação aos operadores das plantas.

Os resultados demonstraram que a aceitação local para as usinas de energia a biogás existentes é relativamente alta na Suíça. Os benefícios e custos percebidos, bem como a confiança no operador da planta, estão altamente correlacionados e têm um efeito significativo na aceitação local. A percepção do cheiro e as informações recebidas dos envolvidos diretamente na produção do biogás, de acordo com a pesquisa, impactam diretamente no grau de aceitação local, que é altamente afetada pelos resultados percebidos e pela confiança dos cidadãos. Eles defendem que o compartilhamento de informações constantes sobre o biogás e sobre as plantas reduzem os custos percebidos e aumentam a confiança e os benefícios percebidos. Uma descoberta interessante da pesquisa é que a aceitação local é altamente dependente do grau em que os moradores são incomodados por cheiros desagradáveis emitidos pelas plantas, enfatizando assim a importância do mau cheiro ser evitado. A pesquisa sugere que os planejadores de plantas de biogás devem concentrar-se em primeiro lugar nos esforços para prevenir emissões de odores desagradáveis e, em segundo lugar, oferecendo informações de alta qualidade para a comunidade no entorno. No entanto, reforçam que sem prevenção de cheiro, mesmo a informação mais elaborada se torna inútil para afetar positivamente a percepção pública.

O artigo defende que pouco esforço de pesquisa foi feito até o momento para mensurar a aceitação pública de plantas de novas renováveis a nível local na Suíça e por isso o trabalho se apresenta como pioneiro. Nesse ponto é relevante afirmar que o mesmo ocorre no caso do Brasil, para todas as novas renováveis e mais ainda no caso do biogás, pois ainda não há muitas referências sobre o tema. Soland et al (2013) apontam uma iniciativa da

Agência Internacional de Energia (AIE), no caso específico da energia eólica, para pesquisa de aceitação pública da fonte⁵¹. Além disso, mencionam estudos acadêmicos sobre aceitação pública de projetos de energia renovável, que tem sido conduzido em várias partes do mundo por várias disciplinas. Segundo os autores, um uso proeminente nesse campo de pesquisa é a expressão “not in my backyard” (NIMBY), que é entendido como um elemento da teoria da escolha racional que afirma que indivíduos são motivados principalmente por interesse próprios. No caso específico das novas renováveis, o NIMBY implica que geralmente os cidadãos apoiam o desenvolvimento de fontes alternativas de energia apenas se não forem construídas em seu quintal.

Por outro lado, há vários estudos que refutam o que é defendido pelo NIMBY, destacando que quando são estabelecidos processos de implementação transparentes e com justiça distributiva, a aceitação local de plantas de renováveis é considerável. No caso do Brasil, tomando o exemplo da energia eólica, a mais difundida entre as novas renováveis (entre eólica, solar e biogás) até o momento, principalmente por meio de plantas centralizadas. Por conta da maioria delas estabelecerem contratos de arrendamento de longo prazo, com impacto positivo expressivo na renda dos proprietários das terras onde as torres eólicas foram inseridas e talvez por haver uma cultura instituída no Brasil de pouco envolvimento dos cidadãos em processos decisórios, a questão da aceitação pública em relação às novas renováveis ainda não ganhou relevância de pesquisa. Com o disseminar das plantas centralizadas de energia eólica e solar e a disseminação de plantas de biogás, esse tema tende a se tornar mais relevante e pode se caracterizar como importante campo de pesquisa.

Um último artigo aqui explorado que aborda a aceitação pública de plantas de biogás (EMMAN et al., 2013), afirma que houve forte expansão da produção de biogás com base em recursos renováveis na Alemanha desde 2004 e baixa aceitação dessa fonte em algumas regiões. Essa baixa aceitação se deve ao que os autores se referem como danos colaterais de plantas de biogás, tais como odores e grande movimentação de veículos para transporte de substratos e do digestato. A pesquisa baseou-se em uma área composta por cinco regiões do estado da Baixa Saxônia Alemã, que são caracterizados por uma alta concentração de plantas de biogás em áreas rurais e seu objetivo foi identificar fatores que influenciam a aceitação dos agricultores em relação à fonte.

⁵¹ <http://www.socialacceptance.ch/>

A pesquisa concluiu que vários fatores influenciam a aceitação individual da tecnologia, mas eles defendem que a influência positiva mais forte para aceitação é determinada pelo grau de inovação pessoal de cada ator. Como o biogás representa um tema desconhecido e uma tecnologia inovadora de produção para agricultores, apenas os agricultores que estão mais interessados em inovações tecnológicas serão mais propensos a aceitar e adotá-las.

Segundo Emman et al. (2013), para garantir maior aceitação especificamente entre os agricultores (foco da pesquisa), incentivos e maiores esclarecimentos via poder público e minimização de efeitos colaterais, como por exemplo, distorção da concorrência e aumento dos preços da terra, devem ser almejados. O artigo também defende que monoculturas energéticas não devem ser priorizadas para produção de biogás, pois a produção alimentar precisa ter prioridade sobre a produção de biomassa para a energia devendo ser estimulado o uso de substratos de resíduos de cada região, associando assim mais ganhos socioambientais ao processo.

Diante do apresentado acima, é relevante pensar na questão da aceitação pública de plantas de biogás no Brasil com a expectativa de maior desenvolvimento da fonte por meio de plantas de maior escala. De acordo com Wellinger et al. (2013), conforme um maior número de plantas de biogás é instalado, um número crescente de grupos da sociedade civil contra a fonte é formado, e na maioria das vezes por falta de conhecimento e comunicação. Por conta disso, eles defendem que a indústria do biogás e os governos precisam focar em melhores ferramentas de comunicação para mostrar para a população seu papel positivo no desenvolvimento de um sistema energético mais sustentável.

Apesar dos exemplos apresentados enfocarem em plantas agrícolas de biogás, os pontos abordados podem ser também extrapolados para os ambientes urbanos, onde questões como mau cheiro e aumento de tráfego de caminhões, podem afetar negativamente a percepção pública de plantas de biogás. Como a tecnologia ainda é incipiente no Brasil é interessante iniciar o debate e incorporar essas preocupações para seu desenvolvimento. Nos itens seguintes serão apresentados uma perspectiva da utilização do biogás no mundo e dois casos específicos e expoentes na atualidade: a utilização do biogás para geração de eletricidade na Alemanha e a utilização do biometano como combustível veicular na Suécia.

4.6 Biogás no Mundo

Como apresentado no início deste capítulo, o biogás é um recurso que é utilizado no mundo há mais de 100 anos. De acordo com Jorgensen (2009), o conhecimento sobre a existência do biogás produzido naturalmente data do século XVII e os sistemas e plantas de biogás começaram a ser implementados em meados do século XIX. Um dos mais antigos sistemas de biogás é o chamado tanque séptico, que passou a ser usado para tratamento de águas residuais no fim do século XIX e ainda é usado em locais onde não há sistema de esgoto, porém na maioria dos casos o biogás não era coletado nem utilizado. Apenas no ano de 1890, quando o inglês Donald Cameron construiu uma fossa séptica especial, que o biogás foi coletado e utilizado para iluminação pública. Na Dinamarca, a construção de plantas de biogás para tratamento de águas residuais data de 1920. O gás foi usado inicialmente para aquecer o tanque digestor da planta e o objetivo principal não era gerar energia, mas promover a decomposição da matéria orgânica nas águas residuais e estabilizar o lodo gerado.

A partir disso e até após a Segunda Guerra Mundial, houve um crescimento na utilização do biogás, particularmente na Alemanha, Grã-Bretanha e França, e a tecnologia foi gradualmente se desenvolvendo e ganhando espaço em outros setores como na agricultura, onde a produção de energia era o principal propósito. No entanto, no final da década de 1950, o desenvolvimento do biogás quase parou, por conta do baixo preço e grande oferta de combustíveis fósseis como petróleo e gás. Outro ponto de inflexão ocorre na década de 70, quando, por conta da crise do petróleo em 1973, o interesse no biogás foi retomado e principalmente países europeus retomaram o desenvolvimento da fonte. Aqui se pode inferir, levando-se em conta os níveis da PMN, a importância das mudanças na paisagem sociotécnica para o desenvolvimento do biogás.

A partir da sua difusão em países desenvolvidos, na década de 70, as tecnologias relacionadas à sua produção avançaram e enfocaram em escalas maiores do que a familiar. Atualmente, além do difundido uso do biogás para cocção em países emergentes como China e Índia, a utilização mais comum e que pode ser observada em muitos países é a aplicação do biogás em usinas de co-geração para geração de energia elétrica e térmica. As tecnologias necessárias para essa forma de aproveitamento do biogás já estão estabelecidas e muitas empresas europeias produzem e comercializam seus equipamentos nacional e internacionalmente.

Além disso, a aplicação do biogás como combustível já pode ser observada no transporte público através de alguns projetos promissores já existentes em países como Suécia e Reino Unido. Estes projetos visam à circulação de ônibus, de veículos de passeio e, no caso do setor agrícola, a movimentação de tratores com biometano (PROBIOGÁS, 2015a). Outra forma de exploração do biogás bastante difundida no mundo é a sua captura em aterros sanitários, reduzindo emissões de gás metano descontroladas e odores enquanto gera energia. No entanto, com a busca por melhor gestão de resíduos em países desenvolvidos e a legitimação de diretrizes para uma economia circular, a tendência, idealmente, é que a captação de metano via aterro decresça com seus descomissionamentos crescentes.

Em relação a esta questão, recentemente a Comissão Europeia instituiu um Pacote de Economia Circular, que inclui revisões no que tange à gestão de resíduos e um dos elementos chave é a redução contínua de uso de aterros sanitários no bloco que será destino de apenas 10% do lixo municipal até 2030⁵². Diante disso, apesar da realidade em países emergentes como o Brasil estar muito distante de vislumbrar a diminuição dos aterros, que ainda recebem o lixo da maioria dos municípios brasileiros, juntamente com lixões, espera-se, por conta de pressões econômicas, logísticas e ambientais, a busca por alternativas melhores para gestão de resíduos e com isso o biogás de aterro, como é usualmente chamado, tende a perder cada vez mais relevância no mundo.

Em relação ao panorama global de produção e utilização de biogás, segundo dados da Associação Mundial de Biogás (WBA, 2014), em 2011, o consumo total de

⁵² The **revised legislative proposal on waste** sets clear targets for reduction of waste and establishes an ambitious and credible long-term path for waste management and recycling. To ensure effective implementation, the waste reduction targets in the new proposal are accompanied by concrete measures to address obstacles on the ground and the different situations across EU Member States.

Key elements of the revised waste proposal include:

- A common EU **target for recycling 65% of municipal waste** by 2030;
- A common EU **target for recycling 75% of packaging waste** by 2030;
- A binding landfill target to **reduce landfill to maximum of 10% of municipal waste** by 2030;
- A ban on landfilling of separately collected waste;
- Promotion of economic instruments to discourage landfilling;
- Simplified and improved definitions and harmonised calculation methods for recycling rates throughout the EU;
- Concrete measures to **promote re-use and stimulate industrial symbiosis**—turning one industry's by-product into another industry's raw material;
- Economic incentives for producers to put **greener products on the market** and support recovery and recycling schemes (eg for packaging, batteries, electric and electronic equipment, vehicles). (http://ec.europa.eu/environment/waste/target_review.htm).

bioeletricidade totalizou 348 TWh. A biomassa sólida respondeu por 65% deste valor, seguido dos resíduos com 22% e do biogás com 12% (EPE, 2016b, p.141 e 142).

De acordo com a WBA (2017), estima-se 48 milhões de pequenos e mais de 20.000 digestores de grande escala operando globalmente. Segundo a instituição, a capacidade elétrica instalada baseada em biogás apresentou crescimento de 170% desde 2006, atingindo 14,6 GW em 2017 e emprega atualmente 381 mil pessoas em todo o mundo. Com o investimento em novas áreas de pesquisa, a WBA apresenta a estimativa de que o biogás poderia produzir até 60% do que o carvão gera hoje de energia elétrica e ainda promover a redução de emissões de GEE em até 20% se toda a capacidade de produção de biogás fosse utilizada. Além disso, o relatório afirma que o biogás, apenas produzido a partir dos resíduos de alimentos no mundo, poderia fornecer toda a energia elétrica consumida pelo Brasil atualmente (WBA, 2017, p.9).

Outra fonte de informação se refere a European Biogas Association (EBA, 2016)⁵³, que informa que até dezembro de 2015 já existiam 17.376 plantas de biogás em operação na Europa, das quais 459 produziam biometano. A quantidade de energia elétrica produzida a partir do biogás era de 60,6 TWh, um número que corresponde a um consumo anual de 13,9 milhões de residências europeias. No ano anterior, 2014, foram registradas 17.240 plantas de biogás na Europa e 367 plantas de biometano. Segundo a instituição, a Alemanha lidera o crescimento das plantas de biogás seguido pela Suécia e Reino Unido. Apesar do seu consumo inferior de gás comparado a outros países da Europa, a Suécia é considerada pioneira na produção de biometano e na sua utilização no setor de transporte, para onde destina 78% do biometano produzido, abastecendo quase 50 mil veículos (EBA, 2017).

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2017), que em relatório recente afirma que a produção global de carvão caiu significativamente no mundo em 2016, enquanto o comércio global de gás natural aumentou, informa um crescimento anual de 12,7% na utilização do biogás para geração de energia elétrica nos países da OCDE entre 1990 e 2016 conforme demonstra a Figura 36.

⁵³ Fundada em 2009, a European Biogas Association (EBA) promove a produção sustentável e o uso de biogás e biometano a partir da digestão anaeróbica (AD) e a gasificação de biomassa na Europa. (<http://european-biogas.eu>)

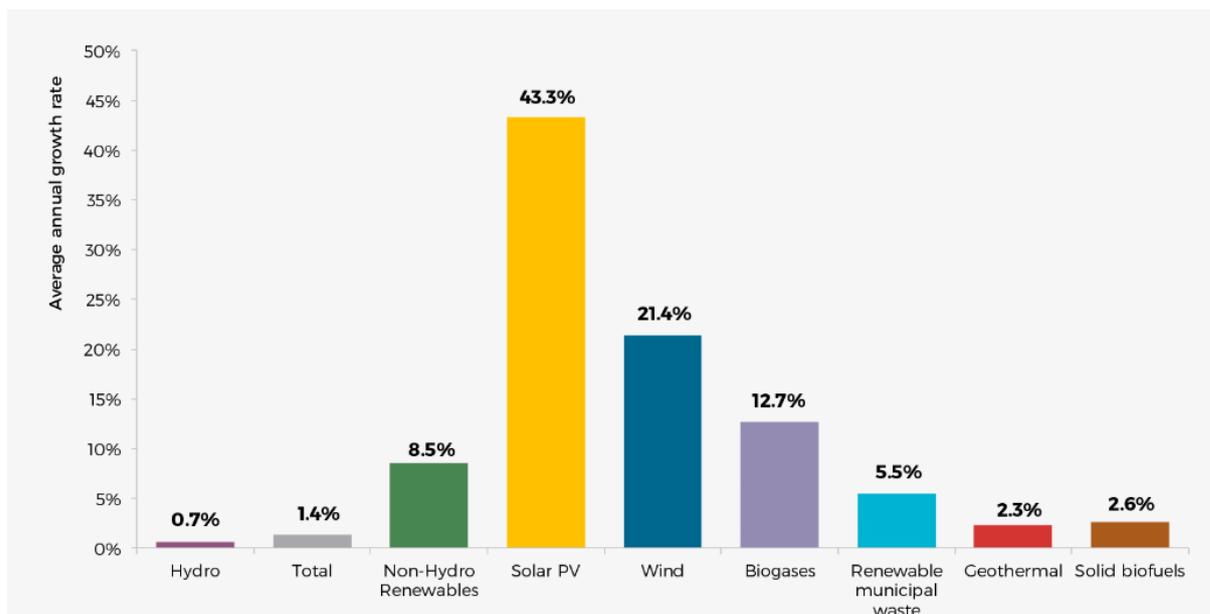


Figura 36: Taxas de crescimento anual de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis nos países da OCDE -1990-2016
Fonte: IEA, 2017

Em relação à União Europeia, que possui metas para aumentar seu portfólio energético com energias renováveis (em 2020 suprirá 20% da energia primária e 35% da energia elétrica com fontes renováveis), a produção de biogás correspondeu, em 2011, a 10.058 Mtep (milhões de toneladas de petróleo equivalentes) e 66,5% foram produzidos com substratos da agricultura; 23,6% nos aterros e 9,9% nas estações de tratamento de esgoto (lodos) (PROBIOGÁS, 2015). A Figura 37 apresenta uma estimativa de produção de biogás na UE em 2012 por fonte de substrato.

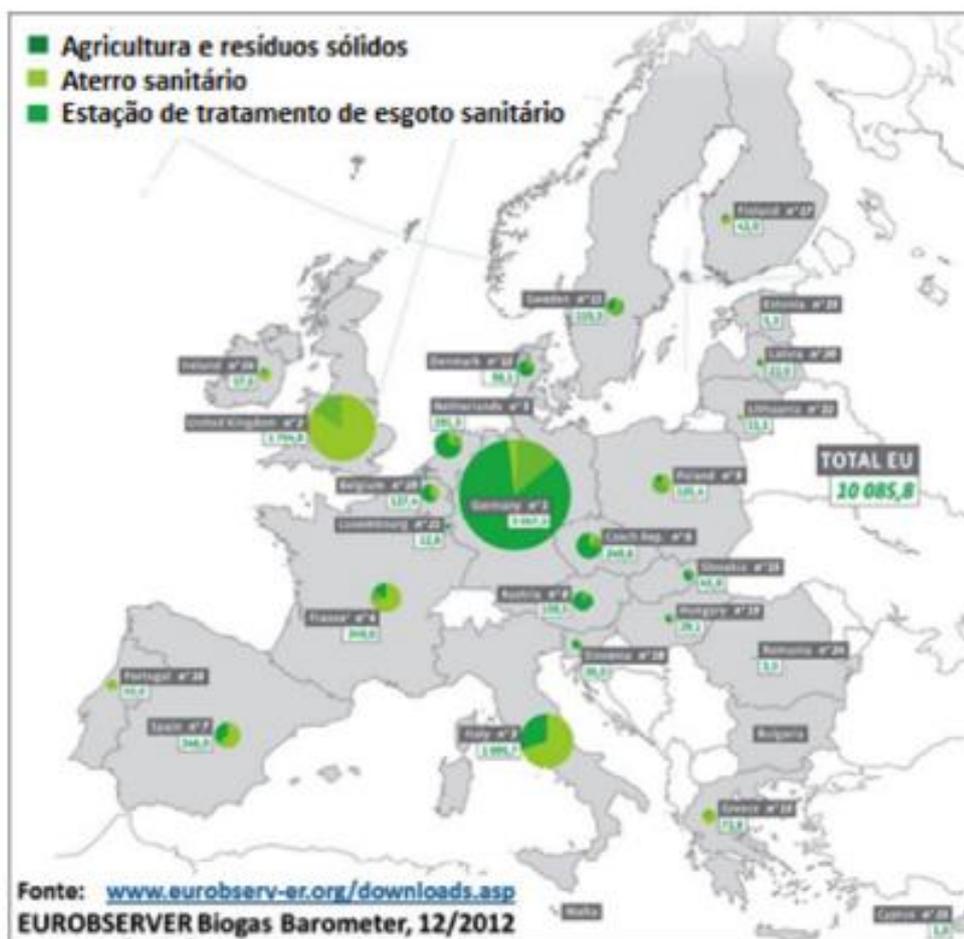


Figura 37: Estimativa de produção de biogás na UE
 Fonte: Euroserver, 2012

De acordo com Whiting e Azapagic (2014), apesar de ser uma tecnologia já estabelecida, o crescimento nas instalações de digestão anaeróbica na Europa começou a ganhar mais força recentemente, após a introdução de incentivos financeiros. Atualmente, 29 países europeus têm incentivos que promovem a geração de eletricidade a partir do biogás. Um exemplo é a Alemanha com cerca de 7000 plantas de digestão anaeróbica em 2010, muitas das quais são pequenas (<75 kWe) e baseadas em fazendas. Em 2014, os operadores de plantas biodigestoras na Alemanha recebiam entre 12 a 25 centavos de euro por cada kWh de eletricidade gerado. A Itália, outro país europeu expoente no uso da tecnologia, também recebeu incentivos financeiros com pagamentos entre 8,5 e 23 centavos de euro por kWh, dependendo da capacidade da planta. Em 2014 havia em torno de 1.000 digestores anaeróbicos instalados no país. No Reino Unido, o crescimento do setor de biogás foi impulsionado a partir do estabelecimento de tarifas *feed-in* em 2010 e de um incentivo específico chamado the Renewable Heat Incentive (RHI) em 2011 que pagava pela eletricidade e o calor gerado pelas plantas de biogás respectivamente. Os dois esquemas

foram introduzidos para ajudar ao Reino Unido a atingir suas metas de redução de GEE em 80% até 2050, assim como reduzir o montante de resíduos destinado aos aterros sanitários. Em 2013, a tecnologia de digestão anaeróbica era a única tecnologia de bioenergia a receber tarifa feed-in no Reino Unido. Em 2014, segundo Whiting e Azapagic (2014) havia 123 instalações de digestão anaeróbica no Reino Unido e a maioria produzia eletricidade e calor. Todas as iniciativas acima demonstram a relevância da atuação do Estado e da colocação de incentivos para a difusão da tecnologia.

Outra mudança recente, especialmente na Europa, se refere a atenção crescente dada ao biometano. O mercado deste biocombustível tem crescido rápido ano após ano e o número de plantas de biometano na Europa em 2014 totalizavam 459 unidades. A Alemanha apresenta o maior percentual desse número com 185 plantas. Em 2015, 15 países europeus já possuem unidades de purificação de biogás para transformá-lo em biometano (WHITING & AZAPAGIC, 2014).

Em relação aos Estados Unidos, de acordo com relatório produzido conjuntamente por diferentes agências do governo federal do país, (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USDA e ENERGY DEPARTMENT, 2015), havia mais de 2.000 locais produzindo biogás em 2014, dentre eles a maioria se referia a biogás de aterro. Segundo o relatório, o objetivo era identificar ações que podem ser tomadas para reduzir as emissões de metano através do uso de sistemas de biogás e mapear estratégias para superar as barreiras ainda existentes para a criação de uma indústria robusta de biogás nos Estados Unidos. Frente ao objetivo voluntário estabelecido no país pela indústria de laticínios, de reduzir suas emissões de GEE em 25% até 2020 (com base em 2008), o setor suportou a iniciativa com a expectativa de encontrar no biogás uma forma de atingir seu objetivo. O relatório também concluiu que a partir de recebimento de suporte apropriado mais de 11.000 sistemas de biogás poderiam ser colocados em prática nos Estados Unidos e abastecer com energia elétrica mais de dois milhões de famílias norte americanas, além de promover a redução de entre 4 a 54 milhões de toneladas de GEE.

Além dos números referentes a países com potencial e produção expressiva de biogás, como Estados Unidos e Europa, respectivamente, outra questão importante se refere a legitimidade da fonte. Iniciativas como a Bioenergy Task 37 da AIE para tratar especificamente do biogás, associações e fóruns, tudo isso demonstra o crescimento produtivo e a importância do biogás, que como já abordado exaustivamente, tem características bastante positivas para ter seu potencial explorado.

Para exemplificar, um evento planejado para 2018, chamado de World Biogas Expo 2018⁵⁴, afirma em sua página principal que o biogás tem um mercado global estimado em um trilhão de libras esterlinas e é crucial para segurança energética, para combater as mudanças climáticas e atingir os Desafios do Milênio da ONU. Esta será a oitava edição do evento e seus organizadores se mantêm bem otimistas quanto as perspectivas futuras para a fonte.

No que se refere ao Bioenergy Task 37, seu objetivo é abordar os desafios relacionados à sustentabilidade econômica e ambiental da produção de biogás por digestão anaeróbica. Embora existam milhares de plantas de biogás nos países da OCDE, a operação na grande maioria dos casos só pode ser sustentada, como foi demonstrado acima, com a ajuda de subsídios para poder competir com o setor industrial de energia fóssil. Diante disso, a IEA (2017) afirma que existe uma forte necessidade de melhorar muitas das etapas da cadeia de produção de biogás, com o objetivo de reduzir os custos de investimento e de operação. As publicações da Bioenergy Task 37 fornecem informações importantes para serem usadas para melhorar o desempenho econômico e ambiental da cadeia de valor de biogás. Além disso, espera-se que amplie o conhecimento sobre a mesma entre diferentes áreas do setor público e do setor privado, que precisam se familiarizar e compreender melhor a fonte.

A partir desta contextualização geral da fonte, o item seguinte apresentará o desenvolvimento do uso do biogás na Alemanha e Suécia, dois países considerados referência em relação à fonte e que demonstram a atuação do Estado na sua difusão.

4.7 Experiências internacionais: a importância das políticas públicas

Neste item são abordadas duas experiências internacionais mais maduras na exploração do biogás para que possam ser extraídos aprendizados e reflexões. O objetivo é demonstrar que a fonte, mesmo em contexto com potencial inferior ao brasileiro, por menor quantidade de substratos disponíveis e condições climáticas menos favoráveis, tem sido cada vez mais difundida. Espera-se também demonstrar a relevância da atuação de diferentes atores na transição para o uso do biogás e do biometano, particularmente, nos casos em questão, a relevância do papel do Estado por meio de diferentes formas de atuação.

⁵⁴ <http://adbioresources.org/biogastradeshow/>

É importante ressaltar que apesar dos países não se assemelharem em nenhum aspecto com o contexto territorial, social, cultural ou econômico brasileiro e não se pregar aqui a replicabilidade de ações, políticas, regulações ou qualquer outro instrumental utilizado, a escolha se deu por conta de serem considerados líderes no setor. Como mencionado no item anterior, de acordo com a EBA (2017), a Alemanha lidera o crescimento de plantas de biogás no mundo seguido pela Suécia.

Especificamente sobre a escolha da Suécia, o objetivo foi explorar um país pioneiro na produção e utilização do biometano, que ainda é utilizado de forma incipiente no mundo. Ainda de acordo com a EBA (2017), a Suécia estabeleceu-se como pioneira na Europa na produção de biometano e, especialmente, o uso de biometano nos transportes passando a dedicar 78% de sua produção de 1.303 GWh para abastecer quase 50.000 veículos.

Um ponto também relevante de abordar diz respeito a diferença no contexto político-energético europeu em relação ao brasileiro. Pelo fato de ter uma matriz energética majoritariamente baseada em fontes fósseis e níveis de emissão de GEE per capita elevados, a União Europeia tem feito esforços no sentido de buscar aumentar a renovabilidade nas matrizes de seus países membros. Por meio, por exemplo, da estratégia chamada Europe 2020⁵⁵ estabeleceu-se a meta de aumentar o percentual de utilização de fontes renováveis no consumo final da comunidade em 2020 para 20%. A partir disso, a Comissão Europeia passou a estimular o estabelecimento de políticas e instrumentos em prol de fontes renováveis em seus países membros, podendo-se inferir que há uma pressão positiva do nível da paisagem sociotécnica sobre o regime incumbente para que fontes como o biogás ganhem cada vez mais espaço. EMMANN et al (2013), por exemplo, afirmam que ao longo dos anos, a União Europeia lançou vários elementos para suportar sua estratégia em prol de energias renováveis.

Especificamente sobre o biogás, a fonte, no contexto da União Europeia, acaba sendo impactada positivamente não apenas por pressões em prol da disseminação das novas renováveis, mas também por outros setores, tais como, no caso europeu, o setor de resíduos, que também, como já abordado neste trabalho, sofreu várias alterações desde a década de 90 em diversos países da comunidade. Veiga (2016) afirma que, mais recentemente, a

⁵⁵ Europe 2020 Strategy foi uma estratégia estabelecida em 2010 para a União Europeia com o objetivo de estimular um crescimento econômico sustentável da comunidade. Em relação ao setor energético, foi estabelecido: Reduce greenhouse gas emissions by at least 20% compared to 1990 levels or by 30%; increase the share of renewable energy sources in our final energy consumption to 20%; and a 20% increase in energy efficiency.

necessidade de aprimoramento da gestão de resíduos e questões como a segurança no suprimento energético e mudanças climáticas impulsionaram o refinamento de técnicas de purificação de biogás, com o objetivo de produzir o biometano, potencial substituto do gás natural de origem fóssil. O autor também afirma que a implantação de mecanismos de incentivo e a definição dos usos finais selecionados em função da infraestrutura disponível foram indutores do desenvolvimento deste recurso nesses países.

De acordo com Raven e Geels (2010), há diferentes padrões de desenvolvimento do biogás e o desenvolvimento da fonte experimentou altos e baixos em cada contexto. No entanto, dentro do arcabouço teórico das transições sociotécnicas, regras normativas e formais, que também são instituições importantes em comunidades técnicas emergentes, se mostram fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias como o biogás e, segundo os autores, a partir do estudo de caso da Holanda e Dinamarca, mostraram a especial importância das regras formais, onde subsídio e condições diferenciadas para investimento desempenharam papel relevante na difusão da fonte nestes países.

Nessa linha, que argumenta a favor de políticas específicas em prol de inovações, Oroski (2013) afirma que,

políticas governamentais podem estimular a formação de nichos, através de incentivos às pesquisas, à identificação de novidades potenciais em campos específicos que merecem maior desenvolvimento e aprendizado, ao estímulo e à otimização das condições para o aprendizado, tais como o provimento de financiamento para experimentação e a construção de redes entre os atores. Por fim, os instrumentos políticos podem ajudar a estimular as inovações e sua difusão, através de instrumentos financeiros como subsídios, estabelecimento de novos padrões (como padrões de emissões), regulações, etc. (OROSKI, 2013, p.47).

Geels (2014) afirma que os países mais inovadores, dentre eles países nórdicos, são países que possuem políticas de inovação sofisticadas baseadas em três paradigmas políticos. O primeiro ele chama de tradicional, que se referem às regulações. O segundo se refere aos incentivos baseados no mercado. O terceiro, que ele considera ser o diferencial dos países nórdicos, se refere a capacidade de o setor público ser um agente de conexão, o que ele chama de capacidade de criar uma rede de governança (*network governance*), onde a *“policymakers position is to bring more people together, creating vision, learning processes and collaboration. Nordic countries and Germany are very good on this third paradigm”* e talvez por conta disso o biogás vem se desenvolvendo com maior expressividade na

Alemanha e na Suécia. A seguir será abordado um rápido panorama do biogás nos dois países, respectivamente.

4.7.1 O desenvolvimento do biogás na Alemanha

O instrumento responsável pela difusão de energias renováveis na Alemanha foi o The Renewable Energy Sources Act (Erneuerbare Energien Gesetz – EEG - Lei das Fontes de Energia Renováveis) que objetivava promover a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia. Ele foi lançado em 2000 e é uma das mais importantes referências mundiais no uso das tarifas *feed-in*. A remuneração para fontes renováveis estabelecida nesta lei foi bastante diferenciada e estimulou um rápido crescimento, especialmente a promoção da energia fotovoltaica, que por meio do pagamento de tarifas subsidiadas pelo governo durante 20 anos, garantia a rentabilidade dos investimentos necessários.

Após seu lançamento, o EEG foi revisado diversas vezes. Desde a primeira revisão em 2004, estabelecendo bases legais para equiparar operadores de usinas de energias renováveis aos operadores da rede de energia alemã e alterando as tarifas *feed-in*, até 2014, quando ele sofreu alterações estruturais e mudou a trajetória de ascensão de fontes renováveis como a fotovoltaica. Em 2014, após o acidente do reator nuclear de Fukushima em março de 2011 e um maior debate político, foi instituída uma nova EEG chamada de EEG 2.0. Ela representou um forte ajuste na política energética alemã de apoio a essas fontes que podem ser sintetizados por redução do apoio às novas plantas e manutenção dos incentivos às já existentes; estabelecimento da redução dos incentivos a todas as fontes ao longo do tempo, revisão dos bônus dados como apoio às renováveis e extinção de grande parte deles, extinção do privilégio verde dado à eletricidade gerada na Alemanha a partir de fontes renováveis em detrimento à eletricidade gerada fora do país; e alinhamento às leis europeias. Segundo o Grantham Institute (2017), a alteração de 2014 introduziu quatro grandes mudanças: um corredor de implantação para energia eólica, fotovoltaica e biomassa foi configurado; o acesso direto ao mercado passou a ser obrigatório para todas as novas instalações (com pequenas exceções); instituiu a realização de leilões a partir de 2017; e removeu vários subsídios e isenção para consumidores intensivos em energia e *prosumers*⁵⁶.

⁵⁶ Prosumer é alguém que produz e consome sua própria energia. Uma mudança possibilitada, em parte, devido ao surgimento de novas tecnologias de conexão e ao aumento das fontes renováveis de energia descentralizadas, como a energia fotovoltaica. (<https://energy.gov/eere/articles/consumer-vs-prosumer-whats-difference>)

Recentemente, a EEG 2017 entrou em vigor (1 de janeiro de 2017) colocando várias mudanças planejadas em 2014 em prática, sendo as principais a introdução de um sistema de leilão para quase todas as fontes de energia renováveis (vento onshore, vento offshore, fotovoltaica e biomassa); a isenção de realização de leilões para as instalações com capacidade menor ou igual a 750kW (para biomassa menor ou igual a 150kW) que continuarão a serem remuneradas como anteriormente; e a introdução do modelo de “alvo central” dinamarquês, onde o governo examina antecipadamente os locais a serem leilados para parques eólicos para assegurar uma combinação ideal com as conexões da rede e evitar a necessidade que novas conexões de rede sejam construídas. A Figura 38 apresenta de forma resumida as mudanças ocorridas na legislação alemã em prol de fontes de energia renovável desde sua criação.

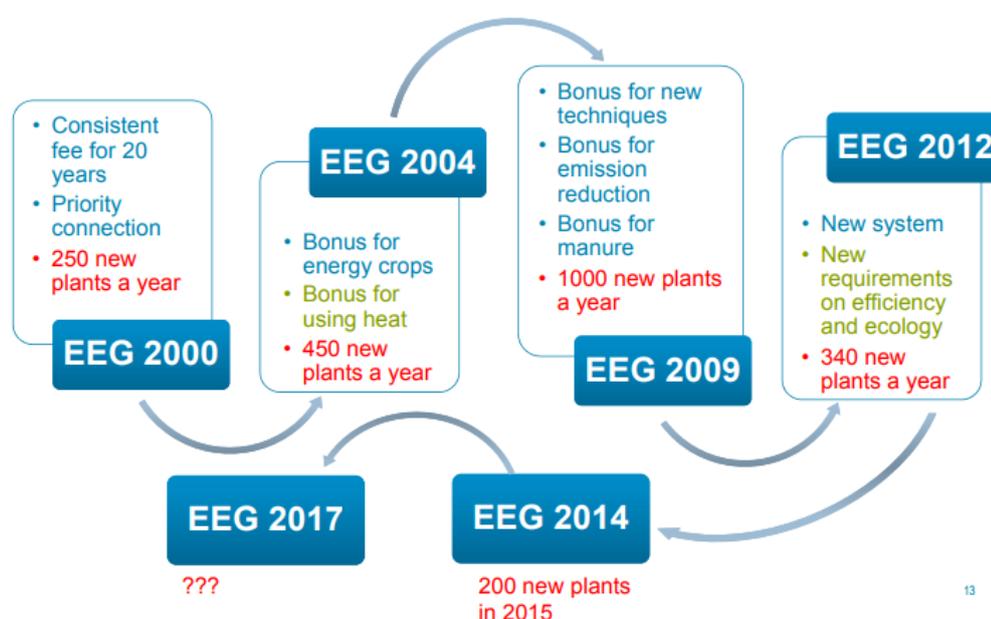


Figura 38: Resumo visual das mudanças na Lei de Energias Renováveis Alemã (2000-2017)
Fonte: Fachverband Biogas, 2017

Apesar das mudanças recentes, que talvez façam sentido pelo amadurecimento das tecnologias renováveis, a Alemanha vivenciou um longo período de crescimento de fontes renováveis de energia como o biogás (EMMANN et al., 2013). Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2011), em 2010 as energias renováveis já contribuíam com 9,3% da oferta primária de energia Alemã e de acordo com o Ministério de Economia e Energia, a Alemanha tem aumentado ano após ano seu portfólio de renováveis conforme apresenta a Figura 39.

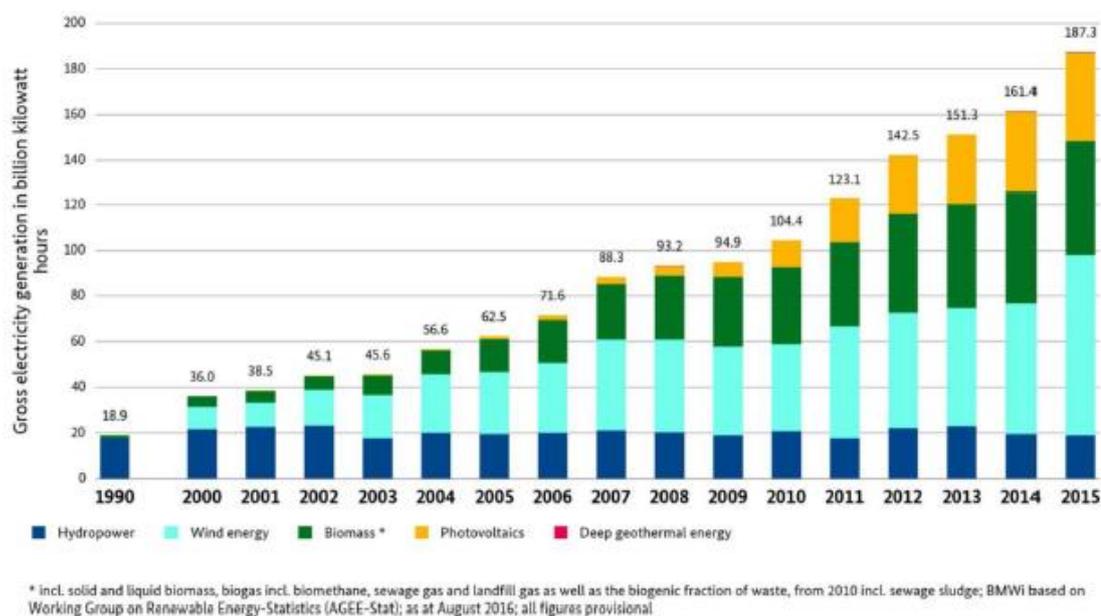
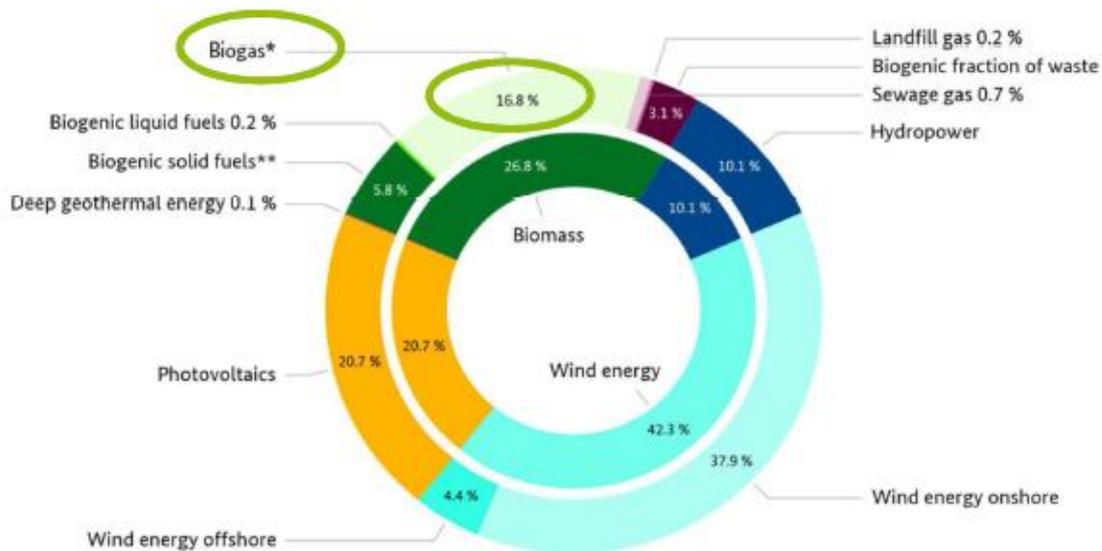


Figura 39: Desenvolvimento de fontes renováveis na geração de eletricidade alemã
 Fonte: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Germany, 2016

Especificamente em relação ao biogás e demonstrando a legitimação da fonte no país, o Ministério de Economia e Energia alemão, afirma que em 2015 a fonte foi responsável pelo fornecimento de 16,8% da eletricidade renovável ofertada ao país e, no que tange a eletricidade a partir da biomassa, diferentes matérias-primas foram utilizadas, sendo o biogás a mais expressiva e a Figura 40 e Figura 41 demonstram isso.

Renewables-based electricity generation in Germany 2015

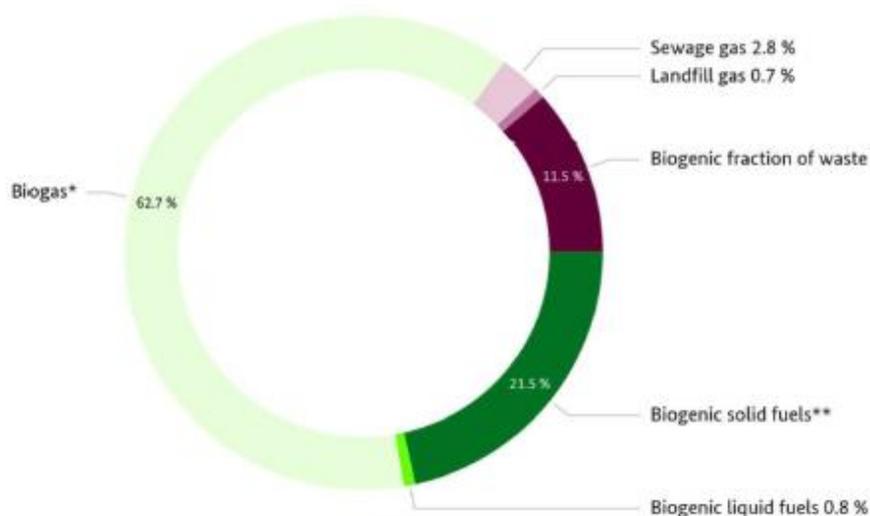
Total: 187.3 billion kilowatt hours



* incl. biomethane, ** incl. sewage sludge; BMWi based on Working Group on Renewable Energy-Statistics (AGEE-Stat); as at August 2016; all figures provisional

Figura 40: Geração de eletricidade alemã baseada em renováveis

Fonte: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Germany, 2016



* incl. biomethane, ** incl. sewage sludge; BMWi based on Working Group on Renewable Energy-Statistics (AGEE-Stat); as at August 2016; all figures provisional

Figura 41: Eletricidade gerada a partir da biomassa na Alemanha em 2015

Fonte: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Germany, 2016

Ainda nos anos 80, a Alemanha foi um dos primeiros países a capturar gás de aterro através de sistemas adequados e utilizá-lo energeticamente. Com o passar do tempo, o foco da gestão de resíduos foi modificado através de medidas legais, reduzindo a destinação para aterros sanitários. Devido à redução da destinação de matéria orgânica para aterros, a

produção, processamento e valorização energética de gás de aterro também reduziu significativamente no país. Isso levou ao fechamento de muitas plantas de geração de energia através desta fonte, mas também ao surgimento de ideias inovadoras para a eliminação dos gases residuais formados nos aterros sanitários, que mesmo após seu fechamento continuam a ser emitidos, mesmo que de forma decrescente. Apesar de menos expressivas, ainda são produzidas na Alemanha, especialmente em grandes aterros, enormes quantidades de gases residuais e ainda existe um grande número de empresas especializadas em projetos e fornecimento de tecnologias e produtos nesta área. No entanto, o biogás produzido na Alemanha vem majoritariamente de plantas rurais. A Figura 42 traz os diferentes tipos de substratos utilizados na Alemanha para geração de biogás para eletricidade:

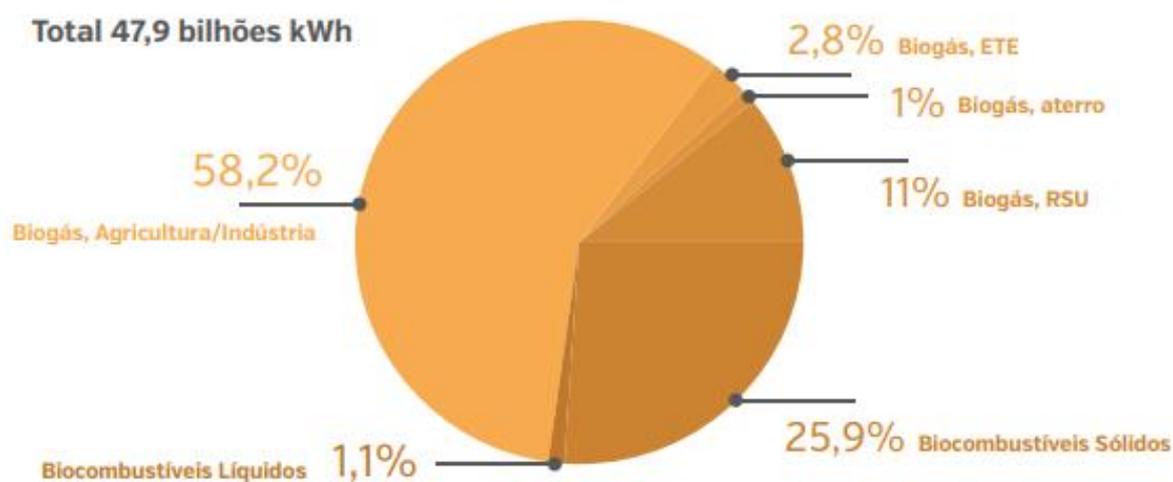


Figura 42: Substratos para produção da energia elétrica na Alemanha
Fonte: PROBIOGÁS, 2015a

De acordo com o Centro Alemão de Pesquisa sobre Biomassa (Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2017), após o Ministério de Economia e Energia realizar um inventário das plantas de biogás, constatou-se mais de 10.000 plantas de biogás no país, sendo 8.005, praticamente 80% delas, do setor agrícola, conforme a Figura 43 apresenta.

Plant type	Number of plants	Electricity production ¹⁾ [GWh/a]	Heat production [GWh/a]
Sewage sludge	1,400	1,390	1,979
Biowaste	180 ²⁾ (140)	903	479
Agriculture	8,005 (8300+200)	28,002 (32,3)	14,861 (16,7)
Industrial	80	1,204	639.2
Landfills	400	390	110
Total	10,065	31,890	18,069

¹⁾ excluding efficiency losses;

²⁾ Of those, 40 plants use < 90% of biowaste of the whole input amount per year for the biogas production;

Figura 43: Inventário de plantas de biogás na Alemanha
 Fonte: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Germany, 2016

A partir do enfoque dado ao biogás produzido no setor agrícola, a Alemanha possui a planta de geração de biogás rural considerada a maior do mundo. O projeto BioEnergie Park Güstrow na Alemanha produz biogás com qualidade de gás natural a partir de diferentes tipos de resíduos e tinha um potencial térmico de 50 kWth em 2014 sendo considerado o maior biodigestor do mundo. Em sua arquitetura há cinco centrais no formato de trevos, com cinco reatores cada e, segundo o fabricante, produzem mais de 46 milhões de metros cúbicos de biogás por ano com qualidade equiparável ao gás natural que são devidamente direcionados à rede de distribuição de gás natural em toda a Alemanha. Com isso, o projeto é capaz de suprir a demanda térmica de mais de 50.000 casas a partir de uma produção de energia ecologicamente neutra e descentralizada. Os resíduos são devidamente tratados resultando em 85.000 t de fertilizante prensado e 90.000 t de fertilizante líquido que são reutilizados por agricultores da região para a plantação de mais recursos naturais renováveis. A matéria prima utilizada como substrato é comprada de mais de 100 agricultores a preço de mercado gerando emprego e renda na região e garantindo a viabilidade econômica do agronegócio local. O projeto completo ocupa uma área de 50 hectares e gera 50 empregos diretos além de ter promovido maior dinamização socioeconômica na região (NAWARO, 2017). A Imagem 7 apresenta uma foto aérea da planta de geração de biogás do BioEnergie Park Güstrow é emblemática por demonstrar a diversidade de plantas de biogás, que podem ter escalas muito pequenas e grandiosas como a do projeto em questão.

Imagem 7: BioEnergie Park Güstrow



Fonte: Portal do Biogás, 2014

No que tange ao futuro do biogás na Alemanha, a Figura 44 mostra a perspectiva de produção de energia a partir do biogás de diferentes substratos para o ano de 2030 no país. O maior potencial se concentra no uso da biomassa dedicada que seriam plantações energéticas. De acordo com PROBIOGÁS (2015), as biomassas dedicadas podem ser produzidas com a finalidade de geração de energia e na Alemanha elas representam o principal substrato para o fornecimento de energia a partir de biogás, e, desde julho de 2014, o governo alemão subvenciona sua produção. No entanto, autores como Olsson e Falde (2014) afirmam que apesar da Alemanha ser tomada como um caso de sucesso na geração de biogás a partir de resíduos agrícolas, apenas 10% do potencial de produção de biogás do país é utilizado, podendo assim não precisar de culturas dedicadas para o crescimento do setor, que é um dos motivos de críticas pela opinião pública a plantas de biogás, que estariam provocando especulação imobiliária e direcionamento de terras agriculturáveis para plantações energéticas.

ORIGEM DA BIOMASSA	POTENCIAL 2030
Biomassa dedicada	3.750 MW
Dejetos e esterco da produção animal	1.545 MW
Resíduos agrícolas vegetais (folhas, colheita)	1.503 MW
Subprodutos vegetais da agroindústria (resíduos e fluentes)	562 MW
Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU)	337 MW
Resíduos animais da agroindústria (frigoríficos, laticínios)	126 MW

Figura 44: Perspectiva da contribuição das fontes orgânicas na produção de energia na Alemanha.
Fonte: PROBIOGÁS, 2015

Segundo o PROBIOGÁS (2015a), o uso de biomassas dedicadas, principalmente o milho, armazenadas em estoques tipo silo, onde acontece um processo de fermentação ácida, facilitando a digestão no reator, poderia ser uma boa opção. Eles defendem que o armazenamento pode amenizar os efeitos da sazonalidade da safra e que no Brasil esse tipo de uso de biomassa poderia ser relevante em casos de processos de co-digestão, garantindo assim uma produção constante e uma maior quantidade de energia. No entanto, esta opção não se configura como a melhor, por gerar conflitos entre diferentes usos da terra. No caso do Brasil, o potencial é tão grande que não há necessidade de planejar produção com biomassa dedicada, devendo-se considerar a enorme quantidade de resíduos de diferentes fontes disponíveis para assim a produção e utilização do biogás gerar mais benefícios socioambientais.

Outra questão crítica no uso de biomassa dedicada se refere a quantidade de terra. Segundo Granoszewski et al. (2009) pelo fato da maioria das plantas alemãs serem operadas com base em milho energético, a produção de biogás acabou por se caracterizar por um sistema muito intensivo em terra. Segundo os autores, em 2010, 650.000 ha eram requeridos para geração de biogás e terras agrícolas foram utilizadas para a produção de insumos para plantas de biogás ao invés, por exemplo, de gerar alimento. Por conta deste e de outros fatores, a produção de biogás é consideravelmente mais controversa entre o público em geral (incluindo a mídia) atualmente do que apenas alguns anos atrás (ZSCHACHE et al., 2010). No entanto, de acordo com a Fachverband Biogas⁵⁷ (2016), associação alemã criada em 1992 para apoiar o desenvolvimento do biogás na Alemanha, a tendência atual no país é diminuir a utilização de biomassa dedicada e aumentar a utilização de resíduos diversos, apesar do que sugere o Probiogás, deixando dúvidas de como prosseguirá o desenvolvimento do setor.

Em relação à purificação do biogás para geração do biometano, segundo a UNIDO & FACHVERBAND (2017), na Alemanha mais de 90% do biometano produzido é utilizado para a cogeração em CHP e apenas 3,5% no setor de transporte. Até agora, o uso de biometano na indústria química e para exportação para outros países europeus não foi explorado, mas apresenta alto potencial de desenvolvimento. Na Alemanha, os requisitos para utilização de biometano como um gás adicional ou de substituição, especialmente para a injeção na rede de gás, são regulamentados através de normas elaborados pela Deutscher

⁵⁷ Em 14 de fevereiro de 1992, 17 membros fundaram a associação especializada em biogás na Alemanha, que se tornou uma instituição de referência no país para o desenvolvimento da fonte. (<https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE-Historie>)

Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), a associação alemã para Gás e Água, nos quais estão descritos as condições e os parâmetros mais importantes que devem ser atendidos, a fim de alcançar a qualidade mínima exigida. As principais etapas do processamento do biogás para biometano empregadas no país são a dessulfurização, a remoção de dióxido de carbono, a secagem do gás, bem como outras medidas de ajuste do poder calorífico. Neste caso, a ordem dessas etapas pode variar de acordo com a composição do biogás produzido e com o tipo de processo de produção (de natureza física e bioquímica).

Em resumo, a Alemanha vem apresentando um contexto de forte expansão de fontes renováveis de energia e legitimando a efetividade da *Energiewende* alemã, como é usualmente chamada a política de transição energética do país, que enfocou majoritariamente em energias renováveis. Os objetivos do *Energiewende* incluem a eliminação de fontes de energia não renováveis do portfólio de energia, a eliminação da geração de energia nuclear, a redução da dependência das importações de energia e a redução das emissões de carbono. A eletricidade gerada a partir de fontes renováveis triplicou na Alemanha nos últimos 10 anos. Com base nos objetivos da *Energiewende*, a participação da energia gerada a partir de fontes renováveis deverá aumentar para 45% em 2025 e para mais de 80% em 2050.

O governo alemão apoiou o crescimento da energia renovável prometendo um preço fixo, acima do mercado, por cada quilowatt-hora de energia gerada por fontes renováveis (*feed-in tariff*). Por lei, essas fontes renováveis têm prioridade sobre a geração tradicional, o que significa que outras formas de geração devem ser reduzidas para acomodar flutuações na geração de eletricidade renovável. Ao longo dos últimos cinco anos, essas políticas ajudaram a duplicar a quantidade de geração de energia eólica, por exemplo. Porém, como abordado, com mudanças recentemente implementadas, o crescimento das renováveis foi negativamente impactado em um primeiro momento e o acompanhamento futuro da evolução das fontes é requerido para avaliar o impacto das mudanças.

Junto com esse cenário positivo de crescimento das novas renováveis na Alemanha é necessário também contextualizar os desafios existentes. Um fato importante de ressaltar é que junto com a Dinamarca, a Alemanha tem entre os preços mais elevados da eletricidade residencial na Europa. Como um exportador líquido de eletricidade, o rápido crescimento da produção elétrica na Alemanha criou problemas tanto para a Alemanha quanto para os vizinhos. A Alemanha atualmente carece da infraestrutura para enviar o excesso de eletricidade do norte do país para as áreas mais populosas do sul. Um grande volume de

energia excedente flui através das redes de transmissão para os vizinhos da Alemanha, muitas vezes criando picos de energia. A Polônia e a República Tcheca investiram em tecnologia para evitar apagões de sobretensões que se originam na Alemanha em dias com ventos intensos. A Alemanha identificou a necessidade de mais de 3.800 quilômetros de novas linhas de transmissão que funcionariam do norte ao sul da Alemanha para atender ao crescimento crescente da demanda e oferta de eletricidade, mas essas propostas de infraestrutura foram contrapostas por municípios e cidadãos (EIA, 2016).

Com as mudanças estabelecidas em 2014 em sua política energética baseada em um expressivo controle de custos e, como informado anteriormente no texto, as tarifas *feed-in* foram alteradas e a partir de 2017, ao invés de tarifas fixas, os produtores de energia passaram a competir em leilões e, caso os objetivos de crescimento de renováveis forem excedidos em um determinado ano, os incentivos tarifários de *feed-in* para o ano seguinte diminuirão para equilibrar o crescimento. Por conta das mudanças, devido à queda extrema da tarifa de *feed-in* e à crescente quantidade de limitações em novas instalações, alimentação em rede e autoconsumo, o número de novas instalações fotovoltaicas na Alemanha, por exemplo, diminuiu mais de 80% entre 2013 e 2016. No mesmo período, no entanto, as novas instalações fotovoltaicas em todo o mundo mais do que duplicaram (AGORA, 2016). Em 2016, o crescimento da capacidade fotovoltaica instalada foi de 1,2 GW na Alemanha, que corresponde a quase 2% do total da nova capacidade fotovoltaica instalada no mundo no mesmo ano. De acordo com a Lei Alemã de Energia Renovável (EEG 2014 e 2017) a meta de crescimento anual é de 2,5 GW. Os resultados dos novos instrumentos da EEG 2.0 poderão ser avaliados em breve (FRAUNHOFER, 2017).

Especificamente em relação ao biogás, de acordo com a Fachverband Biogas (2016), mesmo com as mudanças, a Alemanha deve continuar como um dos países pioneiros na difusão de renováveis e o biogás continuará se desenvolvendo no país, visto que já foi legitimado no seu mix energético por conta dos seus diferentes benefícios (redução de emissões, produção flexível de eletricidade, calor / frio, biometano, fertilizante). De qualquer forma, o crescimento de fontes a biomassa, de acordo com relatório recente publicado pela Fraunhofer (2017), instituto para difusão da energia solar na Alemanha, também sofreram impacto negativo com as mudanças na política, conforme apresenta a Figura 45.

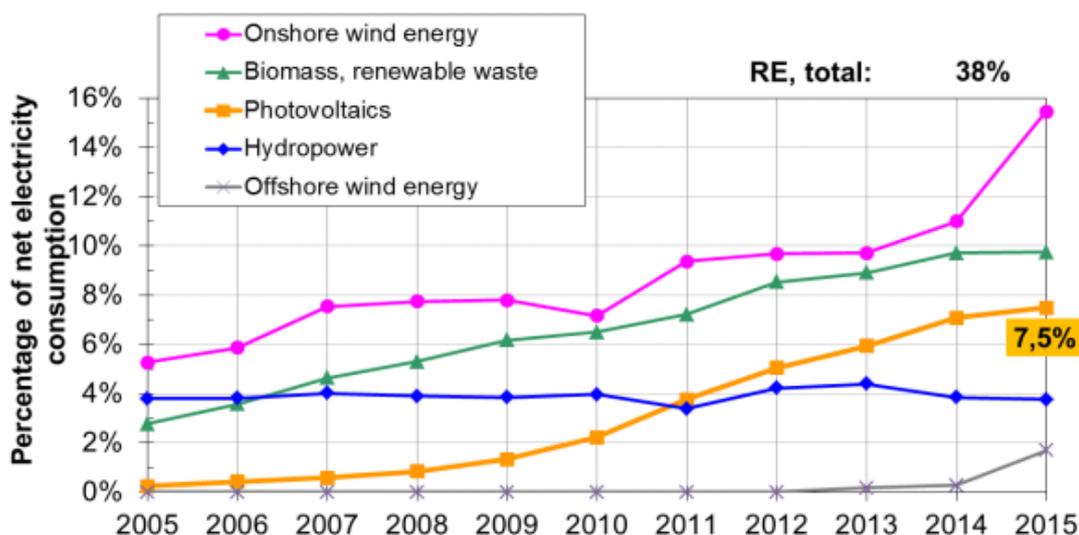


Figura 45: Percentual de energia renovável no consumo final de eletricidade na Alemanha
Fonte: Fraunhofer ISE, 2017

De qualquer forma, o caso da Alemanha demonstra a saída do biogás de seu nicho sociotécnico e estabelecimento no regime, que pode ser atestado pelo crescimento de plantas, pela legitimidade da fonte na matriz energética do país e na atuação do país como disseminador da tecnologia em outras partes do mundo, como no Brasil. Outro ponto importante que pode ser absorvido a partir da experiência alemã é a importância do suporte governamental para a disseminação e legitimação de novas tecnologias; e como a diminuição ou retirada dos incentivos teve impacto imediato no desenvolvimento das fontes alternativas. Apesar das instituições relacionadas ao biogás ainda estarem otimistas após as mudanças na política energética alemã, que ainda não impactaram negativamente o crescimento no número de novas plantas no país substancialmente, suas consequências só poderão ser avaliadas nos próximos anos.

4.7.2 O desenvolvimento do biogás na Suécia

A Suécia já oferta mais da metade da energia do país a partir de fontes renováveis (52%), incluindo eletricidade, aquecimento urbano e combustível e é o índice mais alto da União Europeia, alcançando o objetivo instituído em 2012 de alcançar uma participação de 50% de energia renovável alguns anos antes da meta, que havia sido estipulada para 2020 (SWEDEN ENERGY AGENCY, 2016).

Sobre o desenvolvimento do setor de biogás na Suécia, os primeiros casos de produção no país ocorreram em plantas de tratamento de esgoto em meados do século 20. A digestão anaeróbica foi utilizada como forma de reduzir o volume de lodo, mas também para

reduzir o odor e eliminar componentes infecciosos. À medida que mais plantas de tratamento de esgoto foram estabelecidas, a produção de biogás aumentou. A cidade de Estocolmo, por exemplo, tem duas estações de tratamento de esgoto, que remontam a 1934 e 1941, respectivamente e que começaram a produzir e utilizar biogás na década de 1940. O biogás era utilizado para aquecimento e, quando sua oferta era superior à demanda, o biogás excedente era queimado em flare. O biogás inicialmente era visto apenas como um subproduto da gestão de resíduos, mas sua produção começou a se diversificar em relação aos substratos e aos locais de produção. A partir da década de 1970, outros setores começaram a explorar a fonte e indústrias alimentícias e fábricas de celulose começaram a usar a digestão anaeróbica no tratamento de suas águas residuais. A legislação ambiental passou a exigir este tratamento e, ao produzir biogás, as indústrias também ganharam produção de calor e / ou eletricidade gerando considerável economia de custos.

A maior produção industrial de biogás na Suécia começou na fábrica de celulose Domsjö Fabriker em 1985, onde a digestão anaeróbica foi utilizada para diminuir a poluição da água do mar. Outra área onde a produção de biogás, ou melhor, a extração, foi iniciada por razões ambientais, foi em aterros sanitários. Para reduzir o vazamento de metano, a extração em larga escala de metano em aterros começou a ocorrer e na Suécia se iniciou na década de 1980. Em Filborna, um dos maiores aterros na Suécia, a extração de gás começou em 1985 e o gás extraído foi utilizado para aquecimento de processos internos e vendido para outros atores, que também o usavam para aquecimento. O gás de aterro foi bastante utilizado na Suécia até recentemente, porém se projeta o declínio desta fonte de biogás, por conta da legislação cada vez mais restritiva em relação à gestão de resíduos incluindo a redução do uso de aterros sanitários (OLSSON & FALLDE, 2014).

Ao contrário da Alemanha, que tem no setor agrícola os maiores produtores de biogás no país, na Suécia o setor não se desenvolveu neste segmento. Após a crise do petróleo de 1973 a 1974, que colocou a segurança energética em foco no mundo, a produção de biogás tornou-se interessante por razões de fornecimento de energia. A produção de biogás na agricultura passou a ser subsidiada, resultando em aproximadamente 15 plantas agrícolas de biogás instaladas. Um exemplo disso é Stommen, no sudoeste da Suécia, onde, em 1978, um agricultor com interesse em questões de energia construiu uma fábrica de biogás em cooperação com universidades e outras organizações. Apesar de vários problemas técnicos, eles foram capazes de produzir biogás a partir do estrume e usá-lo para o aquecimento. À medida que o fornecimento de calor excedia a demanda de calor da fazenda,

os produtores queriam usar o excedente de gás para a produção de eletricidade. Em 1986, foram realizados ensaios com motores a gás, mas, como a produção de eletricidade não se mostrou lucrativa, o biogás continuou sendo usado apenas para aquecimento. Esta planta de biogás passou a ser rentável após sete anos de produção, mas isso se deveu principalmente aos subsídios governamentais. Sem eles, a planta precisaria do dobro do tempo para se tornar lucrativa. Diante disso, o caso Stommen, como ficou conhecido no setor de biogás sueco, passou a desestimular, por conta de dificuldades técnicas e econômicas, a geração de eletricidade através de plantas de biogás no setor rural. Outro agravante à época foi a retirada dos subsídios à produção do biogás na agricultura, pouco depois de terem sido introduzidos. Após isso, não foram construídas novas plantas e, em 1996, apenas seis plantas de biogás na agricultura permaneciam operando no país (FALLDE & EKLUND, 2015). Segundo Negro e Hekkert (2008) e Raven e Geels (2010), que analisaram diferentes trajetórias de desenvolvimento do uso do biogás, a produção de biogás com base na agricultura se estabeleceu na Dinamarca e na Alemanha, mas em países como Holanda e Suécia não obteve sucesso neste segmento por conta de iniciativas malsucedidas, falta de comprometimento e interesse dos agricultores, assim como pouco suporte do governo.

Uma conclusão dos estudos realizados sobre esses países é que, para que a produção de biogás na agricultura se tornasse bem-sucedido, uma rede de atores totalmente dedicados a isso se mostra essencial e parece provável que essa rede não tenha sido estabelecida no caso sueco. No entanto, ainda há iniciativas pontuais de agricultores entusiastas que desejam melhorar o seu abastecimento de energia e de acordo com Olsson e Fallde (2014), o interesse na produção de biogás no setor agrícola voltou a surgir no país. O estilo tecnológico das plantas agrícolas difere do estilo das plantas municipais de co-digestão e o biogás é usado principalmente para aquecimento, já que a produção de eletricidade ainda não se mostra lucrativa. De acordo com Lantz (2012), são ainda necessários subsídios para que a produção de biogás em escala agrícola seja rentável, mas o estabelecimento de parcerias entre agricultores pode ajudar a aumentar a rentabilidade e há essa busca de colaboração crescente atualmente. Segundo o autor, isso representa uma mudança positiva, pois grandes colaborações não eram comuns entre os produtores rurais. Para ilustrar a mudança de cultura, é citado o exemplo bem-sucedido do Bjuv, que opera desde 2006. Nessa planta de grande porte, o estrume é co-digerido com resíduos orgânicos industriais e há uma parceria entre o proprietário da fazenda que fornece o estrume, o empreendedor da planta e uma empresa de energia (E.ON). O gás gerado é comprado pela E.ON que o

distribuí para a rede de gás natural. Esta colaboração se mostrou rentável desde o início (Swedish Environmental Protection Agency, 2012). Para Lantz (2012), o clima de colaboração melhorou desde que a produção de biogás baseada no setor agrícola foi explorada pela última vez no país.

No que se refere aos setores onde a produção do biogás mais se desenvolveu, eles se referem a unidades biodigestoras que utilizam majoritariamente resíduos da indústria de alimentos e ETEs. Na década de 90, outros atores, principalmente gestores públicos municipais, encontraram uma conexão entre o biogás e o transporte público. Em Linköping, os problemas com emissão de partículas poluentes no centro da cidade devido aos ônibus a diesel começaram a aparecer já na década de 1970. Isso levou a um longo processo de busca por opções alternativas e menos poluentes para o transporte público. A substituição de diesel por eletricidade ou etanol foi considerada, mas em discussões entre a empresa de energia e a empresa de transporte público da cidade surgiu o interesse de ambas as partes em testar o uso do biogás como combustível veicular. Como o gasoduto sueco seria ampliado à época e abasteceria Linköping, tanto o biogás como o gás natural foram considerados opções futuras para abastecimento da frota de transporte público e iniciativas em prol do uso do biometano começaram a ganhar espaço.

Problemas ambientais devido à frota de ônibus a diesel também ganharam visibilidade na cidade de Helsingborg, levando a discussões sobre o combustível a ser utilizado no transporte público local. As opções consideradas inicialmente foram gás natural, diesel e etanol. Porém, como o biogás renovável poderia complementar o gás natural, que estava disponível através da rede de gasoduto, esses combustíveis foram selecionados para terem seu desenvolvimento e uso estimulados. Fábricas de co-digestão foram construídas em Linköping e em Helsingborg e começaram a produção de biometano em 1996. Em Linköping, o principal substrato era resíduo de abate e em Helsingborg resíduos de alimentos. Em ambos os municípios, as instalações foram construídas e o gás produzido foi, conforme planejado, usado para abastecer a frota de transporte público. A partir deste momento o biogás, que era basicamente utilizado para aquecimento, ou até mesmo inflamado, sendo apenas um subproduto, passou a ser considerado um produto valioso após o seu processo de refino (OLSSON & FALLDE, 2014).

É importante destacar que nas primeiras décadas de seu desenvolvimento, apenas três tipos de produção de biogás, em plantas de tratamento de esgoto, indústrias e aterros sanitários, foram desenvolvidos na Suécia como soluções para melhorar o desempenho

ambiental e gerenciar o desperdício, sem ter como foco principal a geração de energia. Todas elas se basearam na utilização da digestão anaeróbica para melhor gerenciamento de resíduos e utilizavam tecnologias diversas (OLSSON & FALLDE, 2014).

Após essas primeiras iniciativas estimuladas pela busca de melhor gestão de resíduos em diferentes setores, a produção e o uso do biogás continuou se desenvolvendo no país e um novo uso que despontou foi, após o refino do biogás e transformação em biometano, como combustível veicular. De acordo com a IEA (2016), em 2015 havia em torno de 282 plantas de biogás no país, sendo a maior parte delas localizada em estações de tratamento de esgoto. A Figura 46 traz as plantas de biogás suecas em 2015 por tipo de substrato utilizado e a Figura 47 traz as formas que o biogás foi utilizado no país, sendo seu uso como combustível veicular o mais expressivo com uma frota de 54.439 carros, 2.331 ônibus e 821 caminhões utilizando o biometano, 1%, 18% e 1% das suas respectivas frotas nacionais (IEA, 2016).

Substrate/Plant type	Number of plants	Production * (GWh/year)
Sewage sludge	140 (+1)	697 (+18)
Biowaste**	35 (+/- 0)	854 (+137)
Agriculture**	40 (+3)	50 (+6)
Industrial	6 (+1)	121 (-2)
Landfills	60 ((+/- 0)	187 (-32)
Thermal gasification	1(+/-0)	38 (+37)
Sum	282 (+5)	1 947 (+164)

* = energy content in the produced biogas independent of the utilisation

** = redefinition of 6 agriculture plants as biowaste plants

Figura 46: Inventário de plantas de biogás suecas
Fonte: IEA, 2016

Utilisation	GWh	%
Electricity	62 (+4)	3%
Heat	387 (-47)	20% (-4)
Upgraded, automotive fuel	1,219 (+202)	63% (+6)
Industrial use*	49 (-26)	3% (-1)
Other use**	19	1%
Flare	198 (+7)	10% (-1)

* = new utilisation category 2014, earlier defined as heat or other

** = new utilisation category 2015, to avoid misfiling of non-categorized use

Figura 47: Utilização de biogás na Suécia em 2015
Fonte: IEA, 2016

Atualmente, a Suécia é pioneira em produção e utilização do biometano como combustível veicular. O país possui 62 estações em operação de refino de biogás para transformar em biometano, que utilizam diferentes tecnologias. A produção de biometano no país em 2015 foi de 1.219 GWh, sendo 470 GWh injetados na rede. A Figura 48 mostra a evolução no país, entre 2005 e 2015, da utilização do biogás para diferentes fins (IEA, 2016). Um substrato promissor na Suécia, que vem ganhando cada vez mais representatividade, se refere aos resíduos de alimentos. Por conta de ter a coleta seletiva acontecendo na maioria de suas cidades, a destinação deste tipo de resíduo para biodigestores se torna mais fácil de ser realizada. Em 2015, a coleta de resíduos orgânicos já era realizada em 212 dentre 290 municípios do país. De acordo com a Figura 49 Figura 49, houve um crescimento expressivo na utilização deste substrato nos últimos anos e a tendência é que ele continue a ganhar relevância na produção do biogás. Esse substrato é chamado na Suécia de biowaste (IEA, 2016). Por conta de não ter a coleta seletiva como uma política institucionalizada no Brasil, o país ainda está longe de poder utilizar esse tipo de substrato de forma mais eficiente por meio de biodigestores. A maioria dos resíduos orgânicos no Brasil é destinada, misturada com outros tipos de resíduos, para aterros sanitários e também para lixões (ABRELPE, 2017).

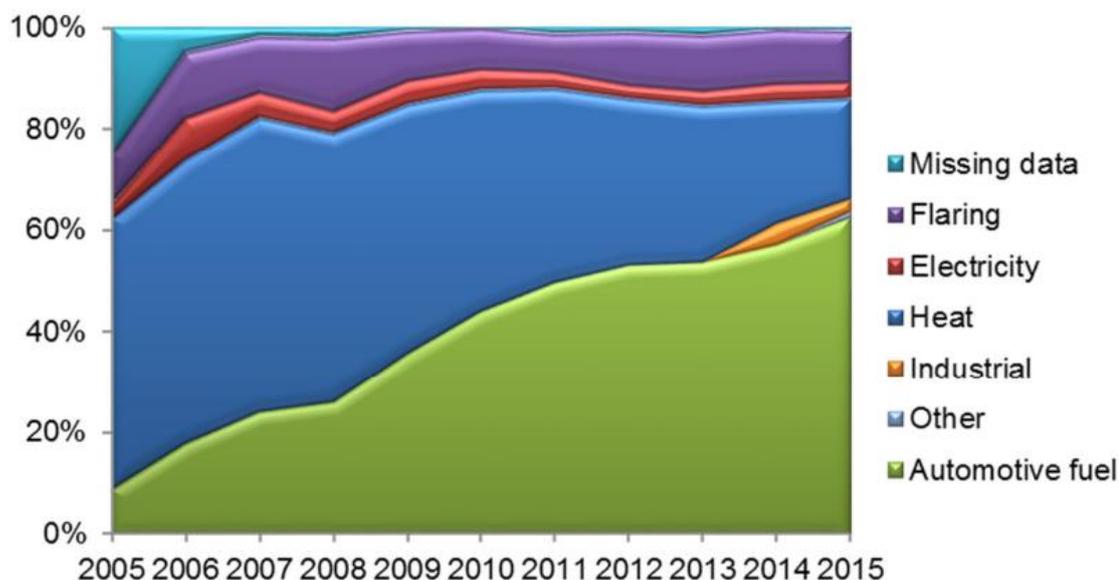


Figura 48: Utilização do biogás entre 2005 e 2015 na Suécia
Fonte: IEA, 2016

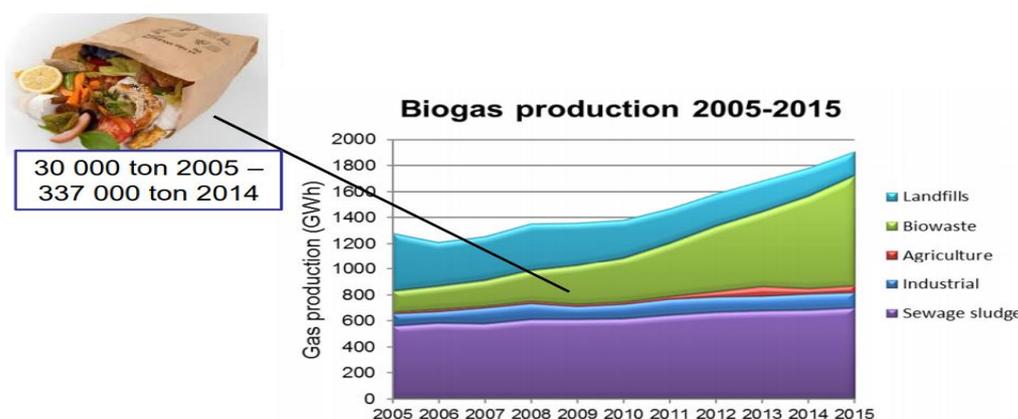


Figura 49: Produção de biogás na Suécia entre 2005 e 2015
Fonte: IEA, 2016

Assim como a Alemanha, que possui metas e instrumentos específicos para ampliação das fontes renováveis de energia, na Suécia o desenvolvimento do biogás se deu graças a instrumentos colocados em prática pelo setor público, entre eles, um sistema de suporte financeiro, que enfocou principalmente no estímulo ao desenvolvimento do biometano como combustível veicular. Este sistema utilizou instrumentos como:

- não aplicação da taxa de gás carbônico e da taxa de energia ao biogás até o final de 2020;

- redução de 40% do imposto de renda para o uso de gás veicular de biometano até o final de 2019 (limite de 10 kSEK);
- subsídios para investimento para comercialização de novas tecnologias e novas soluções para o biogás entre 2010-2016;
- subsídio para investimento climático para municípios: orçamento total 200 milhões de euros até o final de 2018;
- estabelecimento de um mercado comum de certificados de eletricidade entre a Noruega e a Suécia. O produtor recebe um certificado para cada MWh produzido a partir de recursos renováveis e os consumidores de eletricidade devem comprar certificados em relação ao seu uso total.

O governo sueco estabeleceu também estratégias nacionais, com objetivos, em linha com as diretrizes da Comissão Europeia, a serem alcançados até 2020. O governo, como informado antes no texto, já alcançou, por exemplo, o objetivo de obter 50% da utilização de energia de fontes renováveis. Além disso, há também o objetivo de tornar o setor de transporte sueco livre de fontes fósseis de energia até 2050, mas ainda não há um detalhamento de quais instrumentos serão empregados para isso ocorrer (IEA, 2016). De acordo com Lonnqvist (2017), a nova política de mudanças climáticas do governo Sueco estabelecida em março de 2017, instituiu metas mais ambiciosas, tais como zerar a emissão de GEE até 2045 e reduzir as emissões do setor de transporte em 70% até 2030 comparativamente a 2010 e o governo explicitamente reconhece o papel dos biocombustíveis para atingir esses objetivos, ainda mais pelo fato de que a maior parte da frota de veículos atual do país estará em uso em 2030.

Especificamente em relação ao desenvolvimento futuro do biogás, a Agência Internacional de Energia (IEA, 2016) afirma que há alguns obstáculos que precisam ser solucionados, tais como uma definição da visão de longo prazo do governo sueco e da União Europeia em relação a fonte (em um horizonte de 5 anos), a possibilidade de crescimento da competição entre substratos, sugestões de novas regulações bastante restritivas para o uso do digestato e incertezas em relação a possibilidade de importação e exportação do biogás entre países e que poderia ampliar o mercado para a fonte.

Além disso, segundo Lonnqvist (2017), os instrumentos políticos suecos atuais são vistos como instáveis, não assegurando assim a previsibilidade para os agentes tomarem a decisão de investimento em fontes como o biogás. O autor afirma que o uso do biogás no

setor de transporte tem crescido ano após ano desde a década de 90 como resultado do suporte político que recebeu. No entanto, desde de 2014, o uso do biometano como gás veicular se estagnou e isso se deve ao fato das políticas públicas terem se tornado imprevisíveis, gerando insegurança entre produtores, distribuidores e usuários.

Especificamente em relação à transição para o uso do biogás na Suécia, no caso do seu uso no setor de transporte, o autor afirma que,

the development of biogas in the Swedish transport sector is a policy-driven transition. Biogas in the Swedish transport sector has developed from the niche level and has (started to) become established at the socio technical regime level. However, this systemic transition may be slowed by regime level conditions – mainly the quickly changing policy instruments, but also the development for electric cars. In addition, the landscape level conditions, foremost the recent years' low oil prices, are not favorable for a transition (LONNQVIST, 2017, p.73, 74).

Sobre o caso de Linköping, cidade sueca referência no mundo pelo uso do biometano como combustível veicular, Falde e Eklund (2015) utilizam o referencial teórico da PMN para analisar a transição para o uso do biogás na cidade e eles avaliam o caso em três períodos. Durante o primeiro período, entre 1976 e 1994, um nicho de biogás foi desenvolvido entre atores dedicados em pequenas redes dos setores de energia e transporte público local e o biogás estava inteiramente ligado à busca de um transporte público "verde". Em um segundo período, entre os anos de 1994 e 2001, a empresa produtora de biogás atuou como construtora de sistemas e iniciou uma produção de biogás em escala maior através de uma estreita cooperação em redes com outros atores. Como resultado, o biogás atingiu uma fase de maturidade tecnológica e também obteve apoio de programas nacionais de investimento. Finalmente, a partir de 2001, a expansão do biogás tornou-se mais clara à medida que a sua produção se espalhou para uma arena regional e começou a alcançar novos clientes, como carros de passeio. Neste período surgem também novas empresas privadas que estimularam o contínuo desenvolvimento de pesquisa sobre a fonte gerando importantes resultados para a transição. Os autores também afirmam que o desenvolvimento do biogás na Suécia foi fortemente influenciado por apoio e pressão governamental, mas foi também impulsionado por atores locais e construtores dos sistemas de produção, que foram resistentes e capazes de mobilizar os recursos necessários.

De qualquer forma, por já ter conseguido estabelecer um mercado para o biometano, ser reconhecido como o país que é referência no uso deste combustível, e ter atores privados e públicos engajados em prol do contínuo desenvolvimento do setor de produção do biometano, espera-se que o atual cenário de incertezas não prejudique a continuação da

transição para o uso do biogás no país (OLSSOM, 2012), que parece ter se consolidado como combustível veicular.

Numa análise recente da transição para o biogás na Suécia, também utilizando a abordagem da PMN, Lonnqvist (2017), especificamente no seu uso como combustível veicular, afirmou que o desenvolvimento do uso da fonte no setor de transporte sueco é uma transição capitaneada por políticas públicas (*policy driven transition*) e ainda ressalta que,

biogas is a bottom-up transition emerging from the niche level following the stepwise reconfiguration pattern; it is a waste management solution that subsequently is incorporated into an incumbent transport system. This type of transition does not require a strong landscape pressure, as opposed to a substitution process that is a top-down transition, which replaces an incumbent system (LONNQVIST, 2017, p.73).

Segundo o autor, o sistema do biogás na Suécia se desenvolveu em nichos e apenas recentemente começou a se estabelecer no nível do regime sociotécnico (LONNQVIST, 2017, p.53) contando sempre com suporte do governo sueco, direta ou indiretamente. O governo sueco implementou programas de investimento para suportar combustíveis renováveis para o setor de transporte. Não apenas sua produção, mas também sua distribuição e seu uso. Um exemplo foi um programa de financiamento da questão climática chamado Klimp, que ofertou 400 milhões de coroas suecas para construção de estruturas de produção de biometano e 160 milhões de coroas suecas para a infraestrutura de gás e veículos movidos a biometano entre 2003 e 2008. Além disso, políticas locais também foram relevantes na transição para o uso da fonte, tais como a isenção de taxas de congestionamento e estacionamento gratuito para veículos movidos a biometano. No entanto, atualmente as políticas deixaram de ser aplicadas e o governo sueco está discutindo estratégias para promoção da transição para um setor de transporte independente de combustíveis fósseis, e estuda estabelecer um percentual mandatório de biocombustíveis a ser utilizado e uma precificação *premium* pelo fato do biometano ser um combustível que promove a mitigação das emissões de GEE e outros impactos ambientais positivos. (LONNQVIST, 2017, p. 23 e 24).

Lonnqvist (2017) também afirma que as políticas de gestão de resíduos suecas foram extremamente relevantes para o desenvolvimento do uso do biogás no país. As metas ambientais nacionais estabeleceram que 50% dos resíduos orgânicos produzidos pelo país deveriam ser tratados biologicamente até 2018 e que a maior parte disso deveria ser utilizada para geração de energia e recuperação de nutrientes, fazendo com que a maior parte dos

resíduos orgânicos do país fossem encaminhados para processos de biodigestão e não de compostagem. Além disso, o banimento da destinação de resíduos orgânicos para aterros sanitários a partir de 2002, assim como a cobrança de uma taxa para destinação de resíduos para aterros, foram elementos muito importantes para a transição para o uso de biogás na Suécia segundo o autor. De acordo com Lonnqvist (2017, p. 28) *“the intention with these policies is to increase recycling so that all waste fractions are taken care of as far as possible and that only waste that cannot be dealt with in other ways is deposited at landfills”*. No caso brasileiro o país ainda está muito distante dessa realidade, como também apresentado neste trabalho, tendo os aterros sanitários como destino de quase todos os resíduos produzidos e ainda milhares de lixões espalhados pelo país, mesmo tendo uma política que estabelece o contrário.

No entanto, segundo Lonnqvist (2017, p.74), apesar do biogás no setor de transporte sueco ter se desenvolvido em nichos e ter começado a se estabelecer no nível do regime sociotécnico, essa transição sistêmica, que ele entitula como *“policy-driven transition”*, pode ter sua velocidade reduzida por conta de condições do regime incumbente, principalmente por conta de mudanças recentes nas políticas públicas que beneficiavam a fonte, que segundo o autor tornaram-se imprevisíveis. Além disso, a perspectiva de desenvolvimento do uso dos carros elétricos na Suécia, pode também impactar negativamente a consolidação da transição para o uso do biogás no país. O autor também cita que condições na paisagem sociotécnica, como a recente queda do preço do petróleo, também deverá desacelerar a transição para o uso do biogás no país, deixando incerta a perspectiva de desenvolvimento da fonte, enquanto novas diretrizes do governo não forem definidas e divulgadas.

Diante do acima apresentado, tanto no que se refere ao desenvolvimento na Alemanha quanto na Suécia, as duas experiências permitem afirmar como a participação do Estado como direcionador ou facilitador, por meio de diferentes políticas e instrumentos, foi relevante. A fonte continua se desenvolvendo nos dois países, porém, por conta de mudanças políticas recentes, apesar da manutenção do compromisso de combate às mudanças climáticas, o futuro desenvolvimento ainda está incerto e a transição ainda em curso, mais avançada do que em outros países, porém ainda não definitivamente legitimada no regime incumbente.

5. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA SOCIOTÉCNICO ENERGÉTICO BRASILEIRO EM RELAÇÃO AO BIOGÁS

A partir da contextualização dos setores que se relacionam com o biogás e um panorama sobre seu processo produtivo e trajetória de difusão de seu uso no mundo, este capítulo objetiva apresentar a atual e potencial utilização da fonte no Brasil como ativo energético, assim como uma análise dos principais elementos do sistema sociotécnico energético relacionado ao biogás.

A análise apresentada neste capítulo e no capítulo seguinte é baseada em extensa pesquisa documental utilizando como fontes políticas públicas, legislações, regulações e documentos técnicos sobre o tema; pesquisa de campo em duas plantas de biogás no Brasil; entrevistas e aplicação de questionário com atores que se relacionam com a fonte; participação no IV Fórum do Biogás, evento mais relevante no país em relação ao tema, ocorrido em São Paulo nos dias 17 e 18 de outubro de 2017; e em um seminário realizado no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no dia 27 de novembro de 2017 sobre o potencial do biogás de resíduos agroindustriais.

Em relação aos entrevistados e respondentes dos questionários, que permitiram refinamento das análises realizadas a partir de dados secundários, suas contribuições serão utilizadas em todos os tópicos ao longo do capítulo. Para ilustrar a legitimidade das entrevistas e questionários, a Tabela 11 apresenta as instituições contempladas. Elas são relevantes no regime energético brasileiro, se relacionam de alguma forma com o desenvolvimento do biogás no Brasil e representam agentes da esfera pública, privada e de instituições de pesquisa.

Tabela 11: Instituições representadas pelos entrevistados

Instituição	Atuação
ANP	Agência Reguladora Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
CHP	Produção de equipamentos para geração de energia com fontes alternativas
CIBIOGAS	Instituição que desenvolve e/ou apoia projetos relacionados às energias renováveis
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
ECOCITRUS	Cooperativa de citricultores que produz biogás e biometano
ECOMETANO	Produção de biometano a partir da captação de gás de aterro
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GIZ	Instituição alemã de cooperação internacional que busca a transferência de conhecimento para o desenvolvimento sustentável
MMA	Ministério do Meio Ambiente
JMALUCELLI	Empresa que atua em diversos segmentos entre eles operando plantas de biogás e biometano

Fonte: Elaboração própria, 2017

5.1 Histórico e atual aproveitamento energético do biogás no Brasil

De acordo com Bley (2015), em vários momentos da história recente brasileira ocorreram iniciativas para produzir e usar o biogás e a fonte apresenta um longo histórico de desenvolvimento e difusão iniciado a partir da década de 1970 (De Oliveira e Negro, 2017). Nesta década, começou-se a investir em unidades biodigestoras na área rural do país para produção de calor e eletricidade para consumo próprio. Soares e Silva (2006) afirmam que o interesse pelos biodigestores começou a partir da crise do petróleo da década de 70. Um dos primeiros biodigestores foi construído em novembro de 1979, na Granja do Torto em Brasília, então sede do governo. O projeto foi importante, pois demonstrou a viabilidade de se instalar uma unidade produtora de biogás com a utilização de materiais simples e de baixo custo, incentivando a disseminação do uso da fonte. Na época foram instalados cerca de sete mil biodigestores de pequena escala nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. No entanto, problemas operacionais, relacionados especialmente aos materiais utilizados, e à falta de informações e treinamento, tornaram os sistemas de baixa eficiência, fazendo com que muitos produtores rurais abandonassem e passassem a não acreditar na tecnologia. De acordo com Bley (2015, p.102), nesta época “foram instalados vários biodigestores no modelo indiano e chinês, em estruturas rígidas de concreto, com campânulas metálicas, que foram abandonados e viraram entulho”.

A principal causa relacionada ao insucesso dessa primeira onda de utilização do biogás na década de 70 se refere a problemas relacionados ao desempenho dos biodigestores. Além disso, após as crises do petróleo terem promovido a elevação do petróleo e derivados, os seus preços passaram a cair e com isso não ficou mais atrativo a utilização do biogás para geração térmica ou elétrica.

Na década de 80, o metano foi utilizado em alguns veículos da frota de ônibus da cidade de São Paulo. Por conta da busca por combustíveis menos poluentes para abastecer suas frotas, o governo procurou estimular o uso do gás natural e do metano. Além disso, iniciativas foram realizadas em prol do uso do metano captado em aterros sanitários. A Companhia de Gás de São Paulo (COMGÁS), por exemplo, distribuía à época o biogás de um aterro sanitário localizado no Km 14,5 da Rodovia Raposo Tavares para um conjunto residencial próximo ao local.

No Rio de Janeiro, houve aproveitamento do gás do Aterro do Caju, a partir da parceria entre a Companhia Estadual de Gás (CEG) e a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), no qual o biogás coletado, depois de purificado, era adicionado ao

gás craqueado de nafta que abastecia a cidade. A quantidade adicionada à rede era de 1.000 m³ /dia, com uma economia de nafta de aproximadamente 8.000L/dia. Em 1985, iniciou-se o aproveitamento do gás para o abastecimento da frota da COMLURB, com cerca de 150 veículos movidos a gás, além do abastecimento de taxis que utilizavam esse combustível. O projeto teve duração de 10 anos (COMLURB apud ENSINAS, 2003, p. 24).

No entanto, como afirmou um dos entrevistados para este trabalho, algumas experiências realizadas na década de 80 e 90 foram consideradas mal-sucedidas, por conta novamente do desempenho de biodigestores e problemas também relacionados ao uso do metano como combustível veicular, que ainda não era devidamente purificado e gerava dano aos motores. Diante disso, as experiências negativas com o uso do biogás neste período causaram um grande dano à reputação da fonte no país.

No início do século XXI, a partir da crescente preocupação com as mudanças climáticas, projetos de biogás ganharam destaque pela possibilidade de obtenção de créditos de carbono. Segundo Bley (2015, p. 102), nesta época “inúmeras instituições surgiram no mercado brasileiro “comprando” créditos antecipados e os trocando por biodigestores” e muitos aterros passaram a garantir acesso a créditos apenas através da queima do biogás em *flares*⁵⁸.

Por conta da perspectiva de obter valor econômico com a redução de emissões de GEE e com o advento do mercado de créditos de carbono⁵⁹, o biogás voltou a ganhar espaço. Em 2014, projetos de biogás (biodigestores e captação direta de metano em aterros) representavam o maior número de projetos⁶⁰ de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

⁵⁸ Independente do uso final do biogás produzido no aterro, deve-se projetar um sistema padrão de coleta, tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e flare com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano (<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>).

⁵⁹ Com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, em 2005, lançou-se as bases para um mercado global de carbono, constituído por diferentes mercados regionais ou nacionais, assim como por mecanismos de projetos redutores de emissões do MDL ou Implementação Conjunta (IC). Alguns desses mercados foram criados com o objetivo de atender a compromissos de redução de emissões negociados no Protocolo de Quioto. A participação brasileira no mercado de carbono se limitou ao segmento de oferta de projetos via MDL, ocupando o terceiro lugar em número de projetos (13%), sendo que China e Índia responderam por 31% e 21% do total em 2008. (http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=7411)

⁶⁰ <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/09/mcti-publica-relatorios-de-projetos-de-mecanismo-de-desenvolvimento-limpo>
<https://credcarb.wordpress.com/2016/03/17/projetos-de-mdl-no-brasil/>

(MDL)⁶¹, segundo informações do relatório publicado pela secretaria executiva da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima em 2014 (Tabela 12).

Tabela 12: Status dos projetos brasileiros no Conselho Executivo do MDL ao fim do 1º período de compromisso do Protocolo de Quioto

Tipos de Projeto	Número de atividades de projetos de MDL	% do número de atividade de projetos de MDL	Estimativa total de redução de GEE (tCO ₂ eq) ⁷	% da Estimativa total de redução de GEE
Hidroelétrica	76	25%	131.615.151	37,4%
Biogás	62	20%	24.305.993	6,9%
Usina Eólica	48	16%	36.615.163	10,4%
Gás de Aterro	41	13%	80.712.974	23%
Biomassa Energética	40	13%	16.068.004	4,6%
Substituição de Combustível Fóssil	9	3%	2.664.006	0,8%
Metano Evitado	7	2%	6.174.229	1,8%
Decomposição de N ₂ O	5	2%	44.660.882	12,7%
Utilização e Recuperação de Calor	4	1%	2.986.000	0,8%
Reflorestamento e Florestamento	3	1%	2.408.842	0,7%
Uso de Materiais	1	< 1%	119.959	0,03%
Energia Solar Fotovoltaica	1	<1%	6.594	0,01%
Eficiência Energética	1	< 1%	382.214	0,1%
Substituição SF ₆	1	< 1%	1.923.005	0,5%
Redução e Substituição de PFC	1	< 1%	802.860	0,2%
Total	300	100%	351.445.876	100%

Fonte: MCTI, 2014

Nesta época foi retomada a mobilização de recursos para a construção de biodigestores, em especial em propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte, visando à coleta e à combustão do biogás. No entanto, segundo Bley (2015, p. 75), com o objetivo de atender às condições financeiras estabelecidas pelo MDL, muitos projetos foram concebidos apenas para queimar o biogás, sem aproveitamento energético, o que reduziu o alcance dos projetos e impôs um desperdício injustificável para a atividade. De qualquer forma, estima-se que entre 2005 e 2013 foram instalados no Brasil mais de 1.000 pequenos biodigestores considerando os incentivos financeiros dos créditos de carbono e

⁶¹ O MDL foi estabelecido a fim de conceder créditos para projetos que reduzam ou evitem emissões nos países em desenvolvimento. Trata-se de um mecanismo de grande importância, pois funciona como um canal através do qual os governos e as corporações privadas transferem tecnologias limpas e promovem o desenvolvimento sustentável. Os créditos são obtidos na forma de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs). O MDL envolve a compra, pelos países desenvolvidos, de certificados de redução de emissões de carbono (créditos de carbono) dos países em desenvolvimento (que não têm metas de redução de emissões) (FELIPETTO, 2007).

incentivos especiais do governo para a construção e aquisição de biodigestores dentro de iniciativas como o Programa ABC e o Pronaf ECO para agricultura familiar.

Conforme reportagem de 2007 havia otimismo à época sobre a geração de eletricidade a partir do biogás e não se falava sobre a purificação do mesmo para obtenção do biocombustível substituto do gás natural:

Um estudo feito pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Esalq/USP em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), mostra que, em um cenário conservador, o Brasil, até 2015, pode gerar 356,2 MW de energia elétrica. Em uma perspectiva mais otimista, esse número pode chegar a 440,7 MW. Municípios com população acima de um milhão de habitantes - com grande produção de resíduos - têm um potencial de geração médio de 19,5 MW (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2007).

No entanto, com a baixa no preço do carbono após a crise econômica, que em 2012 caiu cerca de 70% devido à grande oferta de créditos e à queda na demanda decorrente da desaceleração da economia, o desenvolvimento de projetos de biogás no Brasil apresentou novamente estagnação.

Em relatório de 2008, a EPE afirmava que pelo fato de locais de disposição de RSU serem também fonte de emissão de GEE, ampliou-se o interesse em conferir tratamento adequado à gestão de RSU à época. Diante disso, a utilização de tecnologias para evitar a decomposição anaeróbica dos resíduos, recuperar e queimar esses gases, assim como realizar seu aproveitamento energético “passou a ser incentivada com recursos a fundo perdido, conhecidos como créditos de carbono” (EPE, 2008, p13). O relatório ilustra isso com dois casos de utilização de gás de aterro, afirmando que,

no município de São Paulo, a geração de energia elétrica nos dois maiores aterros da cidade, Bandeirantes e São João, já é uma realidade. Estão em operação duas termelétricas, com 20 e 24,8 MW de potência instalada, respectivamente. Tomando como referência um fator de capacidade de 80% e tendo em conta o atual consumo médio do consumidor residencial brasileiro, em torno de 150 kWh/mês, a geração de energia nesses dois aterros é suficiente para atender ao consumo de cerca de 170 mil residências, ou o equivalente a uma população entre 500 e 600 mil habitantes (EPE, 2008, p.7).

Um exemplo de experiência com a fonte neste período se refere ao caso da Sadia. A empresa tomou recursos com o BNDES⁶² em 2005 na ordem de milhares de reais para financiar agricultores rurais de sua cadeia de fornecedores a construir pequenos biodigestores em suas propriedades com o objetivo de promover a melhor gestão de resíduos

⁶² https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20051020_not269_05

animais e obter créditos de carbono. Segundo o BNDES informou em seu sítio eletrônico à época e uma notícia veiculada em um jornal alguns anos depois,

a diretoria do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aprovou financiamento ao grupo Sadia, no valor total de R\$ 974 milhões.... A operação, estruturada no âmbito do Programa de Financiamento a Empreendimentos (Finem), está dividida em três créditos distintos - dois para investimentos produtivos e o terceiro para um projeto social e ambiental do Instituto de Sustentabilidade Sadia. Já o empréstimo ao Instituto Sadia de Sustentabilidade será utilizado para instalar biodigestores nas propriedades de 3,2 mil criadores de suínos integrados ao sistema de produção da empresa. As vantagens deste projeto ambiental são múltiplas, porque os biodigestores eliminam a contaminação do solo e dos mananciais hídricos por dejetos dos suínos; geram energia própria para as propriedades, valorizando-as; aproveitam biofertilizantes para uso na agricultura; e abrem a possibilidade de geração e comercialização de créditos de carbono, devido à redução de 75% dos gases emitidos na atmosfera (BNDES, 2005).

A gigante Sadia espera começar a produzir energia nas propriedades dos seus produtores integrados a partir de 2009. A empresa criou em 2005 um programa para reduzir o impacto ambiental da criação de porcos de 1.104 fornecedores em quatro Estados. Foram instalados biodigestores nas granjas, com o objetivo futuro de produzir energia elétrica com o biogás e negociar créditos de carbono no mercado internacional. ...A empresa também tomou um empréstimo de R\$ 60,5 milhões no BNDES para dar continuidade ao programa, que vai incluir também produtores rurais da região de Lucas do Rio Verde (MT), onde inaugura em breve uma nova planta (ECODEBATE, 2008)⁶³.

No entanto, a iniciativa não deu certo pelo baixo desempenho dos biodigestores, que acabaram sendo abandonados por muitos agricultores. Uma parcela dos pequenos produtores rurais acabou não honrando seus empréstimos e a Sadia arcou com o custo do financiamento sem conseguir disseminar o uso da tecnologia e, de acordo com um entrevistado, ainda ferindo a imagem da fonte, principalmente na região Sul do país.

Um ponto relevante sobre as tentativas de promover a difusão do biogás no país é o fato de que contextos externos ao setor sempre terem desempenhado papel relevante (DE OLIVEIRA, 2016). Segundo o autor,

eventos como os choques e contrachocos do petróleo nas décadas de 1970 e 1980, as crises econômicas da década de 1980 e 1990, o contexto internacional das questões de mudanças climáticas com mercado de certificados de emissões evitadas e a atual crise brasileira são fatores que influenciam expectativas, percepções de risco e investimentos no setor. Aliadas a essa conjuntura externa, dificuldades internas, de materiais e descrédito das tecnologias de biogás marcaram a evolução do setor no país (DE OLIVEIRA, 2016, p.1).

⁶³ <https://www.ecodebate.com.br/2008/06/12/biogas-e-alternativa-para-gerar-energia-cresce-o-uso-da-tecnologia-em-granjas-e-cooperativas/>

Após estas iniciativas em prol da difusão da fonte no país, o setor passou por um período de maior estruturação institucional e tem voltado a ganhar visibilidade e espaço na agenda de instituições relevantes do regime e no radar do setor privado, com alguns projetos de maior escala que estão em construção ou começando a operar, como é o caso da usina termelétrica Biogás Bonfim, vencedora de um leilão de energia elétrica na modalidade A-5 em 2016, e da CSBioenergia, ambos projetos de geração de eletricidade a partir do biogás.

Em relação à CSBioenergia, a usina de 2,8MW inicia a geração de biogás em 2017 no município de São José dos Pinhais no Paraná através da biodigestão de lodo residual de tratamento de esgoto e resíduos orgânicos alimentícios. Segundo informações disponibilizadas à imprensa, foram investidos R\$ 62 milhões de reais para gerar biogás e a partir dele eletricidade e calor. Segundo Sérgio Vidoto, representante da empresa, “a planta possui tecnologia no estado da arte em matéria de tratamento de resíduos de esgoto para geração de biogás e tem se mostrado 30% mais eficiente do que o planejado” (CANAL ENERGIA, 2017).

Uma questão crítica para o desenvolvimento da planta foi o fato do resíduo não ser separado (entre orgânico e não orgânico). A planta utiliza como substrato não apenas o lodo da ETE, mas também resíduos alimentícios. A empresa teve que importar uma tecnologia que realiza a separação possibilitando a extração da carga orgânica. Segundo Vidoto afirmou no IV Fórum do Biogás, realizado nos dias 17 e 18 de outubro em São Paulo, o Brasil ganharia muito em termos de produtividade de biogás se avançasse neste aspecto implementando a coleta seletiva de forma efetiva e universal, conforme já preconiza a PNRS.

Sobre o retorno financeiro da planta da CSBioenergia, que é uma sociedade entre uma empresa privada (Catalini) e uma empresa pública (Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar), ela se dará pela venda da eletricidade gerada, venda do biofertilizante e das tarifas recebidas pelo destino do lodo e do resíduo orgânico.

Em relação ao projeto vencedor do leilão de energia em 2016, a UTE Biogás Bonfim comercializou a potência máxima disponível de 19 MW ao preço de R\$ 251/MWh, valor inferior do que a energia comercializada por uma usina a gás natural no mesmo leilão, cujo preço foi o mais alto daquele certame (R\$ 258/MWh). A usina tem como sócia a multinacional Raízen Energia e o planejado é que ela entre em operação em 2020. A térmica irá gerar energia elétrica a partir de resíduos do setor sucroalcooleiro, seu custo está estimado em torno de R\$ 129,9 milhões e a expectativa é que gere uma receita anual fixa de

R\$ 24,83 milhões para Raízen a partir da sua entrada em operação (CANAL ENERGIA, 2017).

Os dois exemplos apresentados acima registram a diferença na escala dos projetos atuais comparado ao desenvolvimento do biogás nas décadas anteriores, que foram focados majoritariamente na instalação de pequenos biodigestores em unidades rurais e na captação do biogás em aterros sanitários. Atualmente, como será apresentado a seguir, a maioria dos projetos ainda se concentra na esfera rural, porém outros substratos começam a ser explorados, assim como o uso de biodigestores de maior escala.

Com relação a informações consolidadas sobre a geração de energia a partir do biogás no Brasil, os órgãos públicos responsáveis pelas publicações de dados sobre energia elétrica e combustível (MME, EPE, ANEEL e ANP), apresentam poucas e pontuais informações. No entanto, há alguns dados apresentados por diferentes fontes de informações que serão abordados a seguir.

A ANEEL (2016) legitima o biogás como biomassa para geração de energia elétrica, conforme pode ser demonstrado na Tabela 13 que apresenta a classificação das biomassas no Brasil. Além disso, a EPE afirma, que o termo biomassa aqui empregado abrange várias matérias primas, a saber: bagaço, palha e ponta da cana de açúcar, lenha, carvão vegetal, resíduos urbanos, biogás, lixívia, óleos vegetais, resíduos vegetais (casca de arroz, por exemplo) e outras culturas plantadas (capim elefante, por exemplo) (EPE, 2016b, p.209).

Tabela 13: Classificação das fontes de biomassa no Aneel-BIG

Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar
		Biogás-AGR
		Capim Elefante
		Casca de Arroz
	Floresta	Lixívia
		Lenha
		Gás de Alto Forno - Biomassa
		Resíduos Florestais
		Carvão Vegetal
		Biogás - Floresta
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU
	Resíduos animais	Biogás - RA
	Biocombustíveis líquidos	Etanol
		Óleos vegetais

Fonte: EPE a partir de dados da ANEEL, 2016b

Segundo dados da ANEEL, o biogás representa menos de 0,1% da potência instalada brasileira de geração de energia elétrica, que hoje soma mais de 150 GW, totalizando 116 MW (BIG ANEEL, 2017). A Figura 50 apresenta a evolução da capacidade instalada de geração elétrica a partir do biogás no país até o momento. É importante notar que mais de 95% da energia elétrica proveniente da utilização do biogás vem de empreendimentos que utilizam o gás de aterro, onde não são utilizados biodigestores e há apenas captação do metano (EPE, 2017).

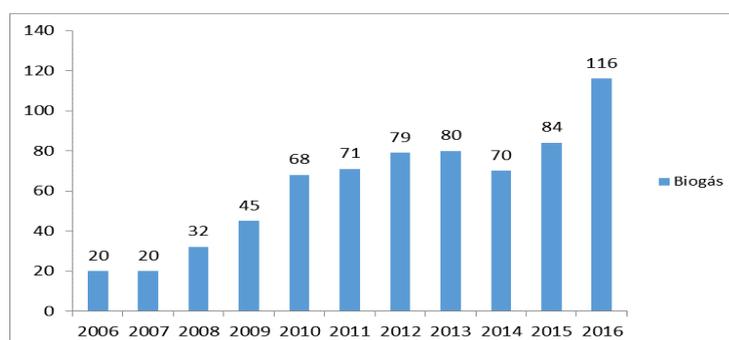


Figura 50: Capacidade instalada de geração elétrica a partir do biogás no Brasil (MW)
Fonte: Elaborado a partir do BEN (2016) e BIG ANEEL (2017).

Outra instituição bastante atuante no Brasil para difusão de fontes renováveis de energia é a Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ)⁶⁴. Em seu boletim sobre o biogás, específico sobre geração de energia elétrica a partir do uso da fonte no Brasil, apresenta dados de 2014 e 2016 referentes ao número e potência instalada de plantas conforme a Tabela 14 sintetiza. Em 2016, segundo dados da GIZ (2017), havia 120,8 MW em potência instalada a partir do uso do biogás no país.

Tabela 14: Plantas de biogás em 2014 e 2016 no Brasil

	Plantas de biogás em operação no Brasil			
	Número de turbinas		Potência instalada (MW)	
	2014	2016	2014	2016
Resíduos/gás de aterro	7	12	77	113
Gás de esgoto	3	3	4	4
Agrosilvopastoril	12	14	2,9	3,8
Total	22	29	83,9	120,8

Fonte: Tradução livre realizada pelo autor a partir de GIZ (2017)

⁶⁴ GIZ - *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (Agência Alemã de Cooperação Internacional) é uma empresa privada internacional fundada em 1975 por Erhard Eppler e tem hoje como principal acionista o [governo federal alemão](#). A empresa é especializada em projetos de cooperação técnica em áreas específicas e de desenvolvimento sustentável em escala mundial. www.giz.de

Outra fonte que aponta a utilização do biogás no Brasil é a Agência Internacional de Energia (AIE). De acordo com relatório da instituição, em 2014 operavam no Brasil 24 plantas produtoras de biogás gerando 713,2 GWh/ano de energia elétrica (AIE, 2014).

No que se refere à geração termoelétrica a biogás, a EPE (2016b), usando dados da ANEEL, afirma que, no início de 2016 havia 24 usinas registradas utilizando a fonte (entre resíduos agrícolas, agropecuários e resíduos sólidos urbanos) no Brasil. Além disso, havia 13 aterros sanitários realizando o aproveitamento energético do biogás com conjuntos motogeradores, como o Aterro Sanitário Bandeirantes localizado em São Paulo, já mencionado neste capítulo (EPE, 2016b, p. 186).

Em outubro de 2017, a EPE publicou em sua ferramenta Webmap EPE⁶⁵, uma base de plantas de biogás e respectivas informações sobre elas. A base de dados que alimenta o instrumento se refere a 2015 e, segundo a Webmap, há no Brasil 125 plantas que utilizam a fonte para geração de energia que se dividem em plantas de grande porte (20), médio porte (51) e pequeno porte (54). A maioria das plantas se concentra nos estados do Paraná (48), Minas Gerais (21) e São Paulo (18).

O Paraná se destaca em relação ao número de plantas de biogás, conforme apresenta a Figura 51 e nota-se que a localização das mesmas se concentra no extremo oeste do estado, próximo a Foz do Iguaçu. Um dos fatores que explica essa concentração na região pode ser atribuído ao fato do Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás (CIBiogás)⁶⁶ ser bastante atuante em prol da difusão do biogás e estar localizado na região, influenciando e apoiando o desenvolvimento da utilização do recurso energético.

⁶⁵ O Webmap EPE é um sistema de informações geográficas dos estudos do planejamento energético brasileiro. Essa ferramenta permite aos usuários fazerem consultas, medições, visualizações e *zooms* a partir de uma base de dados georreferenciados, que são utilizados nos estudos do planejamento do setor energético nacional. Com ela é possível localizar as usinas hidrelétricas, eólicas, solares; as linhas de transmissão; os campos de petróleo, de gás; termelétricas, subestações de energia e unidades de biocombustíveis espalhadas pelo território nacional. Além disso, o usuário pode relacionar essas informações com temas transversais como o Meio Ambiente, especialmente em relação a áreas protegidas, constituídas por unidades de conservação, terras indígenas ou quilombolas. (<http://www.epe.gov.br/Paginas/WEBMAP.aspx>)

⁶⁶ O CIBiogás (Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás) é uma instituição científica, tecnológica e de inovação, em forma de pessoa jurídica de direito privado, constituído como associação sem fins lucrativos, autonomia administrativa e financeira, regida por um estatuto. O Centro é formado por 20 instituições que desenvolvem e/ou apoiam projetos relacionados às energias renováveis. Sua estrutura conta com um laboratório de biogás, no Parque Tecnológico Itaipu (PTI), em Foz do Iguaçu, e com 11 unidades de produção de biogás no Brasil. <https://www.cibio.org/biogas>

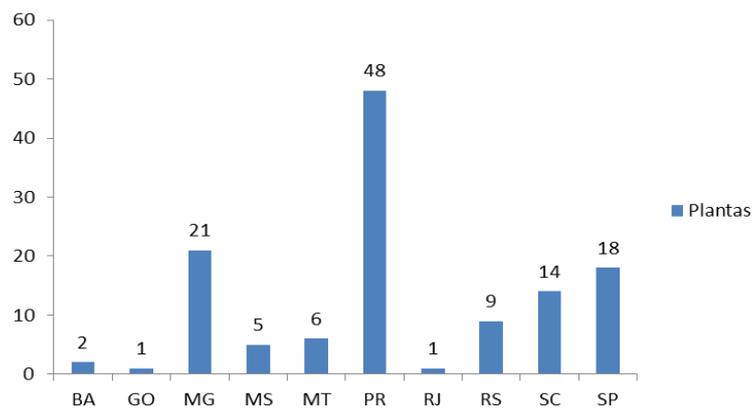


Figura 51: Plantas que utilizam o biogás para gerar energia no Brasil
 Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017

A maioria das plantas apresentada no Webmap EPE utiliza resíduos do setor agropecuário (59) conforme a Figura 52 apresenta, e gera predominantemente energia térmica (61) e eletricidade (55), como apresenta a Figura 53. As 125 plantas produzem um total de 1.369.228 m³/dia de biogás.

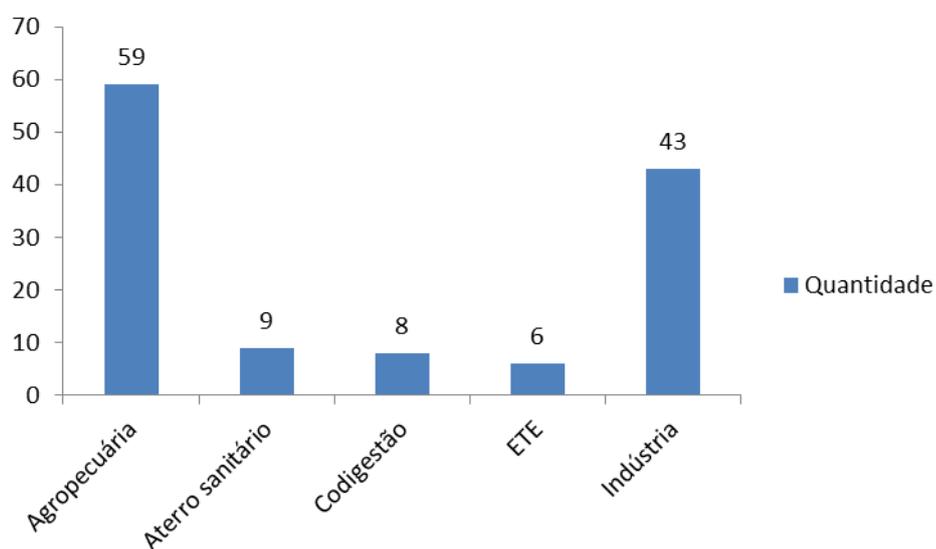


Figura 52: Plantas de biogás por setor
 Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017

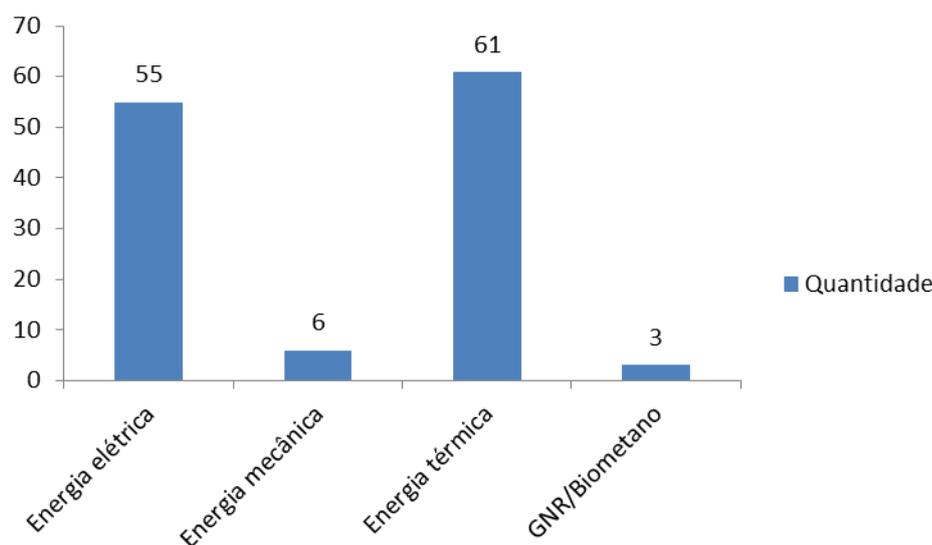


Figura 53: Geração de energia a partir das plantas de biogás
 Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017

Além do Paraná, São Paulo também se destaca em relação ao número de plantas. Nos dois estados, a maioria das plantas produz energia térmica, que deve ser utilizada para autoconsumo, e utiliza substrato do setor de alimentos e bebidas. No Paraná, a segunda fonte de substratos é do setor de suinocultura. Já nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul a maioria das plantas utiliza resíduos da suinocultura. Um fato interessante é que o nordeste brasileiro apresenta apenas dois projetos localizados na Bahia. Com a inclusão do aproveitamento do biogás em mecanismo de financiamento da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) através da Proposição nº 102 de 2017, que versa sobre a “Inclusão do “tratamento de resíduos sólidos (inclusive para produção de energia)” entre as Prioridades Setoriais do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) no exercício de 2017”, pode ser que plantas que utilizem a fonte para geração de energia comecem a ser desenvolvidas na região.

Ainda a partir dos dados do Webmap, das 125 plantas mapeadas em 2015, 30 unidades produziam quantidade igual ou superior a 10.000 m³ (maior porte) de biogás por dia, sendo que a maioria delas utilizava resíduos da indústria alimentícia e estava localizada no estado do Paraná. A Tabela 15 traz as 30 plantas segregadas por tipo de substrato e por estado.

Tabela 15: Plantas de biogás com produção igual ou maior que 10.000 m³

Aterro sanitário	
BA	1
MG	3
RJ	1
SC	1
SP	2
Indústria de alimentos ou bebidas	
MS	2
PR	12
SP	1
Indústria sucroenergética	
SP	1
Lodo de esgoto	
MG	1
SP	1
Suinocultura	
MG	1
MT	2
SC	1

Fonte: Elaboração própria a partir do WEBMAP EPE, 2017

Outra ferramenta que apresenta plantas que utilizam o biogás como recurso energético no Brasil é o MapBiogás⁶⁷ do CIBiogás, que, na verdade, é o precursor no Brasil em relação a este tipo de informação em relação a fonte. Inclusive, a base de dados fornecida à EPE teve suporte do CIBiogás, segundo um dos entrevistados para a presente pesquisa. Acessando a ferramenta no dia 15 de outubro de 2017, foram identificadas 142 plantas de biogás, sendo 47 localizadas no estado do Paraná. O número diverge um pouco do apresentado pelo Webmap EPE por conta do Biogasmapp considerar também plantas em implementação, enquanto a ferramenta da EPE apresenta apenas plantas em operação.

No entanto, é importante esclarecer que ainda não há um número oficial sobre a totalidade das plantas que operam atualmente no Brasil e o cenário produtivo da fonte já deve ter apresentado algumas mudanças, por conta dos avanços regulatórios, especialmente em relação ao biometano. De qualquer forma, as informações que estão sendo geradas por diferentes fontes demonstram a crescente atenção dada a ela. Se os dois bancos de dados continuarem sendo alimentados, eles se tornarão elementos importantes de análise para atores do setor do biogás.

⁶⁷ <http://mapbiogas.cibiogas.org/>

Em relação à produção de biometano, o biogás purificado que apresenta maior percentual de metano, ainda não há um dado oficial que divulgue sua produção no Brasil. A Ecometano e a Ecocitrus atualmente produzem o biometano no Brasil e, por essa razão, foram visitadas durante a pesquisa de campo para realização desta tese. A Ecometano utiliza o biogás gerado no Aterro Dois Arcos, localizado no município de São Pedro da Aldeia no estado do Rio de Janeiro. A cooperativa Ecocitrus produz biometano a partir de resíduos agrosilvopastoris e está localizada na cidade de Montenegro no Rio Grande do Sul. A Ecometano obteve a aprovação da ANP para comercializar biometano oriundo de aterro sanitário no dia 21/09/2017, quando a instituição aprovou o controle de qualidade do biometano produzido pela GNR Dois Arcos, cuja planta tem capacidade de produção de 10.000 m³/dia. Esta aprovação é a primeira, após a publicação da Resolução ANP nº 685 de 2017, que regulamenta a qualidade do biometano de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. A partir da Resolução ANP nº685 de 2017 e da Resolução ANP nº8 de 2015, o biometano se legitimou para oferta de gás injetável na rede de distribuição⁶⁸.

Segundo a EPE (2014) e agentes do setor, no caso brasileiro, esse seria o uso mais competitivo do biogás. Após sua purificação há aumento do teor de metano e redução de impurezas e ele pode ser utilizado como combustível veicular (biometano). Em nota técnica sobre a demanda de energia em 2050 a EPE afirma que,

a competitividade do biometano em relação aos combustíveis líquidos, a destacar diesel e gasolina, e mesmo em relação ao gás mostra-se mais vantajosa que a geração de eletricidade. Junto a essa competitividade, observa-se existir demanda localizada junto aos potenciais centros produtores de biometano, fazendo com que a escolha pela produção de biometano seja a mais interessante (EPE, 2016, p.235).

De acordo com Lantz et al. (2007), os benefícios ambientais do uso do biometano são normalmente maiores quando utilizado como combustível veicular no lugar de petróleo ou diesel. Isso se dá por consideráveis reduções nas emissões de outros poluentes tais como hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e particulados. Quando o biometano está sendo utilizado no lugar do óleo combustível, ou gás natural, na produção de larga escala de calor ou eletricidade, a redução desses outros poluentes é menor ou insignificante. No caso brasileiro, pelo fato do setor de transporte ser um dos principais emissores de CO₂ e ter uso expressivo de derivados de petróleo (MME, 2016), a purificação do biogás para seu uso

⁶⁸ <http://www.anp.gov.br/wwwanp/noticias/4038-anp-concede-primeira-aprovacao-para-biometano-de-aterros-sanitarios-e-estacoes-de-tratamento-de-esgoto>

como combustível veicular se torna ainda mais interessante numa agenda de combate às mudanças climáticas.

Diante do contexto apresentado acima, mesmo com a inexpressiva oferta de energia elétrica e de biometano gerados a partir do biogás no Brasil, agentes privados e públicos vêm se movimentando em prol do setor e a fonte vem ganhando maior visibilidade e espaço na agenda governamental, assim como projetos de maior escala e com maior refinamento tecnológico. No tópico seguinte serão abordadas estimativas sobre o potencial de geração de energia a partir do uso do biogás no país.

5.2 Estimativas do potencial energético do biogás no Brasil

O Brasil possui enorme potencial para produção de biogás gerado a partir da biodigestão de resíduos orgânicos. Segundo a Proposta do Programa Nacional de Biogás e Biometano (PNBB), publicado em 2015 pela Abiogás⁶⁹, o país tem grande potencial para utilização do biogás como fonte energética por conta da disponibilidade em larga escala de biomassa e resíduos orgânicos. Além disso, como já mencionado, há condições climáticas ideais para o processo de biodigestão, contexto muito superior ao de países de clima frio que estão na dianteira no aproveitamento energético da fonte (Abiogás, 2015, p. 3). Em relação ao potencial produtivo do biogás e biometano no Brasil, há concordância sobre um expressivo potencial, principalmente a partir de resíduos agrosilvopastoris. Segundo a EPE (2016b, p.209, 210),

a disponibilidade de terras e a experiência acumulada ao longo do tempo, principalmente no setor sucroalcooleiro, permite que a biomassa já contribua para a renovabilidade da matriz elétrica brasileira, principalmente em função do aproveitamento do bagaço de cana. Porém, o que se percebe atualmente é que boa parte dos resíduos agropecuários e urbanos não é aproveitado, o que significa um desperdício considerável em termos energéticos.

Diante disso, assim como ainda não existe uma consolidação sobre a atual produção no país, o mesmo ocorre em relação ao potencial existente. Segundo a Abiogás, a estimativa de potencial energético para o biogás e biometano no Brasil é da ordem de 11 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) ao ano ou 12 bilhões de litros equivalente de diesel (PNBB, 2015, p.4). É apresentada também no PNBB (2015, p.13) a estimativa do potencial

⁶⁹ A Associação Brasileira do Biogás e do Biometano é uma pessoa jurídica de direito privado, de âmbito nacional e sem fins lucrativos, que nasceu em 2013 pela união de pessoas e empresas que desejam ver esses biocombustíveis disseminados na matriz energética brasileira. (<https://www.abiogas.org.br/sobre>)

de produção de biogás no Brasil em 23 bilhões de m³/ano, sendo 12 bilhões a partir de resíduos da cana-de-açúcar, oito bilhões de alimentos e três bilhões de resíduos sólidos urbanos. A publicação de 2015 ressaltava o caráter conservador desta estimativa. Em estimativa mais recente, a Abiogás afirma que o Brasil apresenta um potencial de produzir cerca de 78 milhões de m³ diários de biometano, conforme a Figura 54 (ABILOGÁS, 2017).

**POTENCIAL BRASILEIRO DE BIOMETANO
POR FONTE (m³/dia)**

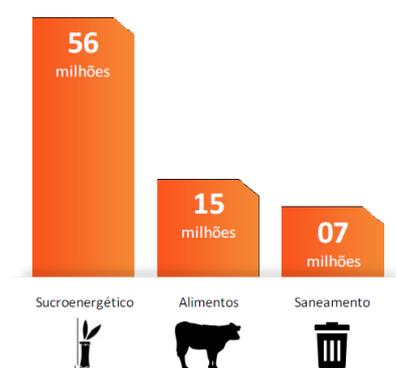


Figura 54: Estimativa de potencial de biometano no Brasil
Fonte: Abiogás, 2017

Em apresentação realizada no IV Fórum do Biogás, realizado em outubro de 2017 em São Paulo, a Abiogás apresentou estimativas baseando-se na demanda atual do país de energia elétrica e de diesel como combustível. Segundo a instituição, caso todo o potencial de produção de biogás e biometano fosse utilizado no país, para um dos dois usos, o biogás poderia suprir 24% da demanda de energia elétrica e o biometano 47% da demanda por diesel, conforme a Figura 55 apresenta.



Figura 55: Equivalências Energéticas
Fonte: Abiogás, 2017

Em relação a estimativas produzidas por outras instituições não relacionadas diretamente à fonte, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública que tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, publicou nos últimos anos algumas projeções em relação ao biogás. No entanto, apenas na publicação do documento de consulta pública do PDE 2026 (EPE, 2017), a geração de eletricidade a partir do biogás foi incorporada com perspectiva de crescimento no horizonte decenal, onde foi apresentada a estimativa de 3 GW médios em 2026, apenas a partir do uso do biogás obtido de vinhaça e torta de filtro do setor sucroenergético, conforme o trecho abaixo:

Com base nos dados da Usina Bonfim, vencedora do leilão de energia A-5 de 2016, foi possível estimar o potencial técnico de exportação de energia elétrica a partir do biogás obtido de vinhaça e torta de filtro alcançando cerca de 3 GW médios em 2026 (EPE, 2017, p.215).

No IV Fórum do Biogás representantes do setor colocaram a inserção da estimativa sobre o biogás no PDE 2026 como um marco para o setor do biogás no Brasil. No entanto, é importante considerar que a instituição já havia publicado outras estimativas relacionadas ao biogás, conforme serão apresentadas a seguir.

O primeiro documento a abordar a possibilidade de utilização da biodigestão e da captação de biogás em aterros sanitários pela EPE data de 2008, quando foi publicada uma nota técnica sobre aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campo Grande no estado do Mato Grosso do Sul. A publicação afirmava, há quase dez anos atrás, o que parece ser ainda a realidade de hoje, comprovando a pouca evolução na última década em relação a melhor gestão de resíduos e consequente aproveitamento energético no país.

A principal destinação do material coletado tem sido aterros controlados e sanitários, contudo grande parte ainda é enviada para áreas popularmente conhecida como lixões. Em pouquíssimos casos são aplicadas outras soluções, que poderiam trazer benefícios adicionais para as localidades. Isto se dá, provavelmente por razões financeiras, uma vez que tais soluções normalmente significam maiores investimentos (EPE, 2008, p.7).

O relatório apontava, especificamente para o município em questão, que a máxima potência instalável para geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do gás de lixo (captação em aterros sanitários) era de 2.500 kW (2,5 MW) e a máxima potência instalável para a geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela digestão anaeróbica era de 3.400 kW (3,4 MW).

Em publicação mais recente, a EPE também apresentava estimativas em relação ao potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás. Em 2014 a instituição afirmava que a partir da biodigestão de resíduos sólidos urbanos, o Brasil poderia produzir 4,2 Mm³/dia de biometano ou gerar 1,5% do consumo de eletricidade nacional. O estudo indicava também que o binômio biodigestão-reciclagem é o que disponibilizaria o maior potencial de ofertar energia no país. No entanto, pelo fato de estarmos longe de enxergar avanços na gestão de resíduos sólidos no país, a separação da parte orgânica da parte reciclável do lixo ainda é um grande desafio que precisa ser alcançado (EPE, 2014a).

No que tange aos resíduos agrosilvopastoris, o estudo da EPE apresentou dois cenários de produção de biogás. O primeiro, a partir da biodigestão anaeróbica somente dos resíduos da pecuária, que poderia proporcionar a geração de 3.748 MW de energia elétrica e o segundo, a partir da codigestão de resíduos de pecuária com 30% de resíduos agrícolas, que poderia gerar a produção de 4.300 MW de eletricidade. O estudo estimava uma produção anual superior a cinco bilhões de m³/ano do biometano a partir da biodigestão de resíduos agrosilvopastoris (EPE, 2014b).

Em 2016, a EPE, em outra publicação específica sobre energias renováveis, apresentou uma projeção de potência para o biogás via geração centralizada e via geração distribuída em 2050 (EPE, 2016b). A publicação indica a perspectiva mundial de penetração do gás não convencional e do biogás e defendia que o processo de biodigestão de resíduos agrosilvopastoris se destaca em termos de potencial no país. O relatório aponta uma projeção da disponibilidade de biomassa residual da pecuária e seu conteúdo energético representado pela geração de biometano, onde o setor de avicultura se destaca em termos de produtividade conforme demonstra a Figura 56.

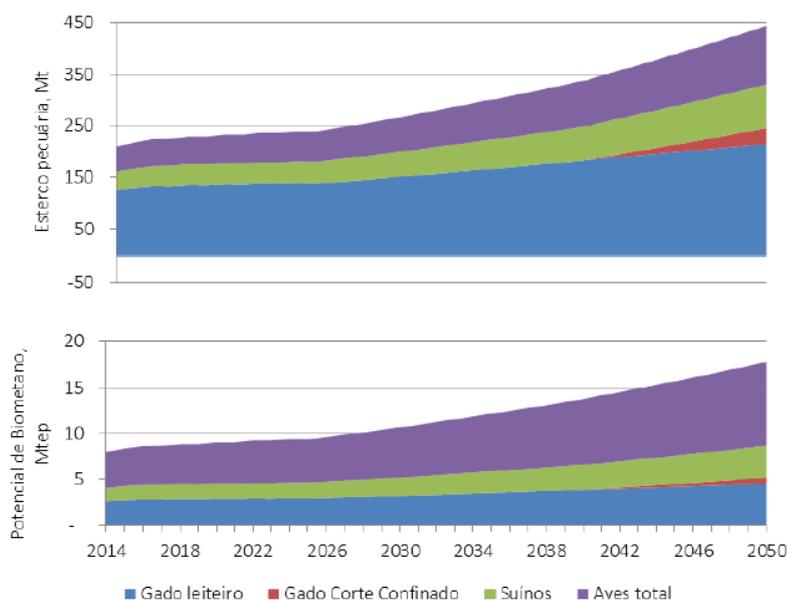


Figura 56: Projeção da disponibilidade de biomassa residual pecuarista e seu conteúdo energético
Fonte: EPE, 2016b.

Sobre a produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos, devido ao elevado teor de umidade da fração orgânica dos RSU⁷⁰, em torno de 50% em peso, o relatório apontava que o aproveitamento energético deste resíduo por incineração é pouco eficiente, sendo sua biodigestão para produção de biogás mais indicada e seu potencial apresentado na Figura 57 (EPE, 2016b, p.176). Sobre os efluentes sanitários, eles não foram contemplados no estudo, pois, segundo o relatório, embora contenham uma carga orgânica que pode ser convertida em biogás, o nível de diluição é elevado e por conta disso o potencial energético é bastante limitado em comparação com os RSU. A publicação, no entanto, indica que a geração elétrica a partir de biogás de efluentes sanitários pode ter como objetivo suprir parte da demanda de energia das próprias ETE (auto-consumo) (EPE, 2016b, p. 177).

⁷⁰ Waste composition is influenced by factors such as culture, economic development, climate, and energy sources; composition impacts how often waste is collected and how it is disposed. Low-income countries have the highest proportion of organic waste. Paper, plastics, and other inorganic materials make up the highest proportion of MSW in high income countries. By region, EAP has the highest proportion of organic waste at 62%, while OECD countries have the least at 27%, although total amount of organic waste is still highest in OECD countries. Although waste composition is usually provided by weight, as a country's affluence increases, waste volumes tend to be more important, especially with regard to collection: organics and inerts generally decrease in relative terms, while increasing paper and plastic increases overall waste volumes (BANCO MUNDIAL, 2012).

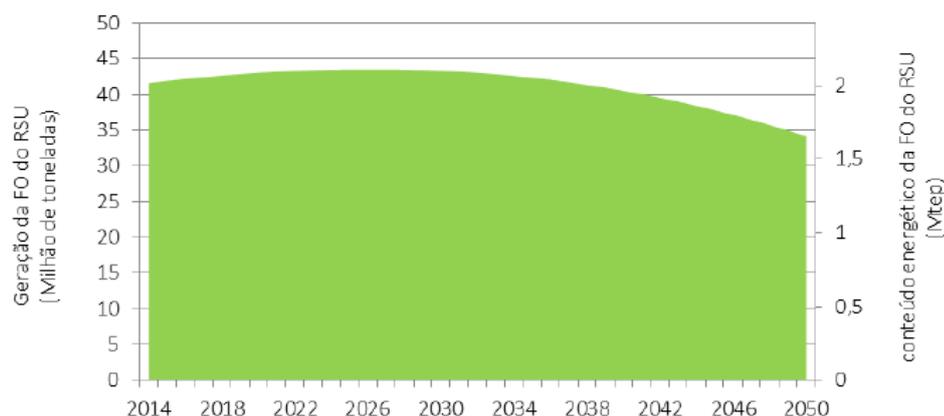


Figura 57: Projeção da geração e do conteúdo energético da fração orgânica dos RSU
Fonte: EPE, 2016b.

A publicação faz uma segmentação de estimativa de potencial de bioeletricidade entre geração centralizada (igual ou acima de 5MW) e descentralizada (inferior a 5MW). No que tange a geração centralizada de energia, adotando valores de geração de resíduos em 2014, segundo a EPE (2016b, p.226), apenas 3,2% dos resíduos da pecuária de gado leiteiro (manteve-se este mesmo valor para gado de corte confinado, atividade que somente deve se tornar relevante no longo prazo), 12,3% dos resíduos da suinocultura e 31,4% dos resíduos de granjas (galináceos) são viáveis para geração centralizada, ou seja, permitem empreendimento com capacidade instalada igual ou superior à 5 MW. As curvas de potencial de bioeletricidade de resíduos da pecuária e de resíduos sólidos urbanos em regime de geração centralizada são mostradas na Figura 58.

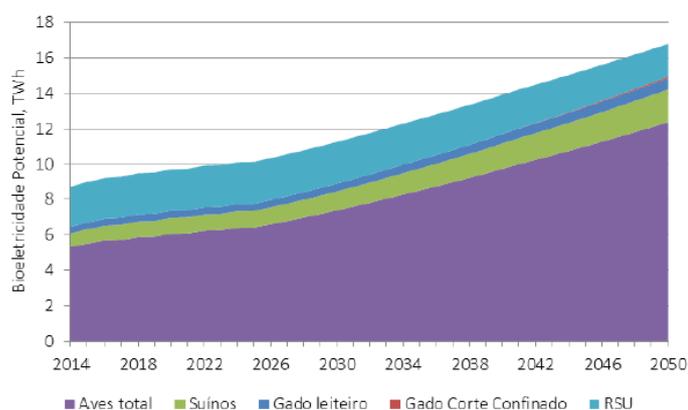


Figura 58: Oferta potencial de bioeletricidade de resíduos da pecuária confinada e resíduos sólidos urbanos em geração centralizada
Fonte: EPE, 2016b

No que tange à geração distribuída, o relatório afirma que um grande potencial de bioeletricidade pode ser obtido pelo uso de biomassas residuais da pecuária e de resíduos sólidos urbanos. Em 2014, o potencial era de 35 TWh e, em 2050, deverá chegar a 67 TWh. As biomassas de esterco avícola e de gado leiteiro, ao longo do período, contribuem com quase 70% do potencial. O esterco da suinocultura contribui com 18% do potencial. Sobre estimativas em relação aos resíduos sólidos urbanos, o relatório defende que em decorrência da mudança na composição dos resíduos sólidos urbanos, onde a disponibilidade da fração orgânica deve diminuir, a participação no potencial de bioeletricidade desta fonte de biomassa deverá ser decrescente, chegando em 2050 a 5%. A Figura 59 apresenta a estimativa de potencial de oferta de energia elétrica descentralizada a partir do uso do biogás produzidos por diferentes resíduos (EPE, 2016b).

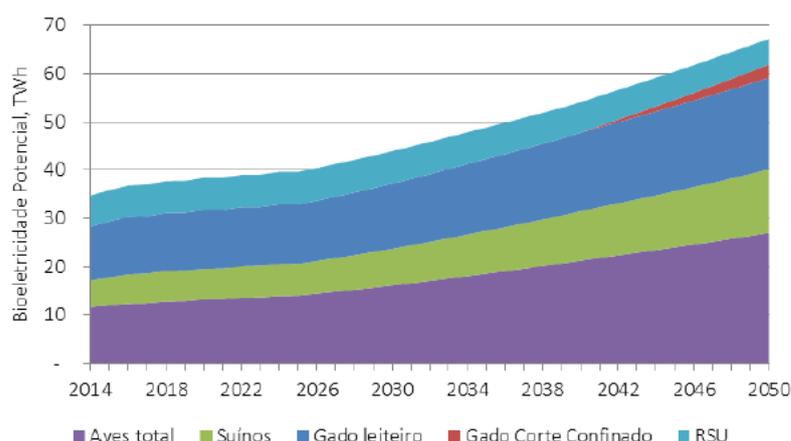


Figura 59: Oferta potencial de bioeletricidade de resíduos da pecuária confinada e resíduos sólidos urbanos em geração distribuída
 Fonte: Fonte: EPE, 2016b

Para finalizar, a tabela abaixo apresenta a estimativa de oferta potencial de bioeletricidade, a partir de diferentes substratos, em geração centralizada e geração distribuída. De acordo com a publicação de 2016 da EPE, em 2050, o potencial de bioeletricidade a partir do biogás com geração centralizada será de 348 TWh e de 67 TWh a partir da geração distribuída (EPE, 2016b).

Tabela 16: Expansão da produção de energia elétrica a partir do biogás

Geração Centralizada					
TWh	2015	2020	2030	2040	2050
Bagaço	26	32	37	41	42
Ponta e Palha	34	41	49	53	55
Biogás de Vinhaça	6	7	10	11	12
Florestas Energéticas	11	22	47	59	69
Palha de soja	19	22	32	50	75
Palha de milho	30	34	44	60	78
Biogás Gado Leiteiro	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
Biogás Gado Corte Confinado	-	-	-	0	0,1
Biogás Suinocultura	0,8	0,9	1,1	1,4	1,8
Biogás Avicultura	6	6	7	10	12
Biogás RSU	2,3	2,3	2,4	2,2	1,9
Total Centralizada	136	168	231	287	348
Geração Distribuída					
TWh	2015	2020	2030	2040	2050
Biogás Gado Leiteiro	12	12	13	16	19
Biogás Gado Corte Confinado	-	-	-	-	3
Biogás Suinocultura	6	6	8	10	13
Biogás Avicultura	12	13	16	21	27
Biogás RSU	6,5	6,7	6,7	6,3	5,3
Total Distribuída	36	38	44	54	67

Fonte: EPE, 2016b.

Também em 2016, por meio de uma Nota Técnica sobre a demanda de energia em 2050 (EPE, 2016a, p.7), a EPE indicava a perspectiva de mudanças no setor energético, representadas pela penetração de tecnologias de veículos híbridos e elétricos, geração distribuída com sistemas fotovoltaicos e a biogás, assim como a utilização de biometano para fins veiculares.

Especificamente relacionado à difusão do biogás e do biometano, o documento indicava a ampliação do consumo de diesel no horizonte analisado e afirmava que parte deste consumo poderia ser suprido a partir do uso de biogás em máquinas e implementos agrícolas aptos para utilização desse energético (EPE, 2016a). Além disso, o relatório defendia que,

neste cenário o biogás apresenta uma série de vantagens, pois é um energético flexível tanto no uso, podendo ser convertido em eletricidade, injetado na rede de gás após tratamento, ou usado como combustível, como na produção, podendo ser produzido a partir de resíduos rurais, urbanos e industriais. Essa característica sinaliza um grau de descentralização na produção e uso de combustíveis que introduz um fator de inovação no setor energético (EPE, 2016a, p.216).

O relatório afirma que a penetração do biogás no mercado de energia é extremamente promissora por conta de a tecnologia de digestão anaeróbica já ser dominada internacionalmente a custos competitivos e da flexibilidade do uso e possibilidade de armazenamento do biogás (EPE, 2016a, p.225). A Figura 60 apresenta a projeção da penetração da geração distribuída de biogás em termos de energia elétrica até 2050. A geração de eletricidade variará entre 15 Mm³/d (2.850 MWm) e 28 Mm³/d (5.188 MWm) (EPE, 2016a). A nota técnica indicava a geração a diesel no horário da tarifa de ponta como outro nicho que poderá ser atendido por biocombustíveis como o biometano, sobretudo por conta dos impactos ambientais negativos que a utilização do diesel apresenta, tendo a questão da emissão de GEE e particulados como expoentes e já mencionados neste trabalho.

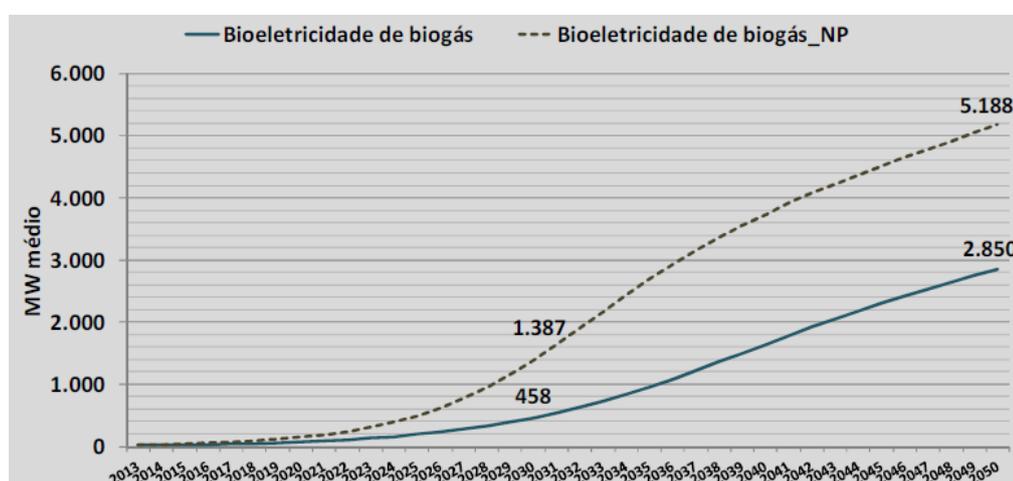


Figura 60: Projeção da penetração da geração distribuída de biogás
Fonte: EPE, 2016a

O relatório indicava também que no primeiro decênio das projeções será um período de estabelecimento das condições necessárias e legitimação de projetos de geração a partir do biogás. Além disso, o cenário aponta primeiro para a penetração do biogás urbano, que apresenta potencial bastante inferior ao potencial de produção de biogás rural, consequência da exploração do biogás de aterros já existentes. O relatório se apresentava otimista em relação às obrigadoriedades da PNRS, o que não tem sido verificado até o momento, bastando apenas averiguar o número de lixões identificados atualmente no país, conforme também já apresentado nesta tese.

Segundo a EPE (2016a, p.228), a partir de 2030, com a difusão e consolidação dos projetos pioneiros e estabelecimento da cadeia de serviços do biogás, seu mercado encontrará condições para o seu desenvolvimento e indica que esta eletricidade será

contratada majoritariamente através do esquema de compensação de energia (*net metering*) por conta da escala da unidade geradora e aponta os setores público e rural como os principais consumidores da eletricidade gerada.

Especificamente sobre o biometano, a perspectiva é que seu potencial varie entre 36 a 66 Mm³/d, que corresponde ao consumo de diesel do setor agropecuário e de uma parcela do consumo de ônibus e caminhões urbanos à época da nota técnica (EPE, 2016a). Segundo a EPE (2016a, p. 234), a produção descentralizada de biometano terá o desenvolvimento inicial de projetos nos próximos anos de maneira mais contida e após 2030 com maior intensidade. Para o estabelecimento da sua cadeia de serviços serão necessárias ações de diferentes agentes, públicos e privados, principalmente nas áreas de logística da biomassa, regulamentação, e serviços técnicos para os projetos de bioenergia e adequação de tecnologias de usos finais. A questão ambiental também apresenta relevância estratégica para o desenvolvimento da bioenergia no cenário de longo prazo, por conta da crescente necessidade de mitigação de impactos locais e globais da disposição dos resíduos orgânicos, que ocasionará na criação de modelos que busquem a correta destinação destes resíduos e, como consequência, o aproveitamento dos mesmos (EPE, 2016a, p. 234).

Segundo a EPE, o biometano apresenta competitividade em relação aos combustíveis líquidos, a destacar diesel e gasolina, e, mesmo em relação ao gás natural, também se mostra competitivo. Junto a essa competitividade, observa-se existir demanda localizada junto aos potenciais centros produtores de biometano, fazendo com que a escolha pela produção de biometano seja a mais interessante. No entanto, diversos fatores condicionarão o aumento da produção e uso do biometano. Desde a competição entre o biogás e o biometano para utilização dos resíduos, até o avanço de questões institucionais, que à época ainda precisam ser estabelecidas para a criação de ambiente mais adequado ao investimento (EPEa, 2016, p. 235).

No que tange ao potencial, a EPE (2016a) afirma que o maior potencial é encontrado no setor rural e no setor de resíduos urbanos e apresenta as seguintes projeções para a produção descentralizada de biometano comparando-a com o potencial teórico disponível. A Figura 61 apresenta a evolução da penetração do biometano como combustível no Brasil até 2050.

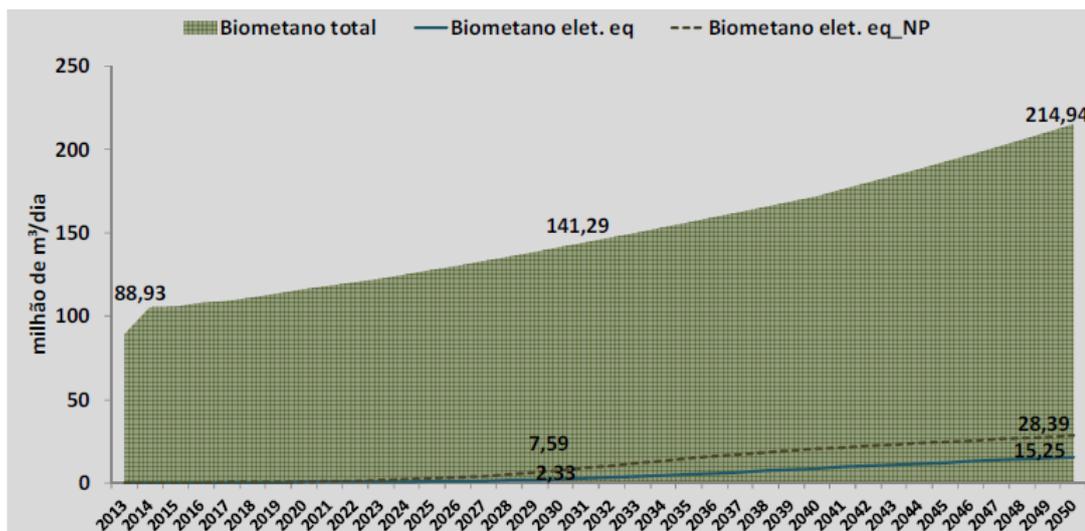


Figura 61: Evolução da penetração do biometano combustível versus potencial teórico EPE, 2017a

Segundo a EPE (2016a), ainda sobre o biometano, a penetração projetada, no cenário de referência (*business as usual*), em 2050, atinge o volume de 36 milhões de m³ por dia. Assim, como no caso do biogás para geração de eletricidade para GD, os primeiros anos são de estabelecimento das condições para o desenvolvimento do mercado, que ocorrerá de maneira mais intensa a partir de 2030. Além disso, devido a maior familiaridade do setor com projetos de geração de energia elétrica, e necessidade de adaptação de alguns usos finais, os anos iniciais apresentarão baixo volume de produção de biometano. Neste cenário o biometano encontrará mercado crescente nos setores agropecuário, de transporte de cargas, e na frota de coleta de resíduos urbanos, substituindo majoritariamente o diesel. Projetos de injeção na rede de gás natural tendem a ser competitivos por questões de garantia de compra, como na legislação do governo do estado do Rio de Janeiro e na chamada pública da Sulgás, que serão abordadas ainda neste capítulo. Em um cenário chamado de “novas políticas”, caso ocorram mudanças mais significativas na sociedade em prol de uma trajetória mais sustentável, a EPE indica um potencial de produção de biometano em 2050 de aproximadamente 66 milhões de m³ por dia, ampliando os mercados consumidores, principalmente através de projetos de injeção na rede de gás natural e de substituição de diesel no setor de transportes de cargas (EPE, 2016a, 236).

Conforme inicialmente apresentado, em publicação mais recente a EPE incorporou pela primeira vez projeções relacionadas ao biogás no Plano Decenal de Energia 2026. No que tange a produção centralizada de energia, a publicação estima um potencial técnico de exportação de energia elétrica a partir do biogás obtido de vinhaça e torta de filtro

alcançando cerca de 3 GWmédios em 2026 e estima-se aproximadamente 300 MW de geração de eletricidade via geração distribuída no final do horizonte do Plano (EPE, 2017). Sobre a perspectiva de crescimento do biogás dentro do regime de geração distribuída, a Figura 62 apresenta a projeção da evolução da fonte e a EPE afirma no documento de consulta pública do PDE 2026 que,

em 2026, estimam-se cerca de 770 mil adotantes de sistemas fotovoltaicos sob o regime da REN 482, totalizando 3,3 GWp, suficiente para atender 0,6% do consumo total nacional. A evolução das plantas a biogás é menor, com a perspectiva de aproximadamente 300 MW no final do horizonte do Plano (EPE, 2017, p.215).

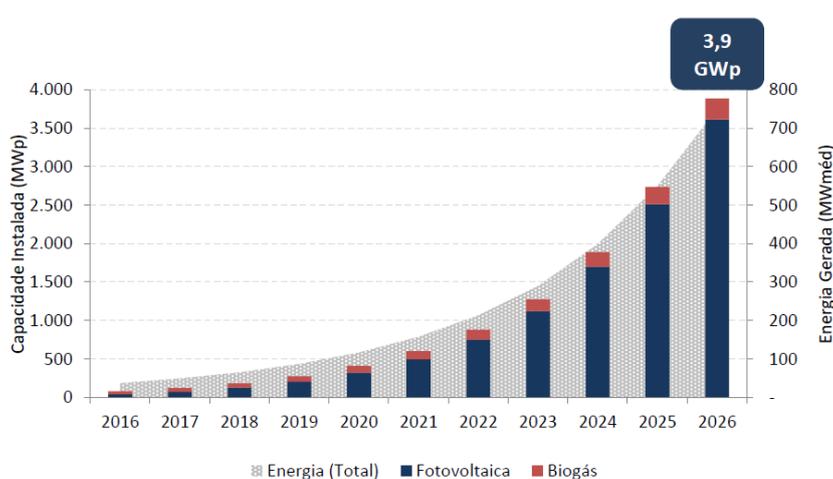


Figura 62: Capacidade instalada e energia a partir da geração distribuída fotovoltaica e de biogás
Fonte: EPE, 2017

Além das estimativas apresentadas acima, compiladas a partir de publicações de instituições de referência no setor energético, algumas outras estimativas são feitas no meio acadêmico, órgãos de pesquisa e setor privado. Estimativas mais antigas, como a de Zanette (2009), apontam que o potencial de produção de biogás no Brasil a partir de diferentes fontes de matéria orgânica seja superior a 50 milhões de m³ de metano por dia, superior à produção nacional de gás natural disponibilizada para consumo em 2009, de cerca de 35 milhões de m³/dia.

O CIBiogás, em seu sítio eletrônico, no que tange ao potencial, informa estimativas de outras instituições, afirmando que a

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) considera que o potencial energético das biomassas no Brasil, saltará de 210 milhões de TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo) em 2013, para cerca de 460 milhões de TEP em 2050. Já a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (Abiogás) considera que o potencial nacional é de cerca de 20 bilhões de metros cúbicos ao ano nos setores sucroalcooleiro e na

produção de alimentos. Já no setor de saneamento básico, resíduos sólidos e esgotos domésticos é de três bilhões de metros cúbicos ao ano (CIBIOGÁS, 2017).

A GIZ, outra instituição muito atuante em prol da difusão do uso do biogás no Brasil, em uma publicação do PROBIOGÁS (2016), informa o potencial baseando-se também em estimativas da EPE de 2014, informando que,

estudos da EPE apontam um potencial teórico de produção de biometano de 4,3 milhões de m³/dia a partir de resíduos sólidos urbanos, 13,8 milhões de m³/dia a partir de vinhaça, 35,4 milhões de m³/dia a partir de resíduos agropecuários e de 47,8 milhões de m³/dia a partir de resíduos agrícolas (EPE, 2014a). Este potencial somaria 101,3 milhões de m³/dia de biometano, quase o dobro do atual consumo de gás natural no Brasil (58 milhões de m³/dia) (EPE, 2014b) (PROBIOGÁS, 2016, p.22).

Um dos entrevistados, representante de uma empresa privada bastante atuante no setor, apontou estimativa de produção nacional mais conservadora de um milhão de m³/dia em 2019, 20 milhões de m³/dia em 2025 e 60 milhões de m³/dia em 2030, mas que demonstra a expectativa positiva do setor privado em relação ao desenvolvimento da fonte. No IV Fórum do Biogás, Eduardo Azevedo, secretário de planejamento e desenvolvimento energético do MME, indicou como potencial para crescimento do uso do biogás sua utilização para geração de eletricidade em sistemas isolados e também substituindo baterias, por suas características de ser armazenável e despachável, nas horas em que outras fontes renováveis (eólica e solar), por conta da intermitência, não estiverem gerando eletricidade. Além disso, o representante do MME afirmou que o biogás está na agenda do governo e que tem uma importância fundamental dentro da proposta de reforma⁷¹ do setor elétrico nacional e que,

o novo modelo não foi criado para o biogás, mas ele está tão aderente às necessidades e oportunidades do biogás, que ele poderia ser enxergado como um programa criado para o biogás. Porque se trata de uma mudança de modelo baseada numa lógica econômica racional, onde as fontes vão ser inseridas de acordo com as suas características e ganhos para o setor (ABIOGÁS, 2017).

Diante do acima apresentado, a expectativa em relação ao crescimento do uso do biogás como ativo energético no país é positiva, conforme informações de diferentes instituições importantes do sistema sociotécnico energético. Considerando seu papel relevante no regime energético, como anteriormente apresentado neste item do capítulo, as

⁷¹ A Nota Técnica Nº 5/2017/AEREG/SE colocou a proposta em consulta pública em julho de 2017 e atualmente o formato final está em fase de conclusão para ser enviado à Casa Civil da Presidência da República, seguindo, na sequência, para o Congresso Nacional.

estimativas da EPE poderiam ser consideradas a referência a ser utilizada para projeções e análises em relação à disseminação do uso da fonte no país. Em todos os fóruns sobre biogás, as estimativas da instituição são colocadas como referência para o setor energético.

5.3 Análise do sistema sociotécnico energético relacionado ao uso do biogás como fonte de energia

Conforme apresentado no marco teórico, a análise do sistema sociotécnico energético em relação ao biogás enfoca em alguns elementos que foram adaptados de Geels (2002, 2005a) e Raven (2007). O texto será estruturado seguindo a ordem dos elementos apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Elementos que serão analisados na configuração do sistema sociotécnico

Elementos do sistema sociotécnico que serão avaliados (RAVEN, 2007 e GEELS 2002, 2005a):
Artefatos e infraestruturas
Infraestrutura de produção
Infraestrutura de abastecimento
Instituições
Mecanismos de comercialização
Políticas e regulações
Simbolismo cultural
Agentes
Instituições representativas do setor
Instituições de pesquisa e ensino

Fonte: Elaboração própria, 2017

Antes de iniciar a análise é importante salientar, pelo fato da fonte apresentar grande versatilidade e por conta de isso permitir diversos modelos de negócios, que a análise será geral, buscando analisar cada elemento do sistema sociotécnico de forma mais ampla sem se concentrar em apenas uma tecnologia, um tipo de substrato ou um uso específico. Apenas na análise de alguns critérios, para permitir melhor organização textual, será apontada uma segregação na abordagem pelas diferentes formas de uso (eletricidade, combustível veicular e também o substrato).

A ideia é que a configuração dos elementos permita melhor compreensão de como o biogás está inserido ou se inserindo no regime energético para subsidiar a análise da transição para produção e uso do biogás como fonte de energia no Brasil. É importante ressaltar que em todos os elementos o enfoque se concentra nos avanços e desafios em relação ao desenvolvimento da produção e uso do biogás no país.

5.3.1 Artefatos e infraestruturas

Como a tecnologia do biogás já foi apresentada no capítulo quatro, ela não será abordada neste item. Pelo fato da tecnologia de captação de gás de aterro ser utilizada no Brasil há muitos anos, o enfoque será dado ao processo de biodigestão.

Cada um dos critérios a seguir será avaliado de acordo com o escopo definido na tabela abaixo:

Tabela 18: Abordagem de cada critério analisado dentro do elemento artefatos e infraestruturas

Artefatos e infraestruturas
Infraestrutura de produção
Apresentação das diferentes cadeias produtivas que podem ser criadas para gerar o biogás.
Infraestrutura de abastecimento
Desafios infraestruturais para fazer a eletricidade ou biometano chegar ao demandante (logística de abastecimento - B2B).

Fonte: Elaboração própria

5.3.1.1 Infraestrutura de produção

O biogás se apresenta como uma fonte que pode ser explorada a partir de diversos modelos produtivos e de negócios. Ele pode ser gerado em diferentes escalas, pode ser produzido de forma centralizada ou descentralizada, no meio rural ou urbano, e de forma individual ou coletiva.

Na estruturação de um projeto de produção de biogás, para definição do modelo de negócio, algumas variáveis devem ser consideradas, conforme resumidas na Figura 63.

Substratos	Tecnologias para geração biogás	Escala (m³/dia biogás)	Rota tecnológica e suas respectivas tecnologias
Agrosilvopastoril	Reatores	Pequeno porte (até 2.500 m ³ /dia)	Eletricidade
Indústria	Lagoas tecnológicas	Médio porte (de 2.501 a 12.500 m ³ /dia)	Calor
RSU	Gás de aterro (sem biodigestor)	Grande porte (acima de 12.501 m ³ /dia)	Biometano
ETE	Biodigestores de pequena escala		Digestato

Figura 63: Variáveis para definição de modelo de negócio

Fonte: Elaboração própria, 2017

O biogás pode ser gerado a partir de inúmeros substratos, sendo os resíduos sólidos urbanos, resíduos de estação de efluentes de esgoto, resíduos agrosilvopastoris e resíduos da indústria de alimentos, as matérias-primas mais comumente utilizadas. Os fatores-chave

para a escolha e a classificação dos substratos para a digestão anaeróbia com produção de biogás se baseiam em características como origem, sazonalidade e característica do material digerido. A escolha da matéria-prima para geração de biogás também pode ser influenciada pelas possibilidades de uso ou disposição final do material digerido (PROBIOGÁS, 2015, p.14).

Além disso, os substratos podem ser obtidos a partir de diferentes setores da economia, podendo significar a diversificação de atividades produtivas em alguns setores que concentram escala considerável de resíduos (sucroenergético, por exemplo) ou a cooperação entre unidades produtoras, empresas, ou setores, para assim permitir escala e viabilidade técnico-financeira para implantação de plantas de biogás, podendo constituir, quando isso ocorre, uma interação multi-regime (Raven, 2007).

A partir da definição dos substratos, a tecnologia para geração do biogás é escolhida. Uma unidade produtora de biogás pode ser um sistema simples, em escala residencial ou localizado em uma pequena unidade agrícola, baseado em um pequeno biodigestor que gera o biogás bruto, posteriormente utilizado para geração térmica ou eletricidade para consumo local. Pode ser um sistema de maior escala, que recebe diferentes substratos⁷², de diferentes locais, e produz biogás para poder gerar e comercializar eletricidade ou, após sua purificação, biometano.

De acordo com o Probiogás (2015), das diferentes possibilidades tecnológicas para produção de biogás no país, a tecnologia de produção ainda mais difundida é o sistema de lagoas cobertas. Assim como no tratamento de esgoto doméstico, há grande experiência no país no tratamento de efluentes da agropecuária e da indústria de alimentos com lagoas anaeróbias cobertas de simples construção, para os quais há inúmeros fornecedores comerciais no mercado.

No entanto, o Probiogás (2015) afirma que as lagoas cobertas difundidas no país já não correspondem ao estado da arte da tecnologia e existem ofertantes internacionais (principalmente europeus) de tecnologias mais avançadas para serem utilizadas em plantas de maior escala. É interessante notar aqui, que no IV Fórum do Biogás e no seminário

⁷² Resíduos agrosilvopastoris (restos da safra, esterco, biomassa dedicada); indústria de alimentos (cana-de-açúcar, amidos, cervejaria, refrigerantes, laticínios, matadouros); resíduos sólidos urbanos (resíduos orgânicos domésticos e municipais); e esgotos e lodos sanitários.

ocorrido no BNDES⁷³, representantes da Abiogás afirmaram que o Brasil possui condição de produzir e realizar a manutenção de todo maquinário requerido para diferentes plantas de biogás. Inclusive, um representante da ANP afirmou que os itens que impactam consideravelmente o custo e a viabilidade das plantas que refinam o biogás para obtenção de biometano, como o tacógrafo, poderiam ser desenvolvidos pela indústria brasileira caso haja previsibilidade de demanda.

De acordo com relatório do Probiogás (2016), os custos ainda elevados para estruturar e manter os projetos de biogás no Brasil é um dos fatores críticos e que inviabilizam do desenvolvimento da fonte e seu estabelecimento no regime sociotécnico energético. Para plantas de maior escala, que estão começando a se desenvolver no país, ainda é necessária a importação dos equipamentos para produção do biogás e seu refino. Esses equipamentos além de precificados em moedas internacionais são tributados para entrada no Brasil, o que torna o custo ainda maior para os empreendedores. A cadeia produtiva para implantação de plantas de biogás ainda conta com opções limitadas para comparação e escolha de tecnologias; com altos impostos para importação de equipamentos; e elevados custos de manutenção e operação (tecnologias não amplamente conhecidas) (PROBIOGÁS, 2015). Há também necessidade de investimentos para aquisição de conhecimento, para capacitação de profissionais e para cumprimento das exigências de qualidade para a comercialização de seus produtos energéticos e do digestato.

Neste sentido, a utilização de equipamentos nacionais poderia reduzir os custos de investimento em plantas de biogás, assim como o acesso a uma cadeia de suprimento de serviços de manutenção nacional para apoiar a operação da planta. No IV Fórum do Biogás, alguns representantes do setor afirmaram que já há no Brasil produtores capacitados desenvolvendo e utilizando alternativas tecnológicas para produção de biogás, bastando apenas haver demanda e perspectiva futura positiva em relação ao crescimento da fonte para o mercado se estabelecer.

Também no IV Fórum do Biogás, dois agentes do setor, que estão investindo atualmente na fonte (CS Bioenergia localizada em São José dos Pinhais no Paraná que vai gerar eletricidade a partir do biogás obtido da biodigestão de lodo de esgoto e resíduos de

⁷³ Como já referenciado no início do capítulo, os dois eventos ocorreram em 2017. O IV Fórum do Biogás ocorreu nos dias 17 e 18 de outubro em São Paulo e o Seminário “O Potencial do Biogás de Resíduos Agroindustriais: competitividade, benefícios ambientais e políticas públicas” no dia 27 de novembro no Rio de Janeiro.

alimentos; e o projeto de geração de biometano em Tamboara no Paraná a partir de resíduos do setor sucroenergético), afirmaram que o maquinário que está sendo utilizado nas plantas foi importado de países europeus. Como são projetos pioneiros em seus setores, a escolha pela importação se deu com o objetivo de minimizar riscos de falhas operacionais.

Diante disso, é importante que haja uma revisão de tributos que oneram o processo de importação, para permitir que os itens necessários sejam acessados a valores que viabilizem o desenvolvimento da produção do biogás no país. Além disso, segundo colocado por entrevistados, há necessidade de ajustes nas tecnologias de produção do biogás para adaptação à realidade brasileira e para que haja redução de custos por MW instalado e do m³ do biometano tornando viável a implementação de projetos no país.

No entanto, a questão apontada como a mais crítica se refere ao acesso a financiamento. De acordo com a maioria dos entrevistados e com atores presentes no IV Fórum do Biogás e no seminário organizado pelo BNDES, essa dificuldade se coloca como um dos maiores obstáculos para o desenvolvimento da fonte no país na atualidade.

De acordo com o PNBB proposto pela Abiogás (2015, p. 52), os projetos de biogás e biometano “sofrem o ônus da inovação e são punidos com condições desfavoráveis quando comparados a outros projetos de infraestrutura”. Principalmente projetos de porte menor, que acabam não conseguindo cumprir as condicionantes para acesso às linhas de crédito existentes. O PNBB indica que não há necessidade de criação de novas linhas de financiamento, mas apenas que projetos do setor de biogás passassem a ser enquadrados em linhas já existentes, como Fundo Clima, Saneamento para Todos e FINEP Inovação, por exemplo. Segundo o documento estas linhas de financiamento são hoje inacessíveis ao biogás, seja pela escala financeira exigida, pelo não atendimento do escopo, ou pela não possibilidade de atendimento das garantias exigidas (ABIOGÁS, 2015, p. 52).

Neste sentido, é importante frisar que há hoje no país linhas de financiamento que contemplam a produção de biogás e a geração de energia a partir dele. A grande questão tem sido a dificuldade em acessá-las. Na Tabela 19 são elencados alguns mecanismos de financiamento existentes no Brasil a partir de um levantamento realizado durante a pesquisa de tese. Todos eles consideram de alguma forma o biogás e poderiam acelerar do desenvolvimento da fonte.

Tabela 19: Linhas de crédito que contemplam o biogás e a geração de energia a partir dele

Instituição	Atuação	Nome	Público alvo	Referência ao biogás	Valor financiável	Taxa de juros
BNDES	Nacional	programa ABC	setor agropecuário e em produtores rurais (pessoa física ou jurídica) e cooperativas	Financia a implantação, manutenção e melhoramento de sistemas de tratamento de dejetos e resíduos oriundos de produção animal para geração de energia e compostagem.	R\$ 2,2 milhões por cliente por ano agrícola	7,5% a.a.
BNDES	Nacional	INOVAGRO	setor agropecuário e em produtores rurais (pessoa física ou jurídica) e cooperativas	Financia a implantação de sistemas para geração e distribuição de energia alternativa à eletricidade convencional, para consumo próprio, como a energia eólica, solar e de biomassa.	R\$ 1,1 milhão por cliente ou R\$ 3,3 milhões em caso de empreendimento coletivo	6,5% a.a.
BNDES	Nacional	PRODECOOP	produtores rurais, pessoas físicas e jurídicas, cooperativas, associações e federações	Financia a implantação de sistemas para geração e cogeração de energia e linhas de ligação, para consumo próprio como parte integrante de um projeto de agroindústria.	Até R\$ 150 milhões por cooperativa	a partir de 8,5% a.a
BNDES	Nacional	Fundo Clima	estados, municípios e Distrito Federal; entidades da administração pública indireta federal, estadual e municipal; empresas e produtores rurais	Financiar o desenvolvimento tecnológico de energia solar, eólica, hidráulica, biomassa e dos oceanos; e projetos de energia de geração elétrica ou conversão energética a partir do uso de biomassa, incluindo a produção e utilização de biogás para fins energéticos, excetuando-se a incineração de resíduos sólidos urbanos e a co-geração a partir do bagaço da cana de açúcar.	valor mínimo de R\$ 3 milhão	variam de acordo com o porte da instituição
BNDES	Nacional	PRONAF ECO	agricultores e produtores rurais familiares (pessoas físicas)	Financia a utilização de tecnologias de energia renovável e outras tecnologias ambientais, como estações de tratamento de dejetos e efluentes.	165 mil reais por ano agrícola	a partir de 2,5% ao ano
BRDE	Regional	BRDE Energia	Pessoa jurídica	Financia produção de energia renovável, principalmente usinas eólicas, usinas solares, pequenas centrais hidrelétricas, e usinas de biomassa.	R\$ 30 milhões	-
Desenvolve São Paulo	Regional	-	Pessoa jurídica	Financia a substituição ou adaptação de equipamentos movidos a GLP por biogás; instalação de biodigestores para tratamento de resíduos que realizem o aproveitamento energético. Geração de energia elétrica ou térmica com biogás de aterro.	R\$ 30 milhões	0,53% a.m. + IPCA
BANDES	Regional	FUNDES Economia Verde	Pessoa jurídica	projetos e investimentos em infraestrutura social e ambiental; e para equipamentos de controle das emissões atmosféricas.	até R\$ 1 milhão	13,75% a.a.
Banco do Nordeste	Regional	-	Pessoa jurídica	Financia o tratamento de resíduos sólidos (inclusive para produção de energia).	até R\$ 30 milhões	entre 8,5% a.a. e 11,5% a.a
Banco do Brasil	Linha específica para oeste do Paraná	Programa Agro Energia	Pessoa jurídica	Financia a produção de energia a partir da biomassa.	Serão alocados R\$ 1 bilhão de reais na região	-

Fonte: Elaboração própria, 2017

Duas linhas de financiamento mencionadas na tabela acima podem ter um papel importante no desenvolvimento futuro de projetos a biogás. A linha do Banco do Brasil, lançada em maio de 2017, que aloca um bilhão de reais para projetos localizados no oeste do Paraná, poderá dinamizar o setor na região. O Programa Agro Energia foi lançado após o Banco do Brasil identificar a existência de um setor produtivo de biogás na região e o objetivo é beneficiar os produtores rurais locais que poderão acessar o financiamento (CIBiogás, 2017). O crédito deverá ser usado para a instalação dos biodigestores, compra dos geradores e integração da propriedade agrícola à rede elétrica.

Segundo reportagem sobre o lançamento da linha de crédito, a sua criação teve origem em uma demanda levantada pela Câmara Técnica de Energias Renováveis do Programa Oeste em Desenvolvimento, onde chegou-se a conclusão que o principal gargalo para a produção de biogás nas propriedades rurais era a falta de acesso a financiamento para tocar os projetos. Diante disso, o CIBiogás iniciou uma série de articulações com o Banco

do Brasil para criar a possibilidade de ampliar o financiamento e encarar projetos de biogás como um negócio a ser financiado (ITAIPU, 2017). Segundo dados do CIBiogás, a região Oeste do Paraná tem um enorme potencial na área de agroenergia. Só na suinocultura, há mais de dois mil produtores com potencial de criação de usinas geradoras de energia elétrica a partir da biomassa. O retorno do produtor, caso ele faça uma unidade geradora com recursos próprios, é da ordem de 18%. Se a criação do empreendimento for subsidiada por financiamentos como o do Banco do Brasil, o retorno sobe para 24% e o tempo de recuperação do investimento cai de cinco para três anos (CIBIOGÁS, 2017).

A segunda linha se refere a uma ação também recente da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), que estabeleceu, em junho de 2017, como diretriz e como prioridade a aplicação dos recursos do Banco do Nordeste para estimular a implementação de projetos de tratamento de resíduos sólidos (inclusive para produção de energia), podendo assim significar o aumento de investimentos em projetos de biogás na região já a partir do próximo ano. É importante ressaltar que o Nordeste possui, de acordo com a EPE (2017), apenas duas plantas de biogás localizadas em Salvador e que produzem 17 mil Nm³/dia de biogás.

Diante das informações acima apresentadas, conclui-se haver linhas de crédito que contemplam o financiamento de projetos a biogás, porém, na prática, o acesso às linhas de crédito, não tem ocorrido. Segundo a ABIOGÁS aponta no PNBB (2015, p.52), as linhas existentes hoje são inacessíveis para projetos de biogás e biometano, seja pela garantia exigida por elas, seja pela incompatibilidade de escopo entre o que as linhas financiam e o que propõem os projetos.

Outra questão se refere ao modelo mais utilizado por empreendimentos de novas renováveis para captação de financiamento, que se refere ao Project Finance, onde sociedade por ações são constituídas com o propósito específico de implementar o projeto financiado, de forma a delimitar os fluxos de caixa, patrimônio e riscos do projeto (BNDES, 2017). Ele se refere a uma modalidade de estruturação financeira para a realização de projetos de grande porte, onde a principal fonte de receita para o pagamento do serviço da dívida de seu financiamento vem do fluxo de caixa gerado pela sua própria operação. Um dos entrevistados para a tese, afirmou que há dificuldade de estruturação de projetos à biogás nos moldes do Project Finance e muitas vezes as garantias solicitadas não se aplicam para o caso do biogás.

Recentemente, no IV Fórum do Biogás, representantes do BNDES e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) participaram como palestrantes, porém não apresentaram linhas específicas que poderiam contemplar a fonte. O BNDES enfocou sua apresentação no setor sucroenergético e no seu potencial de geração de biogás, informando que o setor já é fortemente financiado pelo banco e que a instituição aguarda novos pleitos de financiamento para a produção de biogás no setor. No entanto, muitas empresas do setor se encontram em situação financeira instável, dificultando também o acesso ao financiamento disponível no banco.

Além disso, tanto o BNDES quanto a FINEP reforçaram que as mudanças recentes por conta do maior controle orçamentário nas contas públicas, impactaram negativamente algumas linhas e crédito. No caso da FINEP, por exemplo, as linhas não reembolsáveis não estão sendo praticamente operadas. A sugestão mencionada por representantes do nicho do biogás durante o evento foi a criação de uma linha de estímulo a inovação, que contemplasse a fonte e suas especificidades.

Em resumo, segundo um dos entrevistados afirmou, o maior desafio para o setor de biogás não se refere à tecnologia em si, mas sim à estruturação de modelos de negócio que muitas vezes envolvem estruturas horizontais, com diferentes atores, diferentes tecnologias e diferentes produtos (calor, eletricidade, biocombustível e fertilizante). Para exemplificar a diversidade de plantas de biogás, a Figura 64 apresenta diferentes configurações que geram eletricidade.

			
<u>Microgeração (< 75kW)</u>	<u>Minigeração (75 kW – 5 MW)</u>	<u>Grande escala (> 5 MW)</u>	<u>Mega escala (> 20 MW)</u>
<u>Pequenos produtores rurais</u>	<u>Médios produtores e resíduos de saneamento urbano e rural</u>	<u>Agroindústria e saneamento urbano</u>	<u>Agroindústria, saneamento urbano, plantações energéticas</u>
<u>Autoconsumo</u>	<u>Autoconsumo, mercado livre ou venda de biometano</u>	<u>Mercado livre e venda de biometano</u>	<u>Mercado livre e venda de biometano</u>

Figura 64: Demonstração da diversidade de plantas de biogás (eletricidade)

Fonte: Abiogás, 2017

Ainda para ilustrar essa pluralidade, a Abiogás (2017) demonstra alguns arranjos produtivos possíveis para produção de biogás. A Figura 65 apresenta as cadeias de produção

do biogás e/ou biometano a partir do setor de saneamento, da suinocultura e do setor sucroenergético, todas utilizando biodigestores e podendo gerar eletricidade ou biometano.

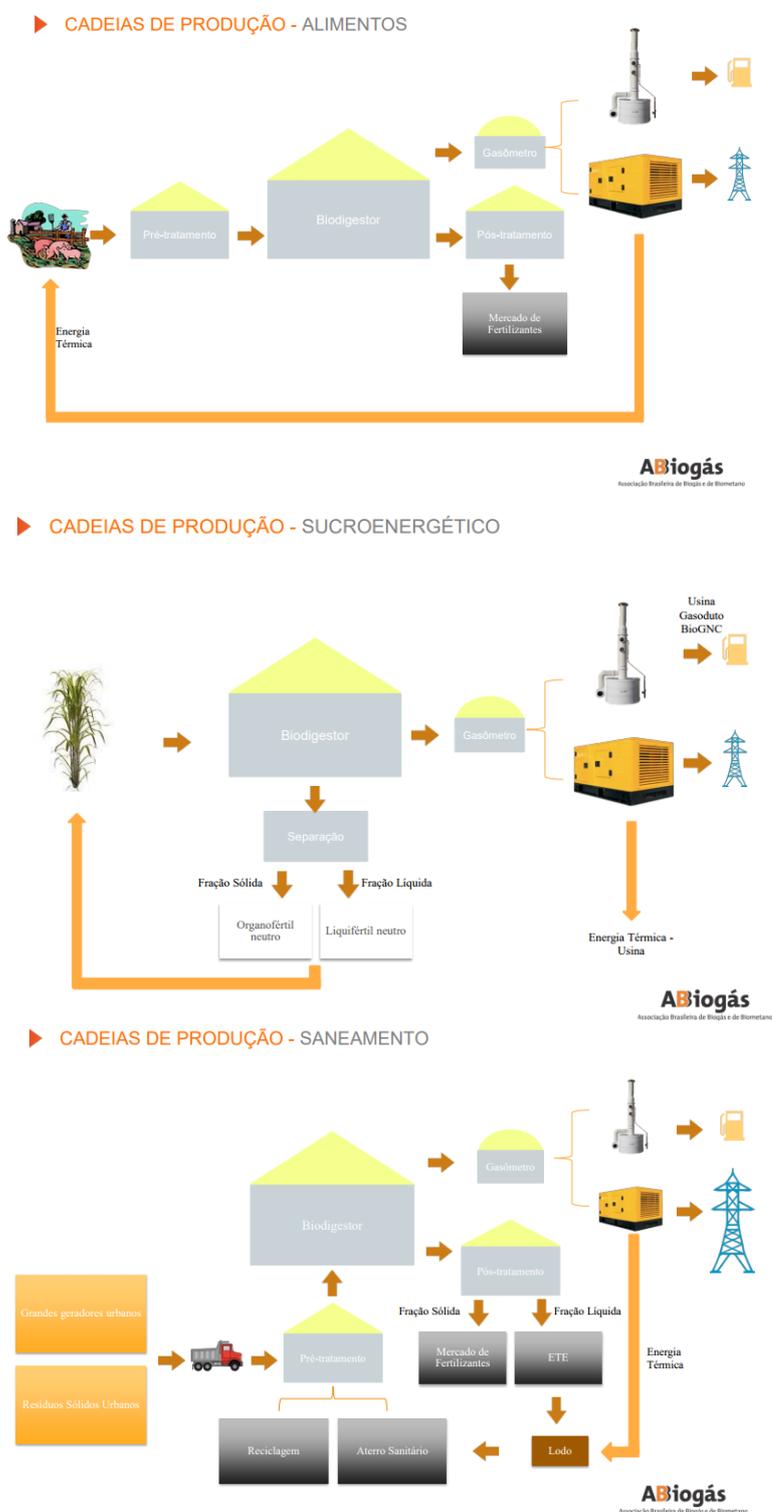


Figura 65: Exemplos de cadeias de produção de biogás
Fonte: Abiogás, 2017

Por conta da diversidade de projetos que podem ser estruturados para produção de biogás no país, é relevante que haja uma estrutura de apoio técnico e institucional para

apoiar empreendedores na superação de questões técnicas e burocráticas. O trabalho que o CIBiogás realiza no Paraná é um exemplo de trabalho relevante neste sentido. É importante mencionar também o trabalho realizado pela GIZ, que gerou amplo conhecimento e debate sobre a fonte dentro do regime energético e do regime de saneamento a partir do projeto do Probiogás. Esses dois agentes podem ser considerados atores relevantes para o estabelecimento de um setor produtivo do biogás no Brasil.

Alguns atores do nicho do biogás apontaram durante as entrevistas, o que o representante do CIBiogás confirmou no seminário realizado no BNDES, que a estruturação de uma cadeia produtiva associada ao estabelecimento de um setor que explore o potencial a partir de resíduos no país, poderia contribuir para gerar encadeamentos em outros setores e dinamização socioeconômica em regiões com grande potencial de produção. Outro ponto levantado pelo representante do CIBiogás em relação à produção do biogás, se refere à necessidade de cooperação entre diferentes atores, especialmente em plantas no contexto rural, e que diferentes arranjos produtivos deverão ser estruturados nos próximos anos com a expectativa de consolidação de um mercado para os ativos energéticos advindos do biogás.

Um ponto levantado por entrevistados e por representantes do setor sucroenergético no seminário ocorrido no BNDES, que impacta negativamente na estruturação de projetos a biogás no país, se refere a não previsibilidade de demanda, citando o caso dos leilões de energia elétrica, que se fossem realizados com periodicidade definida e sempre contemplando térmicas a biogás, poderiam estimular a estruturação de projetos produtivos. Segundo o Probiogás (2015, p.9), “o mercado incipiente do biogás e dos outros subprodutos da biodigestão dificulta ainda mais a viabilização dos projetos, já que não garante receitas equivalentes e coerentes aos investimentos demandados”. Alguns entrevistados apontaram que uma garantia de demanda poderia ser dada via leilões de energia específicos para a fonte com o objetivo de dar segurança à investidores para investir tempo e recurso na estruturação de projetos a biogás. O fato do país ainda não ter grandes projetos que utilizam o biogás como ativo energético (além dos projetos que captam o biogás de aterros) operando e demonstrando sua viabilidade e sucesso, também gera insegurança e incerteza aos investidores.

Com a entrada em breve de projetos como o da UTE Bonfim (20MW) e da CSBioenergia (2,8 MW que será posteriormente ampliado), caso eles apresentem sucesso, poderá dar uma sinalização positiva e estimulante para alavancar a estruturação de um setor e cadeia produtiva do biogás no Brasil.

Além disso, ainda há muito desconhecimento sobre o biogás e todas as possibilidades associadas ao seu uso. Assim com há necessidade de ampliar o conhecimento sobre questões técnicas relevantes para sua produção. A dificuldade de acesso à informações técnicas, comerciais e legais pode ser considerada um desafio importante para disseminação do uso da tecnologia. Neste sentido, é importante citar o esforço que alguns governos estaduais vêm realizando, especificamente Santa Catarina que se dedicou em 2017 a estruturar o marco legal do estado em relação especificamente ao biogás. Essa e outras iniciativas serão abordadas no elemento que se refere à análise das instituições ainda neste capítulo.

No tópico seguinte será explorada a questão do abastecimento do mercado com os ativos energéticos produzidos a partir do biogás.

5.3.1.2 Infraestrutura de abastecimento

Este tópico objetiva apontar como o sistema sociotécnico energético se configura hoje para suportar o biogás como ativo energético e os desafios infraestruturais para fazer os produtos gerados a partir do uso do biogás chegar ao demandante e serem utilizados. Mais uma vez, por conta da diversidade da fonte, diferentes possibilidades podem ser colocadas em prática.

Eletricidade

No que se refere ao abastecimento do mercado com os ativos energéticos gerados a partir do biogás, cada um deles possui suas especificidades técnicas e regulatórias. Em relação ao biogás utilizado para geração de energia elétrica, ele não apresenta necessidade de escoamento se utilizado no mesmo local onde é produzido, sendo apenas introduzido em uma unidade termelétrica para geração da eletricidade. No caso de exportá-lo para outra localidade, para que seu uso ocorra em local diferente de sua planta produtora, ainda há dificuldades para a realização do transporte do mesmo, que poderia, por exemplo, ser feito por dutos específicos para isso. Como a demanda pelo biogás bruto não é configurada como algo identificado como relevante, pois a produção e consumo de eletricidade geralmente ocorre na própria planta, ainda não há mapeado na literatura brasileira material que trata a questão. Apenas ao conversar com alguns entrevistados, foi identificado que ainda há barreiras logísticas e regulatórias para se realizar o deslocamento do biogás bruto entre diferentes localidades impedindo assim este tipo de comercialização que já poderia ser realizada em alguns locais, principalmente no ambiente rural que vem produzindo

majoritariamente energia térmica e eletricidade e apresenta potencial para escoar o excedente produzido.

A escala de produção de plantas de biogás em atividades rurais em sua maioria gira em torno de 5MW. No caso da exportação dessa eletricidade para a rede, quando se opta pelo sistema de compensação dentro da GD, as unidades produtoras de biogás necessitam estar próximas às redes de distribuição e subestações para que o excedente possa ser enviado para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Além disso, também é necessário estar próximo dessa infraestrutura quando se pretende vender para distribuidoras. Diante disso, estar próximo às redes de distribuição e transmissão, quando a eletricidade não é produzida apenas para autoconsumo, é fator relevante e competitivo para possibilitar o escoamento do excedente gerado. Conforme citado por um entrevistado, algumas unidades rurais de cultura animal, que possuem potencial para gerar eletricidade a partir do biogás e comercializá-lo, deixam de fazer por não ter infraestrutura de escoamento para mesma.

Biometano

No que se refere ao biometano, ele pode ser escoado via gasodutos existentes, quando a planta se localiza nas proximidades de algum deles ou via gasoduto virtual, quando é transportado, como gás comprimido, via caminhão feixe. A Figura 66 apresenta a malha de gasoduto brasileira atual, que apesar de ter crescido significativamente nos últimos 20 anos, com a entrada em operação do Gasbol e do Gasene (Sudeste-Nordeste), ainda é ínfima, quando comparada com outros países, atingindo 9.409 quilômetros de extensão em 2016 (MME, 2016).

crescente de gás natural no país e de atraso da produção nacional de petróleo e gás natural que é apontada pela EPE (2017) no documento de consulta pública do PDE 2026,

Diante disso, e com a expectativa de crescimento da demanda por gás natural que deverá ser maior que a oferta em 2023 (EPE, 2017), o biometano poderá ganhar cada vez mais relevância como energético substituto ou complementar, principalmente preenchendo espaços não acessados atualmente via gasoduto no país.

Já há no Brasil uma demanda por gás natural veicular e que poderia representar uma oportunidade de escoamento do biometano a partir da infraestrutura existente. Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2017), de uma frota total de mais de 97 milhões de veículos, há atualmente no país mais de dois milhões de veículos que podem ser abastecidos com gás natural veicular, conforme demonstra a Tabela 20. Especificamente em relação ao metano, há 4.573 veículos movidos a partir deste combustível, sendo a maior concentração deles no estado de São Paulo, conforme apresenta a Tabela 21. Do total de veículos que podem utilizar o GNV, a maior frota se concentra no estado do Rio de Janeiro, onde também há o maior número de postos de abastecimento. O Rio de Janeiro apresenta uma frota quase quatro vezes maior do que a segunda maior frota que é do Estado de São Paulo. A Tabela 22 apresenta o número de veículos que podem ser abastecidos a GNV por estado do Brasil, o que poderia justificar estímulos à geração do biometano nas localidades onde já há estrutura de abastecimento da frota.

Tabela 20: Carros que podem ser movidos a Gás Natural Veicular no Brasil

Tipo de combustível	Qtd. De Veículos
ALCOOL/GAS NATURAL COMBUSTIVEL	2.390
ALCOOL/GAS NATURAL VEICULAR	93.588
DIESEL/GAS NATURAL COMBUSTIVEL	33
DIESEL/GAS NATURAL VEICULAR	45
GAS NATURAL VEICULAR	226
GASOL/GAS NATURAL COMBUSTIVEL	10.806
GASOLINA/ALCOOL/GAS NATURAL	683.043
GASOLINA/GAS NATURAL VEICULAR	1.216.790
Total	2.006.921

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do DENATRAN (2017)

Tabela 21: Carros movidos a metano no Brasil

Estado	Qtd. de Veículos
AMAZONAS	8
BAHIA	36
CEARA	25
DISTRITO FEDERAL	1
ESPIRITO SANTO	19
GOIAS	18
MARANHAO	2
MATO GROSSO	6
MATO GROSSO DO SUL	6
MINAS GERAIS	26
PARAIBA	23
PARANA	79
PERNAMBUCO	61
PIAUI	4
RIO DE JANEIRO	232
RIO GRANDE DO NORTE	65
RIO GRANDE DO SUL	76
RONDONIA	1
RORAIMA	1
SANTA CATARINA	28
SAO PAULO	3786
Sem Informação	39
SERGIPE	24
TOCANTINS	7
Total	4573

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do DENATRAM (2017)

Tabela 22: Veículos que podem ser movidos a GNV no Brasil por Estado

Estado	Qtd. De Veiculos
ACRE	23
ALAGOAS	19.008
AMAPA	11
AMAZONAS	2.100
BAHIA	49.913
CEARA	41.260
DISTRITO FEDERAL	1.621
ESPIRITO SANTO	35.385
GOIAS	4.488
MARANHAO	257
MATO GROSSO	1.727
MATO GROSSO DO SUL	5.383
MINAS GERAIS	32.134
PARA	335
PARAIBA	22.406
PARANA	37.241
PERNAMBUCO	47.244
PIAUI	697
RIO DE JANEIRO	1.195.564
RIO GRANDE DO NORTE	47.926
RIO GRANDE DO SUL	63.620
RONDONIA	84
RORAIMA	47
SANTA CATARINA	91.849
SAO PAULO	284.949
Sem Informação	36
SERGIPE	21.181
TOCANTINS	432
Total Geral	2.006.921

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do DENATRAM (2017)

Em relação aos postos para abastecimento das frotas automotivas, que poderiam ser abastecidas com biometano, segundo pesquisa realizada em site da ANP em outubro de 2017, há no país 2.771 postos que ofertam o gás natural veicular atualmente, sendo que os

estados do Rio de Janeiro e São Paulo concentram mais de 40% deles, conforme a Tabela 23 apresenta abaixo. São Paulo, por exemplo, pelo grande potencial de utilização do biogás para geração de energia a partir de resíduos do setor sucroenergético, poderia estimular o biometano já contando com a estrutura para uso do biocombustível existente. A existência de postos em todas as 27 unidades da federação demonstra a demanda pelo gás natural já instituída, que poderia ser suprida localmente pelo biometano. Inclusive, a primeira planta produtora de biometano, a Ecometano, no estado do Rio de Janeiro, está fornecendo o biocombustível via caminhão feixe para postos do estado.

Tabela 23: Postos de abastecimento que ofertam gás natural veicular por UF

UF	Postos que ofertam GNV	%
AC	5	0,2%
AL	42	1,5%
AM	19	0,7%
AP	1	0,0%
BA	119	4,3%
CE	93	3,4%
DF	8	0,3%
ES	57	2,1%
GO	71	2,6%
MA	42	1,5%
MG	185	6,7%
MS	31	1,1%
MT	38	1,4%
PA	36	1,3%
PB	53	1,9%
PE	114	4,1%
PI	31	1,1%
PR	117	4,2%
RJ	589	21,3%
RN	103	3,7%
RO	21	0,8%
RR	7	0,3%
RS	185	6,7%
SC	211	7,6%
SE	38	1,4%
SP	538	19,4%
TO	17	0,6%
Total	2771	100%

Fonte: Elaboração própria a partir ANP, 2017

Os primeiros postos com a opção do GNV na cidade do Rio de Janeiro foram instituídos em 2004, na zona sul da cidade (CORREIO DO BRASIL, 2004). Esses fatos indicam que já há estrutura logística e perspectiva de demanda para o biometano na cidade, que já é produzido no Aterro de Gramacho, e em breve no Aterro de Seropédica começará a ser produzido. Além disso, no estado do Rio de Janeiro, especificamente em São Pedro da Aldeia, está localizada a primeira planta de biometano, conforme mencionado anteriormente ao longo do texto, também proveniente de gás de aterro, que obteve autorização da ANP para comercialização e injeção em gasoduto, por meio do despacho n° 1084 da ANP emitido em setembro de 2017, que permitiu a comercialização do biometano oriundo de biogás de aterro (1° planta a receber a autorização no país). A Ecometano, responsável pela planta de biometano do Aterro Dois Arcos, optou por não injetar no gasoduto da distribuidora e está comercializando diretamente com postos de gasolina via caminhão feixe.

De qualquer forma, como demonstrado acima, já há estrutura de abastecimento, ainda concentrada na região sudeste, majoritariamente no Rio de Janeiro e São Paulo, para suportar uma oferta inicial do biometano que pode despontar por conta dos avanços no ambiente regulatório recentemente, que já permite sua distribuição e comercialização.

Além disso, por conta dos aumentos no preço da gasolina no último ano, muitos proprietários de veículos leves têm optado por instalar o kit de gás veicular. Segundo notícias sobre o caso do Rio de Janeiro, o número de conversões de carros para o GNV no Estado do Rio de Janeiro ultrapassou a marca de 11 mil veículos nos três primeiros meses de 2017, um aumento de 10% em relação ao mesmo período de 2016 e as vendas do combustível subiram 12,5% no estado, de acordo com a Companhia de Gás do Estado (CEG) (EXTRA, 2017). Por conta da crise que o país enfrenta, muitos motoristas acabam buscando alternativas menos custosas para o abastecimento dos veículos e a estrutura de abastecimento que atende hoje o gás natural veicular poderia ser utilizada para captar a oferta do biometano.

Um fato interessante e pouco divulgado entre a população é que a CEG, no caso do Rio de Janeiro, possui um programa que facilita, através de parcelamento na própria conta de gás do cliente em até 24 vezes, a instalação de kit gás veicular. Apesar de o investimento na compra e na instalação do kit-gás não ser pequeno, pois varia de R\$ 3 mil a R\$ 5.500 em média, a economia com o uso do combustível compensa. Segundo a companhia, a queda na despesa que o motorista tem ao abastecer com GNV, em vez de gasolina, é de cerca de 61,9%. Quando comparado ao etanol, o gás representa um custo 68,4% menor. Na

comparação com a opção flex, ora abastecendo com gasolina, ora com etanol, a economia é de 66%. Segundo a distribuidora o kit mais moderno promove atualmente economia de 64% no gasto com combustível na comparação com os valores médios dos combustíveis, de acordo com dados da ANP, considerando R\$ 50,00 em abastecimento no mês de janeiro de 2017 na cidade do Rio de Janeiro, e no rendimento de quilômetros rodados na cidade por unidade de combustível, segundo dados médios de mercado. Outra vantagem na conversão do veículo é o abatimento no valor do IPVA. Especificamente no Estado do Rio, a alíquota para carros movidos a GNV é de 1,5%, contra 4% para automóveis flex (CEG, 2017).

O modelo mais moderno comercializado atualmente é o Kit GNV de 5ª geração, que segundo a distribuidora CEG não danifica o motor, uma vez que a quantidade de gás injetada nos cilindros é calculada por uma central eletrônica que sempre proporciona a medida certa de gás a ser utilizada; mantém a potência do veículo; é mais seguro: pois segue rigorosos processos de segurança, passando por duas vistorias anuais e um teste de cilindro a cada cinco anos; e apresenta maior flexibilidade, pois já existem opções de instalação além da mala do automóvel.

No entanto, nas outras regiões, principalmente que não estão próximas aos gasodutos, a questão do abastecimento precisará ser melhor estruturada para atender um crescimento da oferta de biometano. O Paraná, por exemplo, apesar de ter estímulo dado pelo governo para que a frota de veículos a GNV entre taxistas aumente, ainda tem como dificuldade a sua rede de abastecimento. Em 2016, foi o terceiro ano em que o governo liberou recursos para conversão dos taxis para o uso do gás natural (GNV) ou compra de novo veículo por meio do Banco Empreendedor, banco de Fomento do Paraná. No entanto, a maioria do recurso foi alocada na renovação da frota, pois os taxistas consideram o uso do gás GNV menos atrativo. Em Londrina, por exemplo, tem apenas em torno de dez carros rodando com GNV, um posto com gás natural e o preço não é competitivo deixando os motoristas inseguros para investir no uso do combustível (ABEGAS, 2016).

Como mencionado no seminário ocorrido no BNDES, a perspectiva de uso do biometano no país, pelo fato do maior potencial para produção do biogás estar no setor agrosilvopastoril, se concentra em frotas de tratores e outros maquinários utilizados na área rural. Isso poderia gerar, além de economia de custo, pois hoje o diesel é o combustível majoritariamente utilizado para abastecimento da frota do setor rural, considerável redução

de emissão de GEE e outros poluentes. Um representante da empresa New Holland⁷⁴, palestrante no evento, afirmou que já existe um mercado consolidado na Europa para tratores a gás e que não há ainda oferta para o Brasil por não ter perspectiva de demanda. Segundo ele, a tecnologia já está muito avançada e os tratores a biometano já apresentam performance superior aos tratores a diesel em diversos aspectos. A única questão que eles precisam avançar se refere à autonomia dos veículos, que hoje gira em torno de seis horas e que precisa ser incrementada, para melhor atender a demanda, para minimamente dez horas. Segundo informações da Abegás (2017),

sobre o trator a biometano da New Holland, o combustível do trator é armazenado dentro de tanques usando uma estrutura tubular composta em camadas que configura uma estrutura de armazenamento elegante e instalada na frente do trator e em cada lado da máquina. O novo trator é fácil de ser abastecido e possui o mesmo manejo e tempo do abastecimento a diesel. O trator é capaz de completar todas as tarefas de um equivalente a diesel.

De acordo com representante da New Holland presente no seminário realizado pelo BNDES, após a experiência europeia no uso do trator, eles afirmam que ele promove 80% de redução de emissão de GEE e 30% de economia no gasto com combustível. Desde 2016, o trator está sendo testado no Brasil em duas unidades agrícolas no Paraná. A Tabela 24 demonstra o desempenho do trator a biometano em relação ao trator a diesel. Eles são iguais em todos os aspectos e o movido a biometano ainda apresenta um custo operacional inferior.

Tabela 24: Desempenho do trator a biometano comparado ao do trator a diesel

Trator biometano versus diesel	
Potência 180 hp	igual
Torque 740 Nm	igual
Durabilidade	igual
Custo operacional	30% inferior

Fonte: Apresentação New Holland, 2017

A imagem abaixo apresenta a versão mais atual do trator movido a biometano comercializado pela New Holland na Europa. Ainda de acordo com o representante da empresa, para que ela pudesse começar a ofertar o veículo no país a demanda mínima deveria ser de 300 a 350 unidades de tratores por ano. Ele informou que ainda não existe perspectiva de ele ser produzido no Brasil, o que poderia tornar seu preço não competitivo no mercado brasileiro em um primeiro momento. Sobre o investimento realizado pela

⁷⁴ A New Holland é um dos principais fabricantes globais de maquinário agrícola. (<https://construction.newholland.com/lar/pt/Pages/Sobre-Nos.aspx>)

companhia para desenvolvimento e melhoria do trator, ele afirmou que já foram gastos mais de 20 milhões de dólares desde 2013.

Imagem 8: Trator movido a biometano da New Holland



Fonte: CNH Industrial, 2017

No mesmo fórum, o representante da empresa Raízen, primeira térmica a biogás vencedora de um leilão de energia no país no ano de 2016, conforme já apresentado, afirmou que a escolha da geração de eletricidade a partir da planta e não de biometano, foi devido a não existência de oferta de tratores e maquinários no mercado nacional que pudessem garantir o bom desempenho a partir do biometano. Isto demonstra claramente a falta de articulação entre diferentes setores que se relacionam com o biogás e como isto é um gargalo que precisa ser superado. Sobre este ponto, um dos atores presentes no seminário do BNDES ressaltou a importância do evento para colocar agentes de diferentes regimes reunidos alinhando expectativas, dúvidas e conhecimento sobre o biogás.

Uma iniciativa recente e importante para desmistificar as limitações que muitos associam ao carro a GNV e consequentemente ao carro abastecido por biometano, foi a realização de uma viagem de Montenegro no Rio Grande do Sul até Montevidéu no Uruguai por um veículo movido a biometano e abastecido na usina do Consórcio Verde Brasil (parceria entre a Ecocitrus e a Naturovos). Os 853,8 quilômetros que separam Montenegro da capital uruguaia foram percorridos por um Ford Ka que usou apenas dois cilindros de gás natural (36 m³). Realizada no fim de janeiro de 2017 por dois representantes da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador, a viagem foi intitulada de “Desafio Montenegro-Montevidéu” e foi realizada com patrocínio da Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (Sulgás). A aventura teve como marco inicial a usina de biogás do Consórcio Verde

Brasil de onde no dia 30 de janeiro o Ford Ka utilizado foi abastecido com biometano, o chamado “GNVerde”. A capacidade oficial dos cilindros de gás adaptados ao veículo em questão era de 34 m³, mas para garantir que o veículo não precisasse ser reabastecido até a capital uruguaia os pesquisadores resfriaram artificialmente com gelo os recipientes a 10°C e com isso foi possível aumentar para 36 m³ o volume de gás armazenado.

O veículo fez uma média de 23,7 quilômetros por metro cúbico de biometano e a viagem foi realizada sem reabastecimento, demonstrando grande autonomia e bom rendimento. Se o combustível tivesse sido pago, a viagem teria custado menos de 100 reais até chegar a Montevideu, o que revela não apenas o ganho ecológico do produto, mas também a economia ao bolso do consumidor. Em relação à gasolina, o rendimento do gás produzido em Montenegro foi 30% maior. Se o carro utilizado na viagem fosse à gasolina, cujo consumo é de 13 km/litro, o gasto na viagem seria de R\$ 262,00, ou seja, quase três vezes mais que o GNVerde. Na volta, como não há GNV no Uruguai, o combustível utilizado foi o etanol, também de fonte renovável. A Imagem 9 apresenta o veículo que realizou o trajeto (ECOCITRUS, 2017).

Imagem 9: Automóvel que realizou a viagem de Montenegro à Montevideu



Fonte: ECOCITRUS, 2017

Digestato

Um último ponto também relevante e, segundo diversos entrevistados e agentes relacionados ao setor, que pode alavancar a viabilidade financeira de plantas biodigestoras,

se refere ao digestato. Os resíduos líquidos e sólidos do processo de digestão anaeróbia têm um alto valor nutricional e podem ser utilizados como fertilizantes. Segundo representante do Departamento de Engenharia Química do BNDES relatou no seminário promovido pela instituição, foi finalizado recentemente um estudo com o objetivo de avaliar o potencial de mercado de fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio (resíduos de cana, suínos e aves) no Brasil. De acordo com o estudo, o digestato gerado tem potencial de disponibilização de macronutrientes na ordem de 14% do consumo nacional e se essa quantidade de nutrientes fosse direcionada ao mercado, estima-se o potencial de geração de 1,1 bilhão de dólares anuais. O representante do banco ressaltou que hoje importamos 85% dos nutrientes que são usados no agronegócio brasileiro.

O biofertilizante pode ser utilizado em fazendas e demais empreendimentos agrícolas, tanto em cultivos alimentares quanto paisagísticos, ou ser comercializado. É possível efetuar a venda do produto na forma líquida ou sólida (FIEP, 2016). Diante disso, é relevante que se desenvolvam alternativas logísticas para distribuição do digestato produzido em plantas digestoras, que nem sempre possuem demanda local para ele. A otimização de seu transporte é hoje um desafio. Na planta da Ecocitrus visitada no Rio Grande do Sul há pesquisas em desenvolvimento para tornar o digestato o mais sólido possível, não impactando em sua qualidade, para que assim o custo logístico associado ao seu transporte seja minimizado.

Em resumo, a logística de escoamento dos produtos produzidos a partir do biogás precisa ainda ser estruturada e desenvolvida no país, mas já há possibilidade de escoamento de uma oferta inicial. Para um representante do CIBiogás presente no seminário realizado pelo BNDES, o desafio maior no setor de biogás não está relacionado à sua produção, mas se refere a logística e a comercialização. Segundo ele, esses elementos são os pontos disruptivos para permitir que a tecnologia efetivamente deixe de ser algo ainda pontual e ganhe escala e mercado. No tópico seguinte, dentro do arcabouço que se refere às instituições, irão ser abordados alguns pontos relacionados à comercialização dos produtos produzidos a partir do biogás no país.

Vale ressaltar aqui, a partir da opinião dos entrevistados para a tese, que a produção não se refere como fator mais crítico para nenhuma das rotas tecnológicas do biogás, mas sim a logística de distribuição e a comercialização. Segundo já mencionado, a tecnologia associada à produção e uso do biogás não é considerada o fator mais crítico para seu

desenvolvimento no país, mas sim a estruturação de mecanismos para garantir a demanda e escoamento dos produtos gerados a partir dele.

5.3.2 Instituições

Assim como a infraestrutura e os artefatos são relevantes em um sistema sociotécnico, as instituições também têm papel de destaque. Mudanças em regras, cultura, valores e crenças são fundamentais para permitir a difusão de novas tecnologias, como é o caso do biogás. Cada um dos critérios a seguir será avaliado de acordo com o escopo definido na Tabela 25.

Tabela 25: Abordagem de cada critério analisado dentro do elemento instituições

Instituições
Mecanismos de comercialização
Desafios para comercialização da eletricidade ou biometano.
Políticas e regulações
Apresentação das diferentes políticas e regulações que se referem ao biogás.
Simbolismo cultural
Desafios socioculturais (instituições informais: valores e normas culturais e expectativas compartilhadas) para permitir o avanço da produção e uso do biogás para geração de eletricidade ou biometano.

Fonte: Elaboração própria

5.3.2.1 Mecanismos de comercialização

Em relação à utilização do biogás, a grande maioria dos respondentes apontou que seu melhor uso seria para geração de eletricidade de forma distribuída e, após seu refino, como biometano substituindo o GNV para uso veicular. Alguns respondentes, no entanto, ressaltaram ser importante explorar suas diversas possibilidades de uso, pois como o Brasil apresenta distintas realidades, vários modelos são possíveis e precisam se adaptar à demanda de cada contexto. De qualquer forma, foi ressaltado o fato de ainda haver entraves para a utilização do biogás no país, principalmente para sua comercialização, tanto no que tange a eletricidade quanto para seu uso como combustível veicular.

Antes de iniciar a análise das especificidades de cada um dos energéticos no que se relaciona a suas respectivas formas de comercialização, uma alternativa para o biogás poder concorrer com fontes fósseis, sem necessitar dos mesmos subsídios recebidos por elas,

poderia ser a partir da valoração de suas externalidades positivas e incorporação em seu preço. Isso foi citado por representante da União da Indústria de Cana de Açúcar (ÚNICA) e do Ministério de Relações Exteriores (MRE) no seminário promovido pelo BNDES. Se essa análise fosse feita para todas as fontes de energia e impactasse os seus respectivos preços, o biogás poderia concorrer com fontes já estabelecidas, principalmente fósseis, sem precisar de mecanismos para estruturação de mercado para seus produtos energéticos.

De acordo com relatório do FMI (2015, p. 6), os subsídios energéticos são geralmente estabelecidos a partir da falha de se conseguir incorporar na precificação das fontes o custo dos impactos ambientais gerados por cada uma delas. Se isso efetivamente ocorresse, os produtos energéticos produzidos a partir do biogás poderiam se tornar mais competitivos frente às fontes fósseis, por exemplo.

De qualquer forma, o mercado de biogás no Brasil ainda não está estruturado e é necessário que inúmeros desafios sejam superados para que ele se estabeleça. Como ressaltado no item anterior deste capítulo, apesar do potencial considerável do biogás, sua participação na matriz energética ainda é ínfima no Brasil. Segundo palestrante da EPE (2017) afirmou no seminário do BNDES, no que tange a geração de eletricidade, a oferta interna de biogás totalizou 137 mil tep em 2016, representando 0,05% da oferta de eletricidade no país. Um ponto importante a ressaltar em relação à oferta interna de biogás no Brasil, como já abordado, é que 95% dela é proveniente de gás de aterro, onde não há tecnologia aplicada para produção de biogás, apenas sua captação.

De acordo com relatório do Probiogás (2016), os altos custos para estruturar e manter os projetos no Brasil e o mercado incipiente para sua comercialização são os principais fatores que promovem a inviabilização dos investimentos em plantas biodigestoras. Diante disso, serão abordadas questões relacionadas à comercialização dos produtos energéticos produzidos a partir do biogás para compreender como o sistema sociotécnico energético vem avançando para contemplar a fonte e no que precisa ainda avançar.

Eletricidade

No que se refere à eletricidade gerada a partir do biogás, atualmente as seguintes opções para sua comercialização se apresentam: Ambiente de Contratação Livre (ACL), Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e geração distribuída, podendo se beneficiar do

sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), mecanismo já explicado neste trabalho.

É importante levar em consideração os tipos diferentes de biogás e suas especificidades frente às exigências e expectativas de cada tipo de comercialização. Há diferença entre o biogás produzido em biodigestores do biogás de aterros e pontos críticos precisam ser considerados para suas respectivas comercializações ocorrerem, principalmente no ambiente regulado, por meio dos leilões de energia.

No que tange ao biogás de biodigestores os pontos de extrema relevância para contratos de longo prazo de energia elétrica se referem ao suprimento de substratos; a limitação de estoque do biogás; o prazo de fornecimento de energia; a garantia da continuidade da atividade produtora do resíduo (garantia que a planta será permanentemente abastecida); o fornecimento de estimativa confiável da disponibilidade mensal de geração de energia elétrica; a previsibilidade da disponibilidade de recurso para geração de energia; e a disponibilidade energética conforme sazonalidade da disponibilidade dos substratos.

No caso de gás de aterro, os pontos críticos para comercialização de eletricidade no longo prazo seriam a garantia no acesso aos resíduos; o prazo de fornecimento de energia; a curva de produção estimada do aterro que informa o tempo de operação e sua vida útil; a estimativa da disponibilidade mensal de geração de energia elétrica, a previsibilidade do recurso para geração de energia; e a quantidade, composição química e poder calorífico do gás de aterro gerado.

Basicamente, todos os pontos acima elencados precisam ser considerados para garantir a segurança energética do sistema elétrico durante todo o contrato de fornecimento de eletricidade.

Como abordado no item sobre a infraestrutura produtiva, os modelos de negócio do biogás são bastante diversos e apresentam variadas escalas e a eletricidade gerada, dependendo da quantidade e outras especificidades, pode ser comercializada de acordo com as opções apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26: Modalidades de comercialização de eletricidade gerada a partir do biogás

Modalidades de comercialização de eletricidade gerada a partir do biogás:
Ambiente de Comercialização Livre – ACL
Ambiente de Comercialização Regulada – ACR
Geração Distribuída – GD
Micro e minigeração distribuída (“Sistema de Compensação de Energia”)

Fonte: Elaboração própria, 2017

Em relação a plantas de maior escala (acima de 5MW), que ainda não representam uma realidade instituída no país (que só possui unidades de maior escala que utilizam o gás de aterro para gerar eletricidade) as oportunidades de comercialização se referem ao ACL ou ACR.

No que se refere ao mercado livre, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a comercialização de energia no ACL é realizada mediante operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes concessionários, permissionários, autorizados e detentores de registro de geração, comercializadores, importadores/exportadores de energia elétrica e consumidores livres ou especiais, que atendam às condições previstas na regulamentação. Todo contrato negociado no ACL tem suas condições de atendimento, preço e demais cláusulas de contratação livremente negociadas entre as partes e são denominados Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) (CCEE, 2017, p.3). No ACL há livre contratação entre geradores de energia e comercializadores, consumidores livres ou especiais. O preço é definido de acordo com a demanda e oferta e isso se apresenta como um grande desafio para geradores de biogás, que ainda não possuem possibilidade de competir frente aos preços praticados por fontes já instituídas. Um ponto a favor da comercialização no mercado livre das novas energias renováveis é a possibilidade de obtenção de descontos nas tarifas de distribuição e transmissão.

No ACL, empreendimentos que produzem energia elétrica a partir do biogás (além de outras formas de biomassa, solar, eólica e PCH) podem comercializar a energia gerada com consumidores especiais (com carga entre 500 e 3000 kW) com redução das tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição (TUST e TUSD) de pelo menos 50%, por conta do benefício concedido pela Lei nº 10.438 de 2002. Outro estímulo à comercialização do biogás no ACL se deu por meio da Resolução Normativa da ANEEL nº 271 de 2007, que estabeleceu os procedimentos vinculados à redução de 100% das tarifas de uso dos sistemas

elétricos de transmissão e de distribuição (TUST e TUSD, respectivamente), para empreendimentos que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) 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. Diante disso, esses benefícios fiscais se tornam estímulos para comercialização do biogás.

Em relação ao ambiente de contratação regulada, a comercialização se dá por meio dos leilões de energia elétrica.

Os leilões são a principal forma de contratação de energia no Brasil e por meio desse mecanismo, concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Quem realiza os leilões de energia elétrica é a CCEE, por delegação da Aneel (CCEE, 2017).

No ambiente regulado, as possibilidades de comercialização são resumidas na Figura 67 que apresenta as modalidades de leilão, contratos e as formas de remuneração.

Modalidades	A-5	A-3	Fontes Alternativas	Reserva
Contratos	Bilaterais com distribuidoras 15 a 30 anos		Bilaterais com distribuidoras 10 a 30 anos	Com CCEE Até 35 anos
Início de suprimento	5º ano A partir do leilão	3º ano A partir do leilão	1º a 5º ano A partir do leilão	1º a 3º ano A partir do leilão
Origem da Demanda	Distribuidoras			Governo
Remuneração	<ul style="list-style-type: none"> • Receita fixa reajustada anualmente pelo IPCA • Receita variável (termelétricas despachadas) reajustada conforme preços dos combustíveis 			

Figura 67: Características do ambiente de contratação regulado
Fonte: Apresentação EPE, 2017

Projetos que utilizam o biogás para geração de eletricidade foram cadastrados de forma pontual nos leilões de energia do ACR. De acordo com a EPE, desde 2013 foram cadastrados 14 projetos a biogás em leilões (EPE, 2017), sendo que o Leilão de Energia de Reserva de 2014 apresentou o maior número de projetos cadastrados. Dos sete projetos a biogás cadastrados, cinco eram projetos que utilizavam como insumo energético o biogás de aterro e dois utilizavam biogás produzido a partir da biodigestão de resíduos vegetais.

A Portaria MME n° 236/2014, que regia o Leilão de Reserva, definiu que seria negociada energia elétrica, diferenciada por fontes, com início de suprimento para 1° de outubro de 2017 e prazo de suprimento de vinte anos,

para empreendimentos de geração que utilizem como combustível principal biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto (MME, 2014).

No entanto, apesar da especificação da tipologia do biogás pela primeira vez em uma portaria de leilão de energia, apenas um projeto foi habilitado para concorrer no leilão, mas não conseguiu comercializar.

Dentre os principais desafios para a não comercialização de empreendimentos neste leilão de 2014, pelo fato da maioria dos empreendimentos à época serem de biogás de aterro, a questão referente ao prazo contratual foi a mais crítica. O contrato do leilão seria de 20 anos e não necessariamente este seria o mesmo prazo que o empreendedor já tinha definido para utilização do gás do aterro. Outra questão, também contratual, se referia ao fato dos contratos dos aterros sanitários não conterem previsão de aproveitamento energético do biogás e também apresentarem dificuldade de comprovar todos os vínculos, desde a concessão do aterro até o aproveitamento energético, gerando insegurança jurídica ao processo de contratação. Outra questão crítica para habilitação de empreendimentos para participar de leilões de energia, se refere à apresentação de estudos de combustível. Os projetos em questão não demonstravam oferta suficiente de biogás para geração da quantidade declarada de energia.

É importante ressaltar que em 2006, em um dos primeiros leilões de energia, foi contratado um empreendimento que utilizava biogás para geração de eletricidade. A Tabela 27 abaixo apresenta o empreendimento vencedor de 2006 e, dez anos depois, em 2016, outro empreendimento foi também comercializado utilizando o biogás, mas a partir da biodigestão de resíduos do setor sucroenergético e sendo considerado para o mercado do biogás, de acordo com o que foi apontado por diferentes atores no IV Fórum do Biogás e no seminário realizado pelo BNDES, um marco para o setor. A Tabela 27 foi retirada de uma apresentação feita pela EPE no III Fórum de Biogás em 2016.

Tabela 27: Contratações até 2017 nos leilões do ACR - biogás

Usinas	Leilão	Potência (MW)	Garantia Física (MWmed)	Energia Contratada (MWmed)	UF	Preço de venda (R\$/MWh)	Início de Suprimento	Duração do Contrato
SÃO JOÃO BIOGÁS	A-3/2006	20.0	19.5	10.0	SP	243.10	01/01/2009	15 anos
BIOGAS BONFIM	A-5/2016	20.9	13.7	7.0	SP	256.49	01/01/2021	25 anos
		40.9	33.2	17.0				

* Preço de venda atualizado para setembro/2016

Fonte: Apresentação EPE, 2016

A Usina Termelétrica Biogás Bonfim, localizada no Estado de São Paulo, utilizando vinhaça e torta de filtro como substratos, comercializou a potência de 20,9MW com garantia firme de 13,7 MWm e com prazo de suprimento de 25 anos no Leilão A-5 de 2016. O preço de venda foi R\$ 251/MW na data de realização do leilão. É importante ressaltar, no entanto, que o preço praticado no leilão não é um valor considerado realista para o setor do biogás, pois no caso específico do empreendimento vencedor, uma empresa consolidada no mercado, a Raízen, é a responsável pelo empreendimento, permitindo assim alavancar a competitividade no leilão, conforme apontado por representantes do regime energético no IV Fórum do Biogás. Segundo discussão ocorrida no mesmo evento, outros empreendedores do setor, sem a mesma trajetória e estrutura financeira por trás, não teriam possibilidade de competir a esse preço e foi comentado no evento, que por decisão estratégica, a Raízen decidiu praticar preços abaixo do ideal para que a planta passasse a servir de piloto e exemplo para outros empreendimentos e assim talvez estimular a estruturação de outros empreendimentos a biogás. Segundo informações passadas por um diretor da Raízen no seminário realizado pelo BNDES, o valor que será investido na planta será de 130 milhões de reais (valores de 2014), ela começará a ser construída em 2018 e produzirá eletricidade, inicialmente em caráter experimental, já em 2019. O objetivo de começar a produzir antes do prazo limite do leilão (2021) é promover uma curva de aprendizado, visto que será o primeiro empreendimento utilizando o biogás para geração de energia elétrica da empresa.

De acordo com a EPE (2017), entre os principais motivos de não habilitação dos projetos a biogás cadastrados nos leilões do ACR, a comprovação de combustível, o licenciamento ambiental e a comprovação do direito de usar ou dispor do terreno, se apresentaram como os principais entraves para a habilitação ocorrer. Aqui um ponto precisa ser ressaltado, que se refere ao licenciamento ambiental de plantas a biogás no país. Os órgãos ambientais precisarão conhecer mais sobre a fonte e suas especificidades para atender uma expectativa por maior demanda de licenciamento de plantas de maior escala.

Apesar do biogás já ter sido contemplado em leilões de energia elétrica, o mercado para fonte através deste instrumento ainda não se consolidou e ajustes e aprimoramentos para que novos projetos possam ser cadastrados, habilitados e saírem vencedores, são ainda necessários. O biogás poderia ter seus atributos técnicos (despachabilidade) e os serviços ambientais prestados a partir do seu uso (redução de GEE) internalizados no preço de seus produtos energéticos, para assim torná-los mais competitivo. Isso foi defendido, além da realização de leilões específicos para a fonte, no IV Fórum do Biogás e no seminário promovido pelo BNDES por diversos agentes do regime sociotécnico energético.

Recentemente, nos dois Leilões de Reserva de Energia de 2017, nas modalidades A-4 e A-6, através da Portaria nº 293 de 4 de agosto de 2017, foram incluídas especificações para termelétricas a biogás. Isso pode ser avaliado como um avanço emblemático no regime energético, mesmo que institucionalmente. Abaixo é reproduzido trecho da portaria que enquadra projetos a biogás como “empreendimentos termelétricos a biomassa em relação ao biogás”,

§ 4o Os empreendimentos de geração que utilizem como combustível principal biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto, serão enquadrados como empreendimentos termelétricos a biomassa em relação ao biogás. (MME, 2017).

Além disso, para dar mais segurança ao processo e melhor direcionamento aos empreendedores durante o período de cadastramento nos leilões, foram realizados aprimoramentos nas Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à Participação nos Leilões de Energia Elétrica, que norteiam os empreendedores que se cadastram para participar de leilões. A partir dos leilões de 2017, especificamente em agosto de 2017, as instruções para empreendimentos termelétricos passaram a especificar diretrizes para térmicas movidas a partir de gás de aterro e biogás de biodigestão. Essas melhorias objetivam minimizar riscos para o contratante e também terão caráter educativo relevante para que novos empreendedores estruturem melhor seus projetos, garantindo assim a segurança energética, e estimulando o aprimoramento dos empreendimentos. No que se refere aos empreendimentos termelétricos que utilizarão biogás produzido via biodigestores:

A disponibilidade do biogás proveniente de biodigestão de resíduos de origem vegetal ou animal, bem como lodos de estação de tratamento de esgoto, deverá ser comprovada tanto por meio da demonstração dos processos utilizados na transformação da matéria prima em biogás quanto por meio da obtenção da matéria-prima. Assim, deverão ser especificados os critérios utilizados para a escolha da biomassa (ou conjunto de biomassas) e sua origem. No caso de

biomassa originária de culturas, o relatório técnico deverá conter os dados de planejamento da produção, incluindo as fases de plantio e colheita, a produção de biomassa a cada colheita, a produção anual de biomassa (em toneladas/ano), disponibilidade e dimensionamento de estoque para a biodigestão. Para outros casos (como, por exemplo, lodo de estação de tratamento), o relatório deverá indicar a capacidade de produção, disponibilidade e estoque de resíduo. Eventuais etapas de pré-processamento ou processos para conservação da biomassa, deverão ser apresentadas detalhadamente. Em relação à planta de biodigestão, deverá ser apresentado um projeto com todos os equipamentos e componentes, bem como memória de cálculo do dimensionamento dessas estruturas ou catálogo do fabricante (caso houver), de forma a atender à produção de biogás e consequente operação contínua da termelétrica à capacidade máxima. Deverão ser especificadas as características do processo de biodigestão e produção do biogás, incluindo o tempo de resposta da planta após alimentação, o tempo de retenção do resíduo no biodigestor, a taxa de produção de biogás, o tratamento do resíduo após o processo de digestão e a capacidade de armazenamento do biogás, caso houver. Também devem ser especificadas as características físico-químicas do biogás, como densidade, poder calorífico inferior – PCI, taxa ou disponibilidade de biogás para a geração de energia (em kg/s) e produção anual de biogás (em toneladas/ano). Caso o agente termelétrico não seja responsável pela produção ou disponibilidade dos insumos ou do próprio biogás, deverá ser apresentado, adicionalmente, o respectivo termo de compromisso ou contrato de compra e venda de combustível nos moldes do item 5.10.1.1, bem como, o Relatório Técnico de Comprovação de Disponibilidade de Combustível de terceiros, demonstrando a disponibilidade total de combustível (EPE, 2017, p.25).

No entanto, nos leilões de 2017 nenhuma térmica a biogás foi cadastrada para participar do certame. Agentes do setor energético, conforme comprovado pelas entrevistas, acreditam que após a entrada em operação e o sucesso da UTE Biogás Bonfim, poderá haver um estímulo para que outros empreendedores invistam em termelétricas de grande porte movidas a biogás e participem dos leilões de energia.

Segundo representantes do setor sucroenergético apontaram durante o seminário realizado pelo BNDES e já abordado no item sobre infraestrutura produtiva, há necessidade de maior previsibilidade sobre a ocorrência dos leilões e uma política de preço diferenciado para empreendimentos a biogás ou a garantia de que os preços não irão variar consideravelmente entre um leilão e outro. Ele exemplificou que a UTE Biogás Bonfim fechou seu preço de venda a R\$251/MW em 2016 e atualmente os valores de térmicas a biomassa nos leilões correntes estão estimados a números superiores a R\$350/MW reforçando o caráter de imprevisibilidade relativa a preço que afugenta investidores. A demanda é que haja políticas específicas para o biogás ou leilões específicos para fonte, pelo menos até a cadeia produtiva e o setor de biogás se estruturar no país.

Após essa contextualização de projetos a biogás de grande porte gerando eletricidade, é importante analisar a forma de comercialização da geração de eletricidade a partir do biogás de forma descentralizada, que, como já abordado, a maioria dos

entrevistados apontou como melhor alternativa para a fonte. Provavelmente, assim como Ferraz (2017) defende que vem ocorrendo com a energia solar e eólica no país, que vêm se desenvolvendo de forma majoritariamente centralizada, por conta de barreiras regulatórias existentes para seu desenvolvimento de forma descentralizada, o mesmo pode se apresentar como um desafio para o biogás. Diante disso, serão abordados a seguir desafios para a comercialização descentralizada de unidades produtoras de eletricidade a partir do biogás no país.

Por ser um energético versátil, o biogás, como já apontado, poder ser produzido a partir de diferentes arranjos produtivos. Por conta disso, um ponto importante que precisa ser estimulado é a possibilidade de ele ser gerado de forma descentralizada, com projetos pulverizados ao longo do país, conforme foi defendido como uma grande vantagem da fonte pelo representante da EPE no seminário realizado no BNDES. Dessa forma, permitir o desenvolvimento do setor a partir de projetos menores e descentralizados é muito importante e, como o representante do CIBiogás defendeu no mesmo evento, pode ser fator de maior dinamização econômica em algumas regiões do país, principalmente explorando a possibilidade de cooperação entre diferentes atores.

Em relação aos projetos de geração de eletricidade movidos a biogás no país, a maior parte deles ainda gera a energia para autoconsumo de forma descentralizada sem estarem conectados à rede e são de pequena escala. No que tange às unidades conectadas à rede, dentro do contexto da resolução da ANEEL, que regula a geração distribuída, há atualmente 57 unidades produtoras de energia elétrica enviando o excedente para a rede (outubro 2017), por meio do sistema de compensação, a partir de unidades termelétricas movidas a biogás. A maioria das unidades está localizada em Minas Gerais, o que pode ser devido ao fato do alto valor de tarifa de eletricidade no Estado. A tabela Tabela 28 apresenta a tarifa de alguns estados brasileiros que já geram eletricidade a partir do biogás. A tarifa utilizada é uma média de todas as classes de consumo e a tarifa do estado de Minas Gerais está sempre acima da média nacional e dos outros estados.

Tabela 28: Tarifas por distribuidora

Tarifas por distribuidoras (R\$/ MWh)			
	2015	2016	2017
CEMIG	429,2	456,63	464,34
CELESC	376,95	408,99	405,08
COPEL	424,12	417,49	392,7
ELETROPAULO	383,07	395,04	386,23
LIGHT	410,86	491,63	466,91
MÉDIA NACIONAL	395,04	419,14	412,04

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL, 2017

Segundo uma apresentação realizada pela EPE em fevereiro de 2017, a partir de dados da ANEEL (2016), o crescimento da utilização do biogás por meio do sistema de compensação foi expressivo a partir de 2015, conforme demonstra a Figura 68. Isto pode estar associado às mudanças na regulação que rege o sistema de compensação de eletricidade via geração distribuída, que entre outras coisas, aumentou o limite superior, que antes era 1MW, para 5 MW.

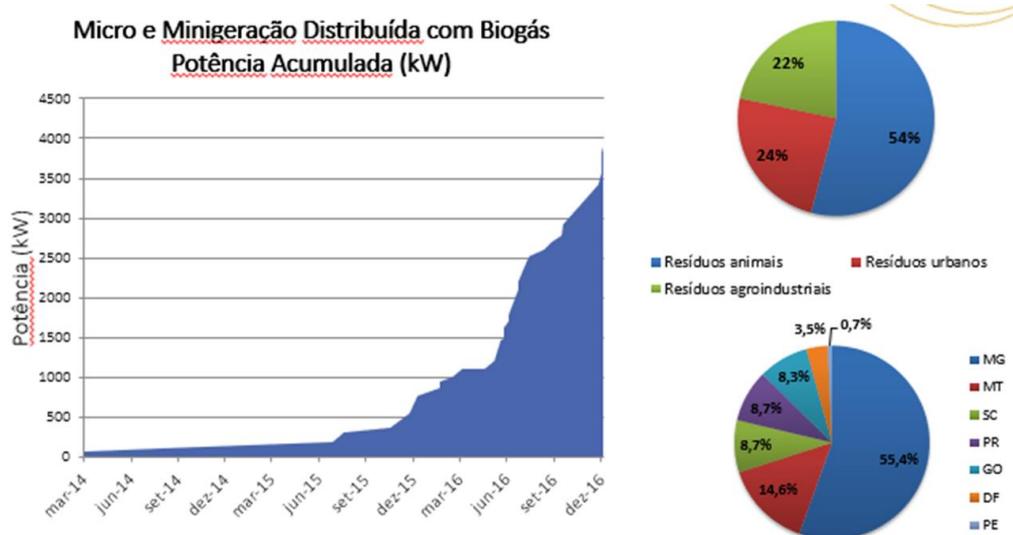


Figura 68: Micro e minigeração distribuída a partir do biogás no net metering
Fonte: Apresentação EPE, 2017 (a partir de ANEEL, 2016)

As tabelas a seguir apresentam outras informações sobre as unidades consumidoras com GD que utilizam o biogás como recurso energético para geração de eletricidade. Os resíduos mais utilizados para geração de biogás via GD são os advindos da criação animal e da agroindústria. A justificativa deve ser a escala dos resíduos gerados para tornar viável o investimento na tecnologia biodigestora e no gerador de eletricidade. Além disso, essas unidades produtivas geralmente demandam altos níveis de energia térmica e eletricidade

para consumo próprio e a conexão a rede permite o escoamento do excedente. Como dito anteriormente, Minas Gerais se destaca com a produção de mais de 4 MW de eletricidade via GD a partir do biogás.

Tabela 29: Quantidade e potência por tipo de substrato utilizado em unidades consumidoras com GD

Fonte	Qtde UC	Potência (kW)
Biogás - Floresta	2	99
Biogás - Resíduos animais	35	4239,94
Biogás - Resíduos sólidos urbanos	7	1573,38
Biogás- Agroindústria	13	1402,26

Fonte: ANEEL, 2017

Tabela 30: Unidades consumidoras com GD a biogás por estado

UF	Qtde	Potência (kW)
DF	1	138
GO	4	612,12
MG	35	4734,66
MT	2	567,5
PE	1	28,38
PR	8	798
SC	4	337,92
SP	1	74
TO	1	24

Fonte: ANEEL, 2017

Em relação ao avanço de unidades produtoras de eletricidade a partir de biogás em GD, um dos pontos que impactam negativamente sua evolução se refere à cobrança do ICMS. O Convênio ICMS nº16 de 2015 autoriza os Estados, por decisão própria, a conceder isenção do tributo 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 Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. No entanto, o convênio não acompanhou a atualização promovida pela REN 687/2015 da ANEEL, que aumentou para 5MW o limite superior para unidades produtoras de eletricidade via GD, mantendo o limite de 1MW para isenção do tributo. Além disso, a isenção do tributo não é automática, precisando ser ratificada por cada estado da unidade da federação. Diante disso, muitos produtores rurais, por exemplo, conforme informou um entrevistado, que poderiam se mobilizar em cooperativa para adquirir um gerador e instalar um biodigestor, acabam

ficando no aguardo de mudança em relação a não aplicação do tributo assim como ter o limite superior elevado em coerência com as atualizações promovidas pela REN 687/2015.

Por meio também da GD há a possibilidade de contratação direta com base em edital da concessionária de distribuição, específico para compra de energia a partir de fonte de geração distribuída. O biogás se apresenta como opção possível para geração distribuída a partir de Geração por Pequenas Centrais Termelétricas (PCT) e Centrais Energéticas de fontes Alternativas e Renováveis (CEAR), conforme apresentado no Plano Nacional de Energia (PNE 2030).

Por conta do Decreto nº 5.163/2004 distribuidoras podem atender até 10% de sua carga através de projetos de geração distribuída e o repasse dos custos de aquisição de geração distribuída às tarifas finais dos consumidores é limitado pelo Valor de Referência (VR). Para o ano de 2017 e 2018 esses valores foram de R\$ 103,44/MWh e R\$ 141,93/MWh, respectivamente (Despachos ANEEL 1.118/2015 e 230/2016). No entanto, em 2015, houve mudança com o estabelecimento da Lei nº 13.203/2015, que instituiu o Valor Anual de Referência Específico (VRES), que é um valor diferenciado que considera condições técnicas e a fonte de geração distribuída. O repasse dos custos ficou limitado até o maior valor entre o VR e o VRES. O VRES é calculado pela EPE e aprovado pelo MME. De acordo com a Portaria MME nº 538/2015, definiu-se R\$ 329/MWh para o VRES da cogeração a gás natural e R\$ 454/MWh para o VRES fotovoltaico. Com a criação do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD) objetivou-se ampliar a geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis e cogeração. Até o momento de finalização desta tese (novembro de 2017), o mercado aguardava a publicação do VRES do biogás pelo MME calculado pela EPE.

Com a perspectiva de mudança no contexto do setor elétrico para o futuro, com a busca de redução das perdas elétricas, aumento da geração de energia próxima da carga, atendimento a áreas remotas com baixa densidade de carga, substituição parcial da energia consumida das distribuidoras, redução dos riscos operacionais e de fornecimento de energia elétrica e diversificação da matriz energética com fontes de baixo impacto ambiental, o biogás pode se tornar cada vez mais atrativo tanto para o ambiente regulado quanto para o livre. De acordo com apresentação realizada pela EPE em 2017, em cada uma das possibilidades de comercialização do biogás para geração de eletricidade, encontram-se oportunidades e desafios, como resume a Tabela 31 abaixo.

Tabela 31: Oportunidades e desafios para comercialização da eletricidade gerada a partir do biogás

	Oportunidades	Desafios
ACR	Contratos de longo prazo Financiamento Ganhos de escala Baixo risco de inadimplência	Requisitos de habilitação Comprovação do combustível Competição com outras fontes Compromissos e penalidades Demanda das distribuidoras
ACL	Flexibilidade de contratação Autoprodução Consumidores especiais	Financiabilidade Contratos mais curtos Competitividade
GD	Maior flexibilidade para as distribuidoras Possibilidade de ter VRES compatível Até 10% do mercado cativo	Queda da demanda (sobrecontratação) Adesão das distribuidoras
Micro/Mini	Arranjos flexíveis Reduzida burocracia (concessionárias estão melhorando) Pequena escala (investimentos mais acessíveis)	Não envolve comercialização Financiabilidade Vantagem depende da tarifa da concessionária

Fonte: Apresentação EPE, 2017

Diante das informações acima apresentadas, relacionadas ao mercado para eletricidade gerada a partir do biogás, torna-se mais clara a necessidade da fonte continuar sendo divulgada buscando assim sua legitimação entre o setor público e o setor privado. Segundo a EPE, o PROBIOGÁS foi um bom instrumento para isso (EPE, 2017). A maior divulgação da fonte pode facilitar, por exemplo, o acesso ao financiamento e despertar o interesse de grandes grupos do regime incumbente a investir no biogás. A partir disso, poderá haver maior pressão para que aprimoramentos ocorram nos instrumentos de comercialização que contemplam a fonte.

Os empreendedores de plantas de maior escala que buscam comercializar no ACR, por exemplo, precisam consolidar modelos de negócios e melhor estruturar os projetos apresentados. Ao mesmo tempo, o setor público precisa continuar se capacitando em relação à fonte, buscando compreender suas especificidades, e, conseqüentemente, aperfeiçoando ou alterando normas e regras existentes que ainda não tenham incorporado a fonte.

As distribuidoras têm papel relevante na consolidação de um mercado para o biogás, pois poderiam garantir a compra do excedente de eletricidade gerado a partir do biogás de plantas descentralizadas. A não definição, até o momento, do VRES da fonte se apresenta, por exemplo, como um entrave para consolidação de um mercado para comercialização do biogás por meio de plantas de menor escala, que é a realidade da fonte no país atualmente.

Outra questão crítica, que afeta plantas de maior e menor escala, são as possibilidades de financiamento, que foram abordadas no item de infraestrutura produtiva e se coloca como relevante para toda a cadeia do biogás.

Biometano

No que se refere ao biometano e ao seu uso como substituto ao gás natural e as possibilidades de criação de um mercado para ele, algumas barreiras regulatórias foram superadas recentemente e, por isso, os agentes do setor se mostram otimistas em relação ao biocombustível, conforme apontado nas entrevistas e nos dois eventos recentes sobre a fonte.

Como mencionado anteriormente no texto, em setembro de 2017 a ANP concedeu a primeira aprovação de controle de qualidade para biometano de aterro sanitário, o equiparando ao gás natural, e permitindo assim que ele passasse a ser comercializado via gasodutos ou caminhões feixe. Em apresentação no IV Fórum do Biogás, a Ecometano, empresa que recebeu essa aprovação da ANP, informou que não irá fornecer o gás renovável para rede da distribuidora do Rio de Janeiro por conta de não ter se estabelecido entre as partes um preço considerado justo para a compra do gás renovável gerado pela empresa. Segundo o representante da empresa, a distribuidora de gás natural, apesar da legislação estadual que a obriga a comprar um percentual de gás renovável quando há oferta do mesmo, ofertou um valor abaixo do valor pago pelo gás natural, mesmo o biometano ofertado apresentando especificações referentes a sua qualidade superiores as do gás natural de acordo com os padrões exigidos pela ANP (e sem considerar suas externalidades positivas). De qualquer forma, a empresa já está comercializando o biocombustível via caminhão feixe em postos de gasolina do estado.

Atualmente, a legislação do Estado do Rio de Janeiro exige que as concessionárias de distribuição de gás canalizado sejam obrigadas a adquirir, de forma compulsória, todo o Gás Natural Renovável (GNR) ofertado no Estado até 10% do total ofertado pela distribuidora. Isso seria um instrumento garantidor de mercado para o biometano, porém ainda não foi colocado em prática até o momento por conta de o preço do biocombustível não ter sido estabelecido de forma satisfatória para o fornecedor. O Estado de São Paulo também informou no IV Fórum do Biogás, que está em período de aprovação final e definição de percentuais de sua política para uso do biometano no estado, que irá obrigar a injeção de um percentual de biometano ao gás natural. A perspectiva do estabelecimento desta política, conforme representantes do setor sucroenergético afirmaram no mesmo

fórum, tem estimulado o interesse sobre a produção do biocombustível entre empresários do setor sucroalcooleiro. As políticas estaduais existentes ou que estão sendo formuladas serão apresentadas no tópico que analisa questões institucionais, que são de extrema relevância para criação e ampliação de mercado para o biometano.

Outra possibilidade, por meio da ação das distribuidoras, seria a realização de chamadas públicas (*public procurement*), que daria previsibilidade para ofertar o biometano frente à garantia de demanda durante um prazo específico. A Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (SULGÁS) realizou uma chamada pública em 2015, que acabou dando vazão. Segundo o edital, a infraestrutura de distribuição de biometano seria construída pela Sulgás para possibilitar a conexão da usina de biometano produzido pela proponente à rede da Sulgás ou à unidade de compressão (SULGÁS, 2015). A Sulgás publicou, no início de 2017, um edital para convocar interessados em participar de reuniões informativas relativas à nova chamada pública que terá novamente o objetivo de selecionar propostas para aquisição de biometano. Provavelmente, por conta da primeira experiência em 2015, a companhia optou por realizar reuniões com os potenciais fornecedores de biometano para lançar um edital de contratação mais coerente com as especificidades da fonte. Uma das empresas visitadas para esta tese, a Ecocitrus, localizada em Montenegro no Rio Grande do Sul e produtora de biometano ainda em caráter de pesquisa e desenvolvimento à época da visita, investiu na ampliação de suas unidades biodigestoras, para poder concorrer quando for publicado o edital da Sulgás. Essa perspectiva de contratação, segundo o representante da empresa entrevistado, foi fator importante na decisão dos cooperados em investir na ampliação da capacidade de produção de biogás e seu refino.

Dessa forma, instrumentos como chamadas públicas para contratação se mostram importantes para a formação de mercado para o biometano no Brasil e geram segurança para que o setor privado invista na produção do biogás. Essa expectativa e a garantia da demanda poderia ser um forte alavancador do mercado de biometano promovendo a disseminação de conhecimento sobre a fonte e rompendo barreiras culturais, que muitas vezes impedem o desenvolvimento da demanda para posterior comercialização. A Figura 69 apresenta as companhias distribuidoras de gás natural por estado brasileiro, comprovando o enorme potencial que há para escoamento a partir de demanda que poderia ser iniciada por elas, caso políticas bem estruturadas e planejadas de obrigatoriedade e chamadas públicas fossem colocadas em prática, numa busca, por exemplo, pela descarbonização das economias locais.



Figura 69: Concessionárias de distribuição de gás natural no Brasil
Fonte: Abegas, 2017

Para finalizar, é importante ressaltar que há inúmeros desafios a serem superados para o biogás ganhar mercado e poder ser comercializado. Seja sua forma bruta, o biogás em si, que não tem sua comercialização regulada, pois há barreiras legais e jurídicas que impedem que isso ocorra, até a comercialização das formas de energia que ele gera: calor, eletricidade e combustível substituto do gás natural. Há ainda grande dificuldade na definição dos contratos entre as partes, por exemplo, e desafios tributários a serem enfrentados (tarifas de importação de maquinário, cobrança do ICMS em unidades de GD). No que se relaciona à eletricidade, apesar dos avanços regulatórios para geração de eletricidade distribuída e a recente vitória de uma térmica a biogás em um leilão de energia elétrica, outros mecanismos de comercialização precisam ser pensados para beneficiar a fonte.

Recentemente, sobre a geração de eletricidade a partir do biogás, o vice-presidente da Abiogás, no painel de encerramento do IV Fórum do Biogás, após ter defendido os avanços que o novo marco regulatório está sendo proposto para o setor e a nova política para biocombustíveis (RenovaBio) representarão para o setor do biogás, principalmente para a produção e comercialização do biometano, sugeriu que ainda há necessidade de realização de leilões específicos para a fonte. Ele mencionou que seria interessante a ocorrência desses leilões para que os projetos possam concorrer de igual para igual com fontes fósseis e até,

minimamente, o setor atingir uma escala mínima de geração de energia. Além disso, ele reforçou também a necessidade de preços diferenciados serem praticados para a fonte. Aqui os atributos do biogás e seus serviços ambientais prestados, por exemplo, poderiam ser considerados, mensurados e incorporados ao seu preço de mercado, assim como as externalidades negativas deveriam ser incorporadas às fontes fósseis, o tornando assim mais competitivo.

Também no IV Fórum do Biogás, o representante do Ministério de Minas e Energia, presente em uma das mesas de debate, afirmou que o biogás tem potencial de crescimento na matriz energética brasileira, principalmente, por seus atributos como despachabilidade e flexibilidade locacional, podendo ser gerado e consumido no mesmo local. Eduardo Azevedo afirmou que acredita muito no potencial do biogás. Que ele pode ganhar cada vez mais espaço, mas que seu crescimento não pode depender de subsídios, tema que o atual governo quer minimizar ao máximo de seu portfólio de instrumentos políticos. Ele mencionou que há oportunidades para o biogás ganhar escala, seja utilizando a fonte como bateria de sistemas híbridos de geração de energia renovável (planta solar e eólica) ou no atendimento de sistemas isolados, que hoje são majoritariamente abastecidos com fontes fósseis. Ele sinalizou que deverá sair em breve um edital de contratação para sistemas isolados que buscará estimular a contratação de fontes renováveis. Segundo o representante do Ministério, se o biogás pudesse, por exemplo, ser utilizado em sistemas isolados, ele já poderia começar a aumentar sua competitividade pela escala que estaria garantida.

Apesar do presidente da Abiogás e do Secretário Executivo do Ministério de Minas e Energia terem apresentado bastante otimismo quanto ao fato de que o novo marco regulatório do setor elétrico beneficiará o biogás, por conta de seus atributos como a despachabilidade e flexibilidade locacional, é importante notar que é necessário aguardar como o sistema irá valorar esses atributos para verificar se o biogás terá mesmo condições de competir com outras fontes já estabelecidas.

É interessante notar aqui que a questão de subsídios e suporte para as novas fontes renováveis, que talvez por mal-uso, geram hoje aversão a grupos específicos da sociedade. Se bem desenhados, utilizados e sendo monitorada sua eficácia, por períodos específicos de tempo, talvez possam suportar fontes alternativas e relevantes para uma trajetória de descarbonização energética. Não apenas estes tipos de instrumento, mas é sabido que em qualquer trajetória de transição rumo a um setor energético menos carbono intensivo, é necessário ter um governo atuando e construindo pontes entre os diversos regimes e seus

atores. De acordo com Ferraz (2017) e como foi abordado no marco teórico desta tese no que se refere ao papel do Estado em transições energéticas,

nos países em que a transição energética avança, quem a assegura e a lidera, é o Estado. Ele é figura essencial do processo, responsável por nortear a transição e zelar pela segurança de abastecimento em seu território. É o estado quem define e delimita o “terreno de jogo” aonde as transações irão se passar, além de formular políticas públicas destinadas à eliminação de barreiras à transição energética (FERRAZ, 2017).

Mazzucato (2014, p.18), por exemplo, defende que as tecnologias mais radicais em diferentes setores, da internet à indústria farmacêutica, têm origem no financiamento de um Estado corajoso, disposto a assumir riscos e destaca a importância do financiamento orientado e dos contratos públicos; da reunião de várias agências; da criação de incentivos para vários setores e dos inúmeros instrumentos de financiamento utilizados para que isso aconteça.

No entanto, apesar da relevância de disseminar as novas renováveis, o Brasil parece andar na contramão de compromissos assumidos, como, por exemplo, em relação à questão climática e ao grande desafio atual de saneamento das contas públicas. A Câmara aprovou uma medida provisória (MP 795) que perdoa R\$ 54 bilhões devidos por gigantes do petróleo no Brasil. Se ela entrar em vigor e for sancionada, além de representar um valor considerável que não entrará nos cofres públicos, ainda representará a emissão de considerável montante de GEE, conforme apontado por algumas instituições (UOL, 2017)⁷⁵.

Uma questão bastante crítica em relação ao novo marco legal proposto para o setor elétrico se refere à questão das externalidades ambientais, que deveriam ser mensuradas e consideradas para cada fonte energética. O texto do novo marco do setor elétrico coloca os atributos das fontes como fator que irá promover a competitividade entre elas, pois eles serão, de forma ainda não definida, contabilizados. No entanto, esses atributos são técnicos, não contemplando, por exemplo, as externalidades socioambientais causadas pelas fontes e que poderia, no caso do biogás, aumentar consideravelmente sua competitividade. O biogás ganharia competitividade, por exemplo, se suas externalidades positivas fossem incorporadas de alguma forma a seu preço e aceita pelos agentes. Externalidades como promoção de melhor gestão de resíduos no ambiente urbano e rural e consequente minimização de impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana; além da questão

⁷⁵ <http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2017/12/08/camara-perdoa-r-54-bilhoes-de-petroleiras-diz-lider-de-fiscais-da-receita.htm?cmpid>

da redução da emissão de GEE, tão em voga atualmente, poderiam tornar a difusão da tecnologia viável economicamente. No entanto, não parece que as externalidades serão consideradas a partir da fala de diferentes agentes do setor energético no IV Fórum do Biogás.

Um avanço em relação isso, dentro da proposta do RenovaBio, que será apresentado em tópico posterior deste capítulo, e, como já dito, está sendo visto com bastante otimismo por representantes do setor, é o cálculo da pegada de carbono do ciclo de vida de cada biocombustível que participará do programa que está sendo proposto pelo governo, entre eles o biometano. O programa pretende criar um mercado de certificados associado às emissões de CO₂ e o biometano, por apresentar nas estimativas realizadas até o momento, emissão negativa de CO₂ deverá ser beneficiado por isso. No entanto, o programa ainda não entrou em vigor (aprovado na Câmara dos Deputados no dia 28/11/2017 (PL 9.086/2017) e enviada ao Senado Federal em 30/11/17)⁷⁶ e é necessário cautela e tempo para avaliar a efetividade de suas propostas. Segundo representante do MME que palestrou no seminário do BNDES, a expectativa, caso ele entre em vigor, é que seus instrumentos comecem a operar em 2019.

No IV Fórum do Biogás, representantes da Embrapa, instituição que está realizando o cálculo da pegada de carbono dos biocombustíveis dentro da calculadora denominada Renovacalc, informaram que a mesma não considerará a emissão negativa do biometano, que apenas por retirar do meio ambiente resíduos que gerariam enorme emissão de GEE, já está prestando um considerável serviço ambiental para a sociedade. Sendo assim, o biometano começará seu cálculo zerado, diferente de outros biocombustíveis. O biometano se tornaria ainda mais competitivo se as emissões evitadas por utilizar resíduos em seu processo produtivo fossem consideradas e esse poderia ser um ponto de melhoria da metodologia da calculadora. De qualquer forma, como o presidente da Abiogás enfatizou, pelo fato de ter o biometano inserido dentro do escopo do Renovabio, depois da reivindicação feita pela Abiogás e rapidamente acatada pelo governo, já houve um avanço para a fonte que enviará sinais positivos para o ainda incipiente setor do biogás, especificamente neste caso, do biometano.

Outra oportunidade para alavancar o biogás poderia ser substituindo o uso do diesel em motogeradores, principalmente em horários de ponta, que vem sendo utilizado de forma

⁷⁶ <http://www.valor.com.br/politica/5210611/camara-aprova-pl-que-institui-o-renovabio-faltam-destaques>

crescente por grandes consumidores (EPE, 2015) e, de acordo com um dos entrevistados para tese, não vem sendo dada muita relevância ao fato pelo setor. Apesar de ser de conhecimento do setor a migração de grandes geradores para uso do diesel em horário de ponta, ainda não foram tomadas medidas efetivas para entender melhor a questão e tentar solucioná-la. O diesel poderia ser trocado, por exemplo, pelo biogás se um grande movimento do governo, informacional e de estímulo, fosse feito. Isso poderia ajudar a alavancar o mercado de biogás e reduzir consideravelmente as emissões de GEE e outros poluentes, que simplesmente não são nem consideradas atualmente no que se refere a esta geração a diesel no horário de ponta.

No que se refere ao digestato, subproduto do processo produtivo do biogás e que precisa também ganhar mercado, pois assim pode ajudar a viabilizar economicamente o estabelecimento de sistemas produtivos de biogás. Para legitimar o digestato como uma alternativa mais sustentável que fertilizantes químicos, alguns países estabeleceram certificações que comprovam a qualidade do produto e permitem associar melhor preço em sua comercialização. Talvez o mercado brasileiro ainda não esteja preparado para isso, assim como os produtores do biogás ainda não tenham fôlego financeiro para este tipo de iniciativa. Mas de qualquer forma, é relevante utilizar este produto como mais uma fonte de renda associada ao processo produtivo do biogás. Dependendo da qualidade dos substratos utilizados, o digestato se torna um riquíssimo fertilizante, insumo que é majoritariamente importado por produtores rurais atualmente no país. Além disso, ao substituir fertilizantes minerais, inúmeros benefícios, econômicos e ambientais, poderiam ser gerados, conforme foi apresentado e já mencionado no tópico anterior (estimativa de potencial de mercado de digestato no Brasil é movimentar 1,1 bilhão de dólares anualmente (BNDES, 2017)). Diante disso, o setor precisa se estruturar melhor para apresentar os benefícios do digestato e legitimar seu estabelecimento como um produto e estruturar sua comercialização. No IV Fórum do Biogás, por exemplo, pouco foi falado sobre o digestato, os desafios associados à sua comercialização no Brasil e seus benefícios. Isso poderia ser tema de um fórum específico, com o objetivo de estruturar e alavancar seu mercado e assim aumentar a viabilidade de plantas de produção de biogás, pois entraria como outra fonte de receita.

Como última questão, mas extremamente importante para vários aspectos relacionados ao biogás, proposto durante o IV Fórum do Biogás, por mais de um representante do setor, foi a necessidade de promover de forma crescente a fonte para a sociedade, dando visibilidade ao seu enorme potencial e todos os benefícios de sua

utilização seja na geração de eletricidade, biocombustível ou até mesmo como fertilizante, o subproduto de seu processo produtivo. Esse processo de publicização do biogás precisa acontecer tanto para agentes do regime sociotécnico energético, como para outros regimes sociotécnicos, como o setor de transportes, saneamento, meio ambiente, assim como para setores que precisam ter segurança em relação à fonte para suportar seu desenvolvimento, tais como o setor financeiro e o setor público. Além disso, é importante também que informações sobre o biogás sejam cada vez mais divulgadas para a sociedade em geral, pois em um movimento de descentralização da geração de eletricidade, capitaneada inicialmente pela energia fotovoltaica, o biogás pode também ser uma alternativa importante.

5.3.2.2 Políticas e regulações

De acordo com Bley (2015), o biogás já está inserido nas agendas de todas as instituições brasileiras relacionadas com políticas públicas de energia. O Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a ANP (Agência Nacional de Petróleo), todas estas instituições abordam o biogás em suas publicações de alguma forma ou possuem grupos de trabalho ou regulações que contemplam a fonte. Além das instituições vinculadas ao setor energético, Ministério das Cidades (MCidades) e Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento (MAPA) também já possuem iniciativas relacionadas ao biogás. No entanto, ainda há necessidade de ocorrer maior sinergia entre os diferentes setores que se relacionam com a fonte e do envolvimento, por exemplo, pelo fato do biogás ser um tema transversal, do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI).

A seguir serão apresentados, de forma resumida, o arcabouço legal e regulatório atual que enquadra o uso da fonte no país. Apenas dois enfoques comerciais serão tratados no texto: a geração de energia elétrica e a geração de biocombustível (biometano). Apenas para ilustrar alguns avanços obtidos, que serão abordados a seguir, tanto na esfera federal como estadual, a Figura 70, elaborada pela Abiogás, traz marcos considerados relevantes para o setor ocorridos nos últimos anos.



Figura 70: Ambiente regulatório do biogás e do biometano

Fonte: Abiogás, 2017

5.3.2.2.1 Iniciativas federais

No que se refere às iniciativas federais, além de políticas específicas de fomento a comercialização do biogás, já abordadas no item anterior deste capítulo, será abordada a regulação referente à produção e uso da eletricidade e do biocombustível provenientes do biogás, que podem ser considerados uns dos principais avanços no regime energético em relação à fonte.

No que se refere à eletricidade, o biogás é uma das fontes de energia renovável beneficiada com o estabelecimento da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL de 17 de abril de 2012, já apresentada nesta tese, considerada o marco regulatório responsável pela difusão da geração distribuída no país, onde se estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica por meio do sistema de compensação, conhecido como *net metering*.

De acordo com a ANEEL (2017), os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

Com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento; aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2017). Além das mudanças benéficas acima informadas, foram redefinidos os valores para microgeração distribuída (central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW)) e minigeração distribuída (central geradora com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW), aumentado o prazo para utilização dos créditos de 36 para 60 meses e foi instituído o autoconsumo remoto (o crédito pode ser gerado em

um local e utilizado em outro, desde que do mesmo titular e na área de atendimento de uma mesma distribuidora).

Outro avanço na esfera federal e também mencionado no item anterior do capítulo se refere à Portaria MME nº 538/2015, que criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD) com o objetivo de ampliar a geração distribuída de energia elétrica com base em fontes renováveis e cogeração. Foram instituídos o VRES, e os agentes relacionados ao nicho do biogás aguardam a publicação do VRES do biogás pelo MME. Um dos objetivos do PROGD deveria ser estudar, através de um grupo de trabalho, mecanismo simplificado para a comercialização de geração distribuída no ACL, fato que não parece ter ainda gerado resultados e poderia beneficiar a comercialização da eletricidade gerada a partir do biogás.

Além disso, em 2016, a partir do estabelecimento do Probiogás, que tinha como responsável no Brasil o Ministério das Cidades, por meio da Instrução Normativa nº 3 do Ministério das Cidades, o biogás passou a ser passível de ser financiado dentro do Programa Saneamento para Todos, com a inclusão do item que informa a “possibilidade de obtenção de crédito para implantação de sistema para aproveitamento energético do biogás gerado em estação de tratamento de esgotos com vazão média afluyente superior a 250 l/s”.

Em relação ao biometano, em termos regulatórios, somente em 2012, a ANP, por meio da Resolução ANP Nº 23/2012 estabeleceu as condições de aceitação do biometano como biocombustível⁷⁷ no Brasil. Em janeiro de 2015, em novo avanço regulatório, a Resolução ANP nº 08/2015 regulamentou o biometano como biocombustível afirmando que o mesmo poderia passar a ser intercambiado com o gás natural veicular desde que advindo, apenas, de plantas que utilizassem como substrato resíduos agrosilvopastoris. A resolução não autorizou a injeção na rede de biometano oriundo de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto, limitando o potencial de aproveitamento do gás de aterro e de estações de tratamento de efluentes (ETEs).

Em fevereiro de 2017, a ANP apresentou uma nova proposta de regulação do biometano oriundo de aterros e ETEs, que entrou em consulta pública e teve a resolução

⁷⁷ Biocombustível: combustível líquido ou gasoso derivado de biomassa renovável, para uso em motores à combustão ou para geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (Portaria MME nº538/2015). Segundo o governo norte-americano, “prior to this rulemaking, an approved fuel pathway biogas from landfills, manure digesters or sewage treatment plants to qualify as an advanced biofuel.” (<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2014-07-18/html/2014-16413.htm>)

publicada em 30 de junho de 2017 com as especificações para comercialização de biometano proveniente de aterros e ETEs. A Resolução Normativa N°685 da ANP passou a estabelecer as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo território nacional. No dia 21 de setembro de 2017, a primeira planta de produção de biometano no Brasil adquiriu a aprovação da ANP para comercializar o biometano produzido no aterro Dois Arcos, empreendimento da Ecometano, como também já mencionado no texto.

Além das iniciativas regulatórias acima, o governo publicou recentemente uma proposta de política pública via projeto de lei, que foi aprovada dia 28/11/2017 na Câmara dos Deputados, denominada RenovaBio, que, como já informado, tem promovido otimismo no setor do biogás, especificamente em relação à perspectivas futuras para o biometano. No IV Fórum do Biogás, o tema mereceu considerável destaque e foram feitas diversas afirmações, por diferentes agentes, que se a proposta entrar em vigor promoverá o alavancamento e consequente desenvolvimento da cadeia do biometano no país. Alguns palestrantes do evento chegaram a compará-lo ao Proálcool⁷⁸.

O RenovaBio é um programa do Governo Federal, lançado pelo Ministério de Minas e Energia, em dezembro de 2016, cujo objetivo é expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e compatível com o crescimento do mercado almejado. O biometano entra na categoria biocombustíveis e, junto com o bioquerosene e com biocombustíveis avançados ou lignocelulósicos, irá contribuir para a diversificação dos produtos e competitividade do setor (EPE, 2017).

Pelo fato dos documentos iniciais de discussão sobre o programa afirmarem que ele irá privilegiar e incentivar soluções que estimulem a eficiência da indústria de

⁷⁸ Um combustível 100% brasileiro, que protegesse o país dos humores da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) e que, ao mesmo tempo, impulsionasse a indústria nacional. Cumprir a agenda ambiciosa não foi uma tarefa fácil, mas o Programa Nacional de Álcool (Proálcool), instituído pelo governo de Ernesto Geisel em 14 de novembro de 1975, conseguiu desenvolver o primeiro biocombustível comercial do mundo, o álcool hidratado à base de cana-de-açúcar, atualmente chamado de etanol. Criado após o primeiro "choque do petróleo", quando a Opep elevou em cerca de 400% o preço do barril do óleo, no fim de 1973, o Proálcool já foi igualmente celebrado e criticado ao longo de sua história. <http://acervo.oglobo.globo.com/em-destaque/pioneiro-no-mundo-proalcool-criado-no-governo-geisel-apos-choque-do-petroleo-18046357#ixzz4yPhZ7h3c>

biocombustíveis, nos segmentos agrícola e industrial, assim como no uso do combustível pelo consumidor final, com ênfase na redução da intensidade de carbono ao menor custo para a sociedade brasileira, representantes do setor do biogás acreditam que o biometano apresentará grande vantagem em relação aos outros combustíveis e, se o mercado de certificações de emissões evitadas for desenvolvido e operado corretamente, o biometano conseguirá competir com fontes já maduras no mercado.

Segundo apresentação realizada no IV Fórum do Biogás por representante da EPE sobre o RenovaBio, o programa se baseia em algumas diretrizes estratégicas, tais como buscar criar instrumentos para precificação da relação de eficiência e emissões e de mecanismos que valorizem a produção sustentável; estabelecer uma política tributária para combustíveis, com ênfase no reconhecimento das externalidades positivas dos biocombustíveis; e formular instrumentos financeiros que contribuam para atrair investimentos na expansão da produção de biocombustíveis. Todos os três pontos seriam importantes para a expansão da produção e uso do biometano como biocombustível no país.

Outro ponto interessante apresentado pela proposta se refere à criação do CBIO, um crédito de descarbonização, que será um ativo financeiro, negociado em bolsa, emitido pelo produtor de biocombustível no momento da comercialização. A ideia é definir metas nacionais de redução de emissões para a matriz de combustíveis, estabelecidas para um período de 10 anos. Essas metas nacionais serão desdobradas em metas individuais, anualmente, para os distribuidores de combustíveis, conforme sua participação no mercado de combustíveis fósseis. A partir disso, haverá uma certificação da produção de biocombustíveis, atribuindo-se notas diferentes para cada produtor, em valor inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido. Os distribuidores de combustíveis cumprirão a meta ao demonstrar a propriedade dos CBIOs em sua carteira após obtê-los para cumprir seus objetivos. Neste contexto, os produtores de biometano, considerando sua vantagem em termos de emissão de GEE, sairiam na frente de outros biocombustíveis.

Também no IV Fórum do Biogás foi apresentada a metodologia de cálculo da pegada de carbono de cada um dos combustíveis que participarão do RenovaBio. Ela está sendo desenvolvida pela Embrapa baseando-se em metodologias internacionais de análise de ciclo de vida de emissões de GEE. Segundo representante do MME responsável pelo programa, ele é baseado na experiência da Califórnia e em breve o Canadá colocará em prática um programa parecido. Pelas estimativas iniciais apresentadas, o biometano apresenta a melhor

pegada de carbono (negativa), ainda em caráter de pesquisa, frente a todos os outros combustíveis analisados (conforme já apresentado na Figura 31).

No entanto, as emissões evitadas pela utilização do metano para gerar energia, que aconteceria caso o resíduo não fosse direcionado para isso, não são consideradas no cálculo. A única diferença neste sentido, frente outras fontes, é que ele inicia zerado na calculadora (pegada de carbono), enquanto as outras que não realizam esse serviço ambiental, já entram com pegada de carbono positiva. O objetivo da Renovacalc, nome da calculadora que está efetuando a contabilização da pegada de carbono de cada combustível, é subsidiar o setor com as informações necessárias para cálculo dos CBIOs. A ideia é que cada planta participante preencha as próprias informações na calculadora de forma voluntária.

Apesar do otimismo do governo e do setor do biogás, ainda é muito cedo para avaliar os impactos que serão gerados pelo programa sancionado pelo poder executivo. É necessário que vários temas que precisam ser aprofundados pelo setor privado e setor público, como o cálculo das externalidades e o cálculo das emissões de GEE das fontes considerando seus ciclos de vida, amadureçam e se consolidem nas discussões, políticas, regulações e fiscalizações. Em um contexto de grande restrição fiscal governamental e desaquecimento econômico, investimentos em mecanismos de medição e verificação de impactos ambientais podem acabar sendo engavetados e colocados em segundo plano nas agendas do setor privado e público.

Um último ponto importante a ser abordado, apesar de não ter sido uma iniciativa liderada pelo governo, mas pelo próprio setor do biogás, se refere à proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano (PNBB), oficialmente apresentado ao governo federal pela Abiogás em dezembro de 2015. O PNBB propôs a primeira política pública específica para o biogás e o biometano e ela foi elaborado pelos associados da ABiogás após debate com organizações da sociedade civil. O objetivo da proposta era estabelecer condições específicas para que os investimentos para geração de eletricidade e biometano a partir do biogás se tornem atrativos para potenciais produtores e usuários e que ambos se estabeleçam como fontes de energia seguras, oficialmente inseridas na matriz energética, com qualidade e disponibilidade firme (ABIOGÁS, 2015). O documento foi entregue em 2015 para o diretor do Departamento de Combustíveis Renováveis da Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia, Ricardo Donelles, e parece não ter avançado como uma política pública específica dentro do governo federal. No entanto, a incorporação do biometano no RenovaBio, a fala recente de agentes do Ministério

de Minas e Energia e outras instituições relacionadas ao regime sociotécnico energético no IV Fórum do Biogás, afirmam que a fonte entrou em definitivo para a pauta do governo. A participação do secretário de planejamento e desenvolvimento energético, Eduardo Azevedo Rodrigues e de dois diretores da EPE no último Fórum do Biogás, assim como a participação de um diretor do MME e outro da EPE no seminário realizado pelo BNDES sobre o potencial do biogás, também demonstram o crescente interesse sobre o tema dentro do governo federal. De qualquer forma, um ponto importante em relação ao biogás, é que ele precisa ganhar relevância não apenas no MME, mas também no MCidades, no MAPA, no Ministério dos Transportes e, transversal a todos esses temas, no MMA e MCTI, como já defendido anteriormente e em linha com o que foi abordado no marco teórico, denominado por Raven (2007) de interação multi-regime, que, por exemplo, no caso da Holanda, foi relevante para o desenvolvimento do setor do biogás no país. Como ocorrido em alguns países europeus, uma agenda conjunta, interministerial, poderia ser elaborada para dar maior visibilidade e espaço para o biogás se desenvolver no Brasil.

No tópico a seguir serão abordadas iniciativas estaduais que foram colocadas em prática ou estão sendo desenvolvidas para estimular a produção e uso do biogás e do biometano no país.

5.3.2.2.2 Iniciativas estaduais

O estado de São Paulo foi pioneiro ao instituir, em 2011, por meio do Decreto 57.042 a concessão de benefícios fiscais sob forma de abatimento do Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para atividades envolvendo biogás e biometano. Em dezembro de 2012, através do Decreto 58.659, o mesmo estado instituiu o Programa Paulista de Biogás. Os objetivos do programa são promover a ampliação de energias renováveis na matriz energética do Estado e estabelecer a adição de um percentual de biometano ao gás canalizado. No mesmo mês de 2012, no estado do Rio de Janeiro, a Lei nº 6.361 estabeleceu a Política Estadual de Gás Natural Renovável (GNR), que instituiu que as concessionárias de distribuição de gás do Estado passassem a ser obrigadas a adquirir GNR até o limite de 10% do volume de gás natural convencional distribuído por elas quando houvesse oferta do mesmo.

Em abril de 2013, o estado de São Paulo colocou em vigor o Decreto nº 59.038 que passou a obrigar as frotas do estado com motor a diesel a utilizar 20% de biodiesel, podendo ser esse substituído por biogás ou biometano. Em Minas Gerais, no mesmo mês, o estado estabeleceu a Lei nº 20.824, que passou a isentar o ICMS para partes, componentes e

ferramentas usadas para a conexão e transmissão de energia elétrica a partir do biogás e também instituiu a isenção de ICMS sobre o fornecimento de energia elétrica produzida em usinas geradoras de energia a partir do biogás. Talvez por conta dessa lei e pela alta tarifa de eletricidade vigente no Estado, conforme apresentado em tópico anterior deste capítulo, Minas Gerais conta com o maior número de unidades consumidoras de GD a biogás atualmente. Também em 2013, foi estabelecido o Convênio ICMS n° 112 entre São Paulo e Mato Grosso, que autorizava a redução de 18% para 12% do ICMS nas saídas internas com biogás e biometano. Em 2016, o Convênio foi ampliado passando a autorizar os Estados da Bahia, Mato Grosso, Rio de Janeiro e São Paulo a conceder redução da base de cálculo do ICMS nas saídas internas com biogás e biometano, de tal forma que a carga tributária do imposto resulte na aplicação do percentual de 12% sobre o valor da operação (CONFAZ, 2017).

Em 2013, o Espírito Santo, por meio do Decreto 3.453-R/2013, instituiu a política estadual de incentivo às energias renováveis, tais como: eólica, solar, biomassa (madeiras, oleaginosas, algas marinhas, resíduos da agropecuária, esgotos domésticos e efluentes industriais, e gases provenientes de aterros sanitários – biometano), e outras fontes renováveis, visando incentivar a produção e o consumo de eletricidade a partir de fontes alternativas.

Em julho de 2015, outra iniciativa estadual pioneira no Brasil, já apresentada no item sobre comercialização, foi a realização da Chamada Pública 01/2015 da Sulgás do Rio Grande do Sul. Os contemplados teriam um contrato de fornecimento com a distribuidora de 200 mil m³ diários de biometano por um prazo de vinte anos. Entretanto, segundo o site da instituição, a chamada pública não teve êxito, pois nenhum empreendimento se cadastrou para participar. Recentemente, em 2017, a Sulgás publicou em seu sítio eletrônico,

a Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul – Sulgás lançará nos próximos meses uma chamada pública para aquisição de até 200 mil metros cúbicos por dia de biometano, gás natural produzido a partir de resíduos agrícolas e pastoris. O GNVerde, marca registrada pela Sulgás para o biometano que será ofertado para o mercado, possui as mesmas aplicações do Gás Natural e se constitui em uma nova alternativa de combustível para as indústrias, comércios, residências e postos de GNV (gás natural veicular). O objetivo da chamada pública é selecionar projetos para produção desse gás em diferentes regiões do RS, viabilizando sua distribuição pela Sulgás para clientes que demandam gás natural, mas atualmente estão distantes da rede de distribuição da Sulgás (SULGÁS, 2017).

Segundo o presidente da Sulgás, o objetivo da iniciativa é, além de contribuir com o meio ambiente, dando um destino nobre para os resíduos provenientes de atividades

agrícolas e pastoris, estimular o desenvolvimento regional e promover a atração de investimentos para o Estado. O edital de contratação da nova chamada pública não havia sido publicado até o momento de escrita da tese, mas ao longo de 2017 foram realizadas reuniões informativas com potenciais interessados onde a Sulgás apresentou os principais termos e condições do processo seletivo. Segundo informação no sítio eletrônico da empresa, a decisão de realizar as reuniões foi tomada, considerando o grau de inovação e de complexidade presentes em um empreendimento de produção de biometano em escala comercial, visto que se trata de algo novo no país.

Ainda em relação ao Rio Grande do Sul, é importante mencionar que a política para compra e venda do biometano no Rio Grande do Sul foi regulamentada em maio de 2016, através da Lei Nº 14.864, que instituiu a Política Estadual do Biometano. O Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano (RS-Gás) objetiva ampliar a oferta de gás natural para aquelas regiões que não são atendidas hoje pelo gasoduto Brasil-Bolívia, propiciando assim aos gaúchos o acesso a uma fonte alternativa de gás e energia, além de possibilitar a geração de emprego e renda. Outro aspecto importante do programa é que ele permite que os dejetos provenientes da atividade agrícola tenham um destino correto, o que muitas vezes não ocorre em grande parte das propriedades rurais.

Diante desses avanços na arena política no Rio Grande do Sul, empresas como a Ecocitrus e a Naturovos, sócias de uma planta de biogás para produção de biometano, visitada para esta tese como também já informado ao longo do texto, investiram milhões de reais no projeto, que foi inaugurado em 2013, mas até agosto de 2017 não havia comercializado o biometano. O biogás produzido diariamente na planta é utilizado apenas para abastecer os veículos dos associados da Ecocitrus e de alguns parceiros com GNVerde. Além disso, eles também utilizam o gás para produção de energia elétrica destinada ao consumo interno da usina. Com isso, informam proporcionar uma redução de cerca de 70% na conta de eletricidade.

Recentemente, no IV Fórum do Biogás, foram apresentadas políticas e marcos regulatórios estaduais que estão em desenvolvimento para fomentar a produção e uso do biogás e biometano. Em relação ao Estado de São Paulo, o secretário representante do governo estadual, apontou o enorme potencial existente no setor sucroenergético do Estado e sinalizou que uma nova legislação já foi aprovada e está passando por ajustes finais para passar pelos trâmites processuais necessários e ser divulgada. Além disso, em relação à

Santa Catarina, foi estruturado o marco regulatório do setor do biogás para o Estado em 2017 e em breve, de acordo com palestrante do fórum, será também divulgado.

O documento elaborado em Santa Catarina conta com proposições para criação de uma política estadual para o desenvolvimento energético e exploração do potencial de produção de biogás e biometano a partir do tratamento de dejetos resultantes da produção de proteína animal, carnes e leite. Em quase 1.000 páginas, o documento apresenta o potencial do biogás catarinense, apontando os pontos de maior geração e os potenciais segmentos e grupos de consumidores deste tipo de energia. A elaboração do Marco Legal foi coordenada e financiada pela Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca em conjunto com a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Fapesc). O documento foi desenvolvido por três empresas. A Andersen Ballão Advocacia, a JMalucelli Ambiental, ambas associadas da ABiogás, e a Fundação Certi (Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras). Segundo informações sobre a proposta catarinense, ela apresentará várias possibilidades legislativas que poderão dar segurança jurídica com a devida adaptação à realidade local para a produção de biogás. A expectativa é que uma nova economia deverá surgir em Santa Catarina baseada em recursos energéticos já existentes em todo o seu território e totalmente alinhada com as metas de redução de emissões de GEE e com potencial gigantesco de atração de novos investimentos e geração de empregos e renda (ENGIE, 2017).

5.3.2.3 Simbolismo cultural

Pelo fato do biogás advir de diferentes tipos de resíduos e a sociedade brasileira ainda não encarar resíduos como recursos, há muitas vezes uma conotação negativa em relação a ele. Além disso, por significar a realização de processos que irão requerer o trânsito de diferentes tipos de resíduos, pode haver inicialmente receptividade negativa para iniciativas que objetivem sua produção em localidades onde serão estabelecidas plantas de biogás. Ao contrário de países europeus, como a Suécia, onde resíduo se transformou em sinônimo de recurso, a questão dos resíduos no Brasil ainda é encarada de forma negativa, associada à escassez, sujeira e doenças.

Cultura pode ser definido como “aquelas habilidades, conceitos e formas de comportamento que as pessoas adquiriram como membros da sociedade” (ERIKSEN, 2010a, p. 3). Neste sentido, delimitando o escopo de análise e apenas se referindo ao contexto brasileiro, a geração de resíduos e o que é feito em relação a eles é algo

absolutamente ignorado (conscientemente e inconscientemente) pela sociedade brasileira (RIAL, 2010). Não é apenas a questão da educação, da baixa qualidade de ensino e nível educacional no Brasil, que faz com que grande parte de sua população ignore o lixo como um problema. É algo maior, já enraizado, que perpassa as diferenças de nível educacional e renda, e talvez seja legitimado pela abundância de recursos naturais existentes no país. A preocupação em relação aos resíduos e seus impactos se legitimaram como imperceptíveis e isso dificulta a associação de valor a algo gerado a partir deles, como o biogás. O que pode representar uma necessidade de maior esforço requerido para sua disseminação, entendimento do seu papel, e sua legitimação na sociedade. Esforço esse muito maior do que o empreendido em relação a outras fontes renováveis, como solar e eólica, espontaneamente associadas a aspectos positivos da sociedade (sol, dia, vento). Enquanto o biogás se associa a questões negativas (lixo, mau cheiro, pobreza).

Diante disso, é fundamental que os atores já envolvidos no setor do biogás, juntamente com o governo, atuem fortemente disseminando informações sobre a fonte e, principalmente, ressaltando suas externalidades e aspectos positivos, seja pela possibilidade de produção de uma fonte energética renovável, seja pelos benefícios associados a isso, tais como melhor gestão de resíduos, conseqüente redução na emissão de metano e outros GEE, minimização de impactos ambientais entre outras conseqüências positivas de sua exploração já exaustivamente abordados neste trabalho.

Por estar diretamente associado ao setor de resíduos, mais especificamente à melhor gestão de resíduos na sociedade, é importante, para o desenvolvimento do setor de biogás no Brasil, que a cultura em relação ao resíduo modifique. É fundamental que haja maior conscientização da população e mudança de visão sobre os resíduos gerados pela sociedade. O maior acesso à educação e a busca por maior equidade distributiva podem representar ganhos neste sentido, mas não de forma absoluta. A cultura do consumo exagerado e descarte rápido está enraizada nas classes de mais alto poder aquisitivo da sociedade, que usualmente só respondem a problemas relacionados à questão de geração de resíduos, quando isso impacta negativamente seus recursos financeiros (RIAL, 2016).

Desta forma, é preciso passar a ser perseguido, em todas as esferas da sociedade e classes sociais, após a busca pela não geração, a busca pela reinserção dos resíduos na cadeia produtiva e, no que se refere aos resíduos orgânicos, que ele passe a ser visto como um ativo, algo que pode gerar valor energético e financeiro.

Em países onde a produção do biogás já se encontra mais desenvolvida, mudanças no regime de resíduos ocorreram para que o biogás passasse a ter uma conotação positiva e não apenas fosse visto como um gás altamente poluente e indesejado. Em um contexto como o brasileiro, em que há uma política que obriga a busca por melhor gestão e impede o envio de resíduos para os aterros sanitários (PNRS), que deveria receber apenas rejeitos atualmente, mas que ainda é o destino de grande parte dos resíduos gerados, a busca por implementar as diretrizes da PNRS se torna um primeiro passo importante para estimular também o desenvolvimento do biogás. Além disso, em contexto rural, se torna relevante também que haja maior fiscalização e orientação em prol da gestão adequada dos resíduos gerados. Em um país com vocação agropecuária como o Brasil, a geração de resíduos no campo é questão extremamente relevante. A partir do momento que for mudada a percepção do resíduo como algo apenas negativo, para algo que pode se tornar recurso valioso para geração de energia, será um passo muito importante não só por questões ambientais, podendo gerar também dinamização socioeconômico em contexto rural e urbano.

De forma a analisar a dimensão social da geração de resíduos, o relatório da ISWA e ABRELPE (2017), afirma que um sistema de resíduos sólidos é um sistema social, onde o comportamento humano molda todos os aspectos e etapas do processo, desde o consumo até a disposição final. As seguintes dimensões sociais são colocadas como críticas na gestão de resíduos sólidos e podem ser aplicadas as mesmas no caso de produção e utilização do biogás. São elas a sensibilização pública e comportamentos relacionados aos resíduos, do consumo à disposição final; a resistência local para a instalação de uma nova planta de disposição de resíduos sólidos e os temores relacionados a ruídos, odor, poeira, aumento do tráfego de caminhões e queda dos valores imobiliários, e o reassentamento involuntário dos residentes locais e impactos diretos associados, tais como deslocamento físico, perda ou danos à propriedade e perda de renda.

Todos os aspectos acima podem ser considerados para o biogás e é necessário, como mencionado no capítulo quatro no item sobre a percepção pública sobre a fonte, que seja realizado um transparente e coerente trabalho de comunicação e relacionamento com grupos de interesse em torno de projetos a biogás, disseminando o conhecimento sobre seus benefícios para que seu simbolismo não seja apenas associado a coisas negativas, como é a associação hoje feita ao resíduo na sociedade brasileira e que ele se legitime como valioso recurso e agente dinamizador. No caso do biogás, recurso energético e, conseqüentemente, financeiro.

5.3.3 Agentes

Em relação aos agentes, eles se referem ao elemento que está diretamente relacionado aos dois anteriores analisados, pois a partir dos agentes que atuam de alguma forma em prol do biogás, as mudanças na infraestrutura, artefatos e nas instituições irão efetivamente ocorrer. Cada um dos critérios a seguir será avaliado de acordo com o escopo definido na Tabela 32:

Tabela 32: Abordagem de cada critério analisado dentro do elemento Agentes

Agentes
Instituições representativas do setor
Apresentação das diferentes instituições que vêm atuando em prol do setor no Brasil e as mais importantes ações colocadas em prática .
Instituições de pesquisa e ensino
Apresentação das diferentes instituições de ensino e pesquisa que vêm atuando em prol do setor no Brasil e as mais importantes ações colocadas em prática .

Fonte: Elaboração própria

5.3.3.1 Instituições representativas do setor

Uma iniciativa de extrema relevância para o setor do biogás no Brasil foi a criação, em 2013, da Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABIOGÁS). Atualmente ela conta com 34 associados, de acordo com a fala de seu representante no seminário realizado no BNDES, sendo atores relacionados ao biogás ou ao regime sociotécnico energético. Apesar de ter apenas quatro anos desde sua criação, a Abiogás tem tido bastante atuação e promovido importantes avanços em prol do setor no regime sociotécnico energético. Isto pode ser comprovado pela articulação e aparente parceria existente entre os representantes da Abiogás e o representante do MME. Em determinado momento, no seminário referido acima, o representante do MME chegou a solicitar confirmação de valores para um representante da Abiogás, relacionado a algum número definido para o RenovaBio. De acordo com a fala de outros agentes do setor que palestraram no evento organizado pelo BNDES, nunca antes na história do desenvolvimento do biogás, atores relacionados à fonte tiveram tanta entrada em instituições importantes do sistema sociotécnico energético. Mais um exemplo que pode ser citado se refere à cooperação técnica assinada em 2017 entre a Abiogás e a EPE, que deverá resultar na publicação de uma nota técnica em 2018.

A Abiogás tem tido papel relevante também na esfera estadual, apoiando a formulação de importantes projetos de lei e programas que foram ou estão sendo estruturados. Além disso, a Abiogás realiza desde 2013, o Fórum do Biogás, que já está em sua IV edição e, comparado aos participantes da primeira edição, que segundo o atual presidente da instituição afirmou no último fórum, não eram mais que 30 pessoas. Sua última edição em outubro de 2017 lotou o auditório do IEE/USP com mais de 300 participantes.

Outra associação também atuante em prol do setor, porém com menor representatividade é a Associação Brasileira do Biogás e do Metano (ABBM). Entidade sem fins lucrativos constituída para defender os interesses das empresas brasileiras do setor de biogás e metano. A ABBM foi fundada em 2014 no Rio Grande do Sul e segundo seu sítio eletrônico é formada por um grupo de pessoas determinadas a promover o setor de biogás no Brasil. Ela é resultado de um trabalho de cooperação iniciado em 2010 por intermédio de um convênio assinado entre o Centro Alemão de Pesquisa em Biomassa de Leipzig (DBFZ), a Universidade de Rostock na Alemanha, juntamente com as Universidades do Estado do Rio Grande do Sul, empresas privadas e as prefeituras de Ijuí e Cachoeira do Sul, cujo propósito era promover a criação e o desenvolvimento do setor de Biogás no Sul do Brasil (ABBM, 2017).

Em junho de 2017 no Rio de Janeiro, ocorreu no Rio Grande do Sul o 1º Fórum Estadual de Biogás e Biometano, em Caxias do Sul. O evento foi uma realização articulada pelo Arranjo Produtivo Local Metalmeccânico e Automotivo da Serra Gaúcha (APLMMMeA), da Universidade de Caxias do Sul (UCS), do Instituto SENAI de Tecnologia em Petróleo, Gás e Energia e da Itaipu Binacional. O evento também teve apoio da Sulgás. No dia 27 de novembro de 2017, o BNDES promoveu um seminário sobre a fonte em suas instalações no Rio de Janeiro com enfoque no biogás produzido a partir do setor sucroenergético, conforme já abordado neste trabalho, e que também demonstrou a crescente importância da fonte no regime sociotécnico energético, pois o espaço onde ocorreu o evento estava lotado com em torno de 200 participantes.

O item a seguir irá apresentar as instituições e iniciativas de pesquisa e ensino que atuam em prol do biogás no país.

5.3.3.2 Instituições de pesquisa e ensino

Segundo o PNBB (Abiogás, 2015, p.60), a ciência brasileira do biogás, ainda que já desenvolvida por centros de pesquisa, algumas universidades e institutos, não conseguiu ainda se legitimar e ganhar relevância na sociedade. Talvez a versatilidade do biogás, pela possibilidade de diferentes configurações produtivas serem possíveis, em diferentes contextos, possa significar um desafio para que a pesquisa sobre ele se consolide em algo centralizado e robusto. Ainda de acordo com o PNBB (Abiogás, 2015), as iniciativas de pesquisa e desenvolvimento ainda dificilmente se articulam, compartilham os resultados obtidos, atuando mais de forma isolada para benefício de um contexto específico para o desenvolvimento da fonte, do que pensando em um sistema maior e articulado.

No entanto, algumas iniciativas de pesquisa sobre a fonte são relevantes e precisam ser mencionadas. O Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás), é uma das principais referências de atuação técnica e institucional em prol do biogás. Ele poderia ser também mencionado no critério anterior, mas perante sua atuação relevante nos dois aspectos, optou-se por encaixá-lo neste tópico. A instituição busca promover a pesquisa e consolidar referências positivas sobre a fonte no país. Dentro da estrutura da Itaipu Binacional, segundo o site do centro, o CIBiogás é uma instituição científica, tecnológica e de inovação formada por 20 instituições que desenvolvem e/ou apoiam projetos relacionados ao biogás. Sua estrutura conta com um laboratório de biogás, no Parque Tecnológico Itaipu, em Foz do Iguaçu, e com 11 unidades de produção de biogás no Brasil. A missão do centro é promover o desenvolvimento sustentável da cadeia do biogás e de outras energias renováveis e sua visão é consolidar-se, até 2018, como referência nacional em soluções inovadoras, tecnológicas e de negócios, para a cadeia do biogás. É importante ressaltar que o CIBiogás acaba atuando com maior enfoque no contexto socioeconômico do sul do país, especificamente do Paraná, e majoritariamente no desenvolvimento do biogás a partir de resíduos agrossilvopastoris. Graças a sua atuação o Paraná concentra hoje o maior número de pequenos empreendimentos geradores de biogás localizados em propriedades rurais (BIOGASMAP, 2017; WEBMAP EPE, 2017).

Entre inúmeras iniciativas, a CIBiogás apoia o estabelecimento de projetos piloto, sendo um dos mais recentes, divulgado em junho de 2017, a primeira unidade de demonstração de produção de biogás e biometano do Brasil que utiliza como matéria-prima uma mistura de esgoto, restos de alimentos orgânicos de restaurante e podas de grama resultados da operação e manutenção da sede da Usina Itaipu Binacional. Além de estimular

o estabelecimento de projetos que se tornam referência no país, a instituição é promotora de conhecimento, promovendo regularmente cursos sobre diversos aspectos da fonte e ajudando assim a disseminar informações sobre o biogás no país.

Outra iniciativa também ligada à Itaipu Binacional se refere à parceria com a Embrapa denominada Rede Biogásfert. De acordo com o sítio eletrônico da Embrapa (EMBRAPA, 2017), a rede Biogásfert foi criada por conta do estímulo para buscas de "tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC". A BiogásFert quer oferecer para a sociedade soluções tecnológicas para a produção e uso integrados de biogás e biofertilizantes orgânicos e organominerais a partir de dejetos animais nos diferentes sistemas de produção agropecuários. Tudo isso dentro do conceito de agricultura de baixo carbono. A liderança da Rede é da Embrapa Suínos e Aves, unidade descentralizada da empresa de pesquisa agropecuária vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil e localizada em Concórdia no estado de Santa Catarina. Assim como o CIBiogás, a rede Biogásfert tem enfoque no setor agrosilvopastoril.

Em 2012, dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica da ANEEL em uma chamada específica (014/2012), a pesquisa sobre o biogás foi estimulada. A chamada objetivava financiar a pesquisa sobre 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. De acordo com informações no sítio eletrônico da ANEEL, para trazer avanços tecnológicos relacionados à geração de energia elétrica oriunda de biogás e estimular toda a cadeia de tratamento e reaproveitamento energético de resíduos e efluentes líquidos no país, em termos regulatórios, mercadológicos, tecnológicos e acadêmicos, a ANEEL aprovou na 27ª Reunião Pública Ordinária da Diretoria de 2012, realizada em 24 de julho de 2012, a Chamada de Projeto de P&D Estratégico nº 014/2012, buscando a efetividade dos investimentos de P&D na geração de energia oriunda de biogás para “financiamento/execução” por empresas de energia elétrica. Empresas como Petrobras, Enel, Neoenergia, CPFL, CHESF, CELPE e Grupo CEEE, foram contempladas pela chamada e desenvolveram pesquisas sobre o biogás. Em um workshop realizado pela ANEEL, em outubro de 2015 no Rio de Janeiro, as empresas contempladas apresentaram e publicaram documentos com os resultados de seus respectivos projetos e parece não ter ocorrido avanço em termos práticos na implementação efetiva de projetos de biogás por parte da maioria delas de acordo com informações de seus

sítios eletrônicos. A Tabela 33 apresenta os temas dos projetos desenvolvidos pelas empresas contempladas com a verba do P&D da ANEEL.

Tabela 33: Instituições e projetos realizados dentro do P&D Estratégico nº 014/2012 da ANEEL

Instituição	Tema projeto
Petrobras	Estudo da geração em ciclo combinado a partir de biogás e resíduos sólidos
Neoenergia	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
Enel*	Desenvolvimento de Arranjos Técnicos e Institucionais para o Aproveitamento de Biogás, através da Geração de Energia Elétrica, oriundo de Resíduos Sólidos Urbanos
CPFL	Produção e comercialização de eletricidade produzida a partir do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça
CHESF	Plataforma de valorização energética de resíduos
CELPE	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
Grupo CEEE*	Pesquisa e desenvolvimento de uma usina modular de biogás de 660 KVA com gerenciamento remoto atendendo os conceitos de smart grid

* e outras instituições conveniadas.

Fonte: Elaboração própria, 2017

Dentre as empresas acima mencionadas, a CELPE publicou recentemente resultados da pesquisa sobre o biogás financiada pelo P&D da ANEEL. Segundo notícia recente, de agosto de 2016, a empresa realizou um estudo em parceria com duas universidades de Pernambuco (UPE e UFPE). O Inventário da Biomassa Produtora de Biogás em Pernambuco levantou o material orgânico (fezes de animais, restos de comida e resíduos da lavoura) produzido nos municípios do estado. O resultado da pesquisa apontou que o material orgânico que está sendo jogado fora ou não aproveitado poderia gerar energia para cerca de 600 mil pessoas. O inventário foi apenas uma parte do projeto, que totalizou o valor de R\$ 4,6 milhões e incluiu também a implantação de dois sistemas de biogás. Um deles já funciona no Camará Shopping, em Camaragibe, que é alimentado por restos de comida e folhagens. O segundo será instalado numa estação de tratamento da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) em Caruaru, no Agreste. De acordo com informações da empresa, essa unidade vai usar como matéria-prima o esgoto e o seu lodo e o objetivo é provar que o biogás é competitivo quando se compara com as outras fontes (CELPE, 2016). Outro resultado do projeto de P&D da ANEEL é o aproveitamento energético de gás de aterro de Minas do Leão no Rio Grande do Sul que produz 6MW.

Outra instituição importante no Brasil na produção e disseminação de conhecimento é FINEP que foi criada em 1967, vinculada ao Ministério do Planejamento e financia desde a pesquisa básica até a preparação do produto para o mercado. A instituição apoia empresas e organizações de pesquisa por meio de diferentes mecanismos de incentivo. Dentro da linha de financiamento reembolsável, que segundo a FINEP constitui-se de financiamento com encargos reduzidos para a realização de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas empresas brasileiras, o aproveitamento do biogás aparece como um subtema dentro da área prioritária de energia, conforme a Tabela 34 abaixo.

Tabela 34: Subtemas dentro do tema prioritário energia para obtenção de financiamento reembolsável

Temas	Exemplos de Subtemas	R\$ Milhões
Energia	Biocombustíveis	185
	Energia Solar Fotovoltaica e concentrada	
	Energia Eólica	
	Energia Nuclear	
	Armazenamento e transmissão de energia	
	Modelos de negócio inovadores para geração distribuída	
	Tratamento e valorização de resíduos	
	Aproveitamento de biogás	

Fonte: FINEP, 2017

Uma empresa já contemplada com financiamento da FINEP foi a GEO Energética, planta de biogás a partir de resíduos da indústria sucroenergética, que recebeu da instituição R\$ 160 milhões destinados ao desenvolvimento de novas tecnologias para a expansão do uso de materiais orgânicos na produção do biogás no Brasil. Com os recursos serão realizadas novas pesquisas envolvendo os processos de limpeza e purificação do biogás e eles darão suporte às pesquisas da GEO Energética por cerca de dez anos. As novas pesquisas terão sete focos diferentes, entre eles, o desenvolvimento de sistemas de produção de biogás com culturas energéticas, o aperfeiçoamento dos processos de biodigestão da biomassa e concentração do biogás e sua transformação em biometano (VALOR ECONÔMICO, 2014).

Outra iniciativa que promoveu a ampliação e pesquisa sobre o biogás e apesar de já mencionado no texto, é importante mencioná-lo neste critério, foi o PROBIOGÁS. Fruto da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro e a GIZ, o PROBIOGÁS atuou entre 2013 e início de 2017, com o objetivo de ampliar o aproveitamento energético do biogás de forma eficiente nos setores agropecuário, agroindustrial e de saneamento. Através de ações junto aos órgãos de governo, setor privado e academia, o projeto contribuiu para a promoção do biogás na matriz energética nacional e para consequente redução da emissão de GEE. O

projeto apoiou indiretamente o crescimento e a consolidação da indústria do biogás no Brasil, fornecendo capacitações, apoio ao ambiente regulatório, pesquisa e desenvolvimento e disseminação de informações. Um dos legados do projeto é justamente sua biblioteca gratuita, que segue disponível virtualmente após o fim do mesmo.

Em um vídeo publicado em fevereiro de 2017, diversos atores de instituições relevantes do regime sociotécnico energético pontuam os benefícios que foram gerados para o setor por conta do projeto. De acordo com Ricardo Gomide, coordenador geral do departamento de biocombustíveis do Ministério de Minas e Energias, o Probiogás foi fundamental para difundir conhecimento sobre o biogás e hoje o biogás e o biometano estão definitivamente na agenda do governo federal. A partir do início do Probiogás, avanços regulatórios extremamente relevantes ocorreram como as resoluções ANP 08/2015 e ANP 685/2017 no que se refere à regulamentação do biometano e a Instrução Normativa nº3 de 2026 do Ministério das Cidades, conforme apresentada no item sobre políticas e regulações.

O Probiogás, além de ter contribuído para disseminação de conhecimento entre diferentes setores sobre o biogás e promover a articulação entre diferentes agentes, deixou um legado de conhecimento consolidado sobre a fonte no país. Foram 17 publicações especializadas em biogás, todas disponíveis no sítio eletrônico do Ministério das Cidades; 150 participantes em visitas técnicas na Alemanha; 1300 profissionais que puderam participar de diversos eventos sobre biogás; 39 atividades de formação; e mais de 1000 horas de aula. Tudo isso com o objetivo de difundir e consolidar conhecimento sobre o biogás no país, além de também abrir oportunidade para tecnologias desenvolvidas na Alemanha serem oferecidas no mercado brasileiro. No site do Ministério das Cidades, eles apresentam a Figura 71 abaixo que sintetiza os principais marcos do setor do biogás no Brasil desde o início do programa Probiogás. Por ter sido instituída após o fim do Probiogás, que aconteceu em fevereiro de 2017, a Resolução nº 685 da ANP que regulamentou o biometano de aterros sanitários e ETEs, marco importante para o setor, não foi contemplada abaixo.

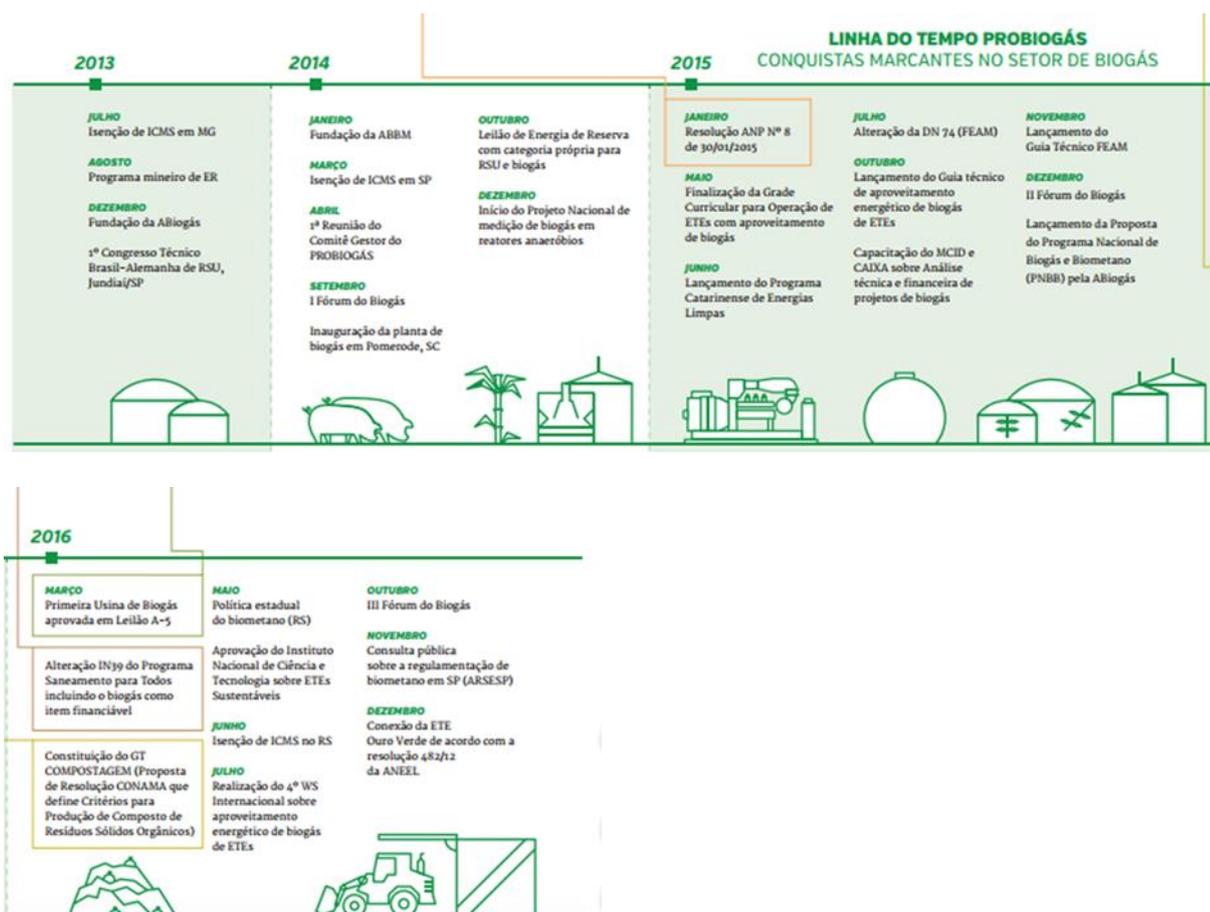


Figura 71: Conquistas marcantes do setor de biogás no Brasil
Fonte: Probiogás, 2016a

Além de programas específicos que buscam o desenvolvimento da fonte, iniciativas pontuais vêm ocorrendo no país e não apenas por instituições de pesquisa, mas também pela iniciativa privada. Por exemplo, segundo o jornal O Estado de São Paulo (2017), o uso do gás juntamente com diesel em veículos de transporte de cana-de-açúcar será avaliado pela GasBrasiliense e a São Martinho até o primeiro trimestre de 2018. O acordo entre duas empresas privadas, juntamente com a Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo e as empresas Convergas Fuel System e Mahle Metal Leve, foi assinado em 23/08/17, em Sertãozinho (SP). O convênio prevê a conversão de um motor a diesel para a tecnologia diesel-gás, que será abastecido com biometano produzido a partir da vinhaça de cana-de-açúcar ou gás natural veicular (GNV). O objetivo, se o projeto se mostrar economicamente viável, é estimular a introdução da produção do biogás em todas as usinas do Estado de São Paulo, maior produtor de etanol do Brasil, promovendo um enorme ganho ambiental e aumentando a competitividade das usinas sucroenergéticas. Segundo estimativas de

mercado, o processamento de uma tonelada de cana necessita de quatro litros de diesel e isso poderia gerar uma grande economia para as usinas e considerável redução de GEE. A safra 2017/2018 tem como previsão colher 647 milhões de toneladas de cana no Brasil. Com a implantação do projeto em todas as usinas, trocando metade do diesel utilizado por gás natural, as empresas poderiam chegar a uma economia de 1,3 bilhão de litros de diesel por safra (GASNET, 2017).

A última iniciativa que será aqui abordada se refere ao mapeamento do potencial do biogás realizado pelo Rio Grande do Sul, que foi fruto de ampla pesquisa. Em 2016, a Secretaria de Minas e Energia (SME) e a Sulgás lançaram uma publicação com amplo estudo sobre as regiões potenciais de produção de biogás e biometano no estado. Entitulado de “O Atlas da Biomassa”, ele foi produzido pela Unidade Integrada Vale do Taquari de Ensino Superior (Univates).

Para concluir, a partir das entrevistas realizadas para a tese foram compiladas na Figura 72 os nomes mais citados em relação ao biogás, que se referem a agentes/atores importantes para que o desenvolvimento da fonte seja consolidado no regime sociotécnico energético.

Fornecedores de matéria prima	Produtores de biogás	Consumidores de biogás	Associações	Centros de Pesquisa	Eventos
<ul style="list-style-type: none"> • Setor sucroenergético • Aterros sanitários • Granjas de suínos e aves • Indústria de alimentos e bebidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Geoenergética • Ecometano • Aterro de Gramacho • CSBioenergia • Methanum • Solvy • Termoverde Caieras • Jmalucelli Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Colombari • Ecocitrus • Reduc • Unibanco/Itau • Itaipu • Termoverde Caieras • Aterro São João 	<ul style="list-style-type: none"> • Abiogás • ABBM 	<ul style="list-style-type: none"> • CIBiogás • EMBRAPA • Universidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Fórum do Biogás • Seminário técnico do Biogás

Figura 72: Agentes mais citados pelos entrevistados em relação a sua atuação em prol da difusão do biogás
Fonte: Elaboração própria, 2017

Diante do acima exposto ao longo do capítulo, o objetivo principal foi apresentar a configuração do sistema sociotécnico energético (regime) em relação ao biogás no Brasil. A partir disso, que se refere a definição do regime sociotécnico onde o biogás precisa se inserir para sua difusão, será apresentada uma análise da sua transição a partir dos elementos da PMN no próximo capítulo. O capítulo atual buscou responder a primeira pergunta da tese e o capítulo seguinte responderá as duas últimas perguntas.

6. ANÁLISE DA TRANSIÇÃO PARA O USO DO BIOGÁS NO BRASIL

O objetivo deste capítulo é analisar a transição para produção e uso do biogás no Brasil como ativo energético e sintetizar os principais entraves que ainda impedem o avanço do desenvolvimento da fonte, que já vêm sendo apresentados ao longo do trabalho.

Ao final do capítulo espera-se ter respondido as seguintes questões:

- Como se configura a transição em curso para difusão do biogás como ativo energético no Brasil a partir da PMN?
- Quais os principais desafios para que a transição para produção e uso do biogás se consolide no Brasil?

6.1 Análise da transição para o uso do biogás no Brasil a partir da PMN

Diante da análise dos elementos do sistema sociotécnico energético relacionando-os ao biogás realizada no capítulo anterior, o objetivo do presente capítulo é avaliar a transição para produção e uso do biogás no Brasil usando como estrutura de análise a abordagem da PMN. Conforme apresentado no marco teórico, esta abordagem propõe três níveis analíticos para entender processos de transições (Geels, 2002). O primeiro é o nível de nicho, onde ocorrem inovações e onde elas encontram-se protegidas. O segundo nível refere-se ao regime sociotécnico em que práticas e instituições estabelecidas apoiam os sistemas existentes e tecnologias já instituídas. O terceiro nível é o nível da paisagem, que representa o contexto socioeconômico, cultural e geopolítico, que pode ajudar ou impedir que inovações consigam sair do seu nicho sociotécnico e se estabelecer no nível do regime. A paisagem pode ser entendida como as condições que influenciam mudanças no nicho e nos regimes sociotécnicos. As transições ocorrem quando as interações entre os três níveis suportam este processo.

No entanto, antes de prosseguir esta análise, um ponto importante se refere a sua tipologia frente às apresentadas no marco teórico deste trabalho. O biogás não se apresenta como uma tecnologia disruptiva que necessitará que mudanças expressivas e radicais ocorram no sistema sociotécnico. Sua transição pode ser configurada dentro da tipologia denominada de reconfiguração, que é uma trajetória que se baseia em inovações no nicho que vão sendo incorporadas no regime sem precisar alterá-lo ou destituí-lo. Nessa tipologia as inovações são adotadas como complementos ou como substituições de componentes do

regime. Os atores do regime incumbente sobrevivem a essas transições através de interações com fornecedores e idealizadores das inovações. Neste caso, o regime é reconfigurado lentamente através de combinações de componentes novos e antigos. Dessa forma, uma reconfiguração não significa a substituição do regime incumbente e a difusão do biogás no Brasil representa esta trajetória, onde o sistema sociotécnico energético necessitará apenas de adaptações para a incorporação da sua produção e de seu uso. No entanto, mudanças e interações entre os diferentes níveis da PMN são importantes para disseminar o desenvolvimento da fonte e abaixo serão avaliadas como elas vêm ocorrendo.

Diante disso, esta tese defende que a trajetória de reconfiguração rumo à difusão da fonte no país, considerando que a tecnologia está presente de alguma forma no contexto brasileiro desde a década de 70, foi efetivamente iniciada apenas recentemente e sua entrada e legitimação no regime sociotécnico energético começou a ocorrer mesmo que lentamente. Neste processo tem sido muito relevante a atuação de atores do nicho do biogás e também pressões que a paisagem sociotécnica tem exercido.

No que se refere ao nicho do biogás e sua atuação no processo de reconfiguração sociotécnica do biogás no regime energético, é importante mencionar o papel relevante da Abiogás e do CIbiogás. A Abiogás tem tido importante atuação no que se refere a incorporação do biogás na agenda de instituições relevantes do regime energético, como o MME, a ANP e a EPE, com quem a Abiogás estreitou recentemente o relacionamento e está inclusive suportando o desenvolvimento de uma nota técnica sobre a fonte (de acordo com a fala do diretor da EPE no IV Fórum do Biogás). Um exemplo da importante atuação que a Abiogás vem apresentando pode ser notado no RenovaBio, que em sua versão inicial não considerava o biometano e, após a associação ter reivindicado, prontamente o biocombustível foi incluído no escopo do projeto pelo MME. Pode-se afirmar que este fato gerou otimismo no nicho do biogás, onde atores consideram que quando RenovaBio entrar em vigor será uma janela de oportunidade para criação de um mercado para o biometano no país.

Os dois eventos que forneceram inúmeras informações atuais e relevantes sobre a fonte para subsidiar o que está sendo apresentado neste trabalho, o IV Fórum do Biogás e o seminário realizado pelo BNDES, puderam demonstrar a interlocução de representantes do nicho do biogás com atores do regime incumbente. Como apresentado no capítulo anterior, há atualmente enorme entrosamento entre os representantes da Abiogás e do MME. Isso demonstra a legitimação da fonte na agenda da instituição mais relevante no setor energético

no que se refere ao planejamento e a definição de políticas públicas para o setor e pode efetivamente sinalizar perspectivas positivas para o desenvolvimento do biogás no país.

Além disso, a participação, como palestrantes, de atores relevantes do setor público e privado do sistema sociotécnico energético, tais como o secretário executivo do MME, diretores da EPE, representantes da ANP e ANEEL, assim como representantes de empresas privadas do setor energético e de outros setores, que palestraram com otimismo durante os dois eventos, demonstra a importância que o biogás vem efetivamente conquistando e sua legitimação na agenda destas instituições. Segundo um dos entrevistados, no início desta década o biogás não estava na agenda de nenhuma instituição de relevo do regime sociotécnico energético e agora, mesmo que ainda timidamente, já foi inserido.

No entanto, é importante frisar que ainda não há um sólido conjunto de atores que possa influenciar a regulação e políticas públicas no Brasil e é importante que outras instituições e agentes atuem de forma alinhada. Não apenas associações e instituições que representem os interesses do setor, mas também empreendedores que tenham relevância no mercado, para ajudar a legitimar a viabilidade de projetos a biogás no país. Transições sociotécnicas geralmente contam com atores principais para a coordenação de sua ocorrência, chamados por Hughes (1979) de “construtores de sistemas” (*system builders*), que geralmente são empreendedores visionários que estão dispostos a correr riscos para provar a viabilidade de uma nova tecnologia. O sucesso de plantas como das empresas CS Bioenergia, Biogás Bonfim, Ecometano e Ecocitrus, que podem ser denominadas de construtores do sistema, poderá estimular a estruturação de novos projetos a biogás no Brasil. Diferentes atores do regime energético presentes no IV Fórum do Biogás e no seminário realizado pelo BNDES afirmaram que a partir do sucesso da Biogás Bonfim, por exemplo, novas iniciativas de produção de biogás no Brasil, principalmente no setor sucroenergético, poderão despontar.

Em relação a atuação do CIBiogás, ela tem sido muito relevante na difusão de empreendimentos na esfera rural do Estado do Paraná que têm se apresentado como empreendimentos pioneiros. Além disso, o conhecimento a partir de pesquisa laboratorial e experiência na estruturação e operação de unidades produtoras de biogás tem permitido enorme aprendizado em seu nicho. A instituição também se mostrou relevante recentemente para estimular que um agente do regime incumbente, uma instituição financeira, passasse a oferecer crédito para unidades produtoras de biogás de sua região de atuação. É importante ressaltar o fato do CIBiogás ser associado a uma instituição muito relevante no regime

sociotécnico energético brasileiro, que é a Itaipu Binacional. No momento que a Itaipu cria uma instituição dentro de sua estrutura para pesquisar e disseminar o biogás, isso associa mais credibilidade e segurança a fonte, que pode passar a transitar na esfera de interesse de um número maior de agentes.

Outra atuação relevante do CIBiogás se refere a difusão de conhecimento sobre o biogás. Através de alguns cursos online, que podem ser acessados de qualquer local, a instituição tem despertado interesse e difundido informações sobre o biogás e seu potencial energético.

Um ponto interessante sobre as duas instituições acima se refere às empresas associadas a elas. Conforme a Figura 73 e a Figura 74 apresentam, há agentes importantes do regime sociotécnico energético entre os associados das instituições, o que demonstra o crescente interesse sobre o tema dentro do regime. Empresas como a Siemens, GE, Caterpillar e Eletrobras são associadas às instituições e demonstram estar atentas ao tema.



Figura 73: Instituições associadas à Abiogás
Fonte: Abiogás, 2017



Figura 74: Instituições associadas ao CIBiogás
Fonte: CIBiogás, 2017

Além da Abiogás e do CIBiogás, algumas empresas que investiram na fonte no Brasil, a maioria delas que já atuavam em outros setores produtivos, também tem papel relevante na difusão do biogás no país. Um exemplo é a Ecometano, mencionada diversas vezes ao longo do trabalho, que foi um agente de extrema relevância, por interesse próprio, no processo de definição dos parâmetros de qualidade estabelecidos pela ANP para liberação da utilização do biometano produzido a partir de gás de aterros e de resíduos de ETEs. A empresa investiu tempo e estrutura para que diversos testes fossem realizados e a agência reguladora pudesse publicar a Resolução nº 685/2017 com segurança.

A Ecocitrus também tem papel relevante no nicho do biogás. Originalmente uma cooperativa de citricultores, que começaram a realizar a compostagem a partir de resíduos orgânicos recebidos por outras empresas como forma de diversificação de seu portfólio de serviços, a empresa viu no biogás, especificamente o biometano, um produto com grande potencial econômico, social e ambiental. Por conta disso, a partir de duas lagoas instaladas inicialmente em caráter de pesquisa e desenvolvimento, o biometano gerado tem servido para apoiar os avanços que vem ocorrendo em relação à fonte no estado do Rio Grande do Sul e legitimar o interesse da distribuidora local para demandar o GNVerde, assim nomeado pela Sulgás. O projeto da Ecocitrus serviu como parâmetro para entendimento sobre a fonte.

A atuação desses atores no nicho do biogás, já estabelecidos em diferentes regimes, demonstra o interesse de agentes de regimes incumbentes pela fonte, que tem crescido, principalmente recentemente com a expectativa de estabelecimento de um mercado para o biometano.

Outro fato relevante que precisa ser mencionado e atesta que o biogás começou a dar seus primeiros passos rumo ao regime sociotécnico energético, se refere à Usina Biogás Bonfim, que venceu um Leilão de Energia em 2016, conforme já mencionado. Este fato é considerado emblemático para o nicho e também para o regime energético sociotécnico, mas é relevante ressaltar que a presença de um ator do regime sociotécnico energético com robustez operacional e financeira por trás do empreendimento, pode ter sido o diferencial para permitir o preço praticado no certame. De qualquer forma, como defendido por alguns autores que pesquisam sobre transições, muitas vezes o interesse de atores estabelecidos no regime incumbente pode ser decisivo na difusão de novas tecnologias e esse parece ser um dos caminhos para o desenvolvimento do biogás no país.

No entanto, é importante ressaltar, mesmo pelo fato de um empreendimento a biogás ter concorrido e vencido, pela primeira vez, em uma concorrência via leilão, que a tecnologia ainda se encontra majoritariamente concentrada em seu nicho sociotécnico. O biogás, conforme apresentado anteriormente, teve seu uso para fins energéticos iniciado no país na década de 70 com projetos de pequena escala, concentrados em unidades familiares ou agrícolas de pequeno porte e a energia térmica e elétrica eram as mais comumente utilizadas a partir da fonte. A maioria das unidades produtoras de biogás no Brasil ainda gera eletricidade e energia térmica para autoconsumo, tendo o investimento em biodigestores e geradores o objetivo inicial de diminuir os custos com eletricidade e também apoiar a melhor gestão de resíduos nas propriedades.

Na década de 80, aterros sanitários começaram a captar o metano e ao invés de apenas queimá-lo em flares, iniciar a produção de energia a partir dele. Nesse momento são estruturados os primeiros projetos de maior porte associados ao biogás no país e ocorre a interação multi-regimes defendida por Raven (2007) entre o regime de resíduos e o regime energético, mesmo que ainda de forma não devidamente estruturada. No entanto, todas as iniciativas eram pontuais e não representaram avanços significativos para legitimar a fonte em nenhum dos dois regimes. A solução mais interessante na interação entre o regime energético e de resíduos seria inicialmente o estímulo a melhor gestão de resíduos no país, que propagasse, por exemplo, a separação entre resíduos orgânicos e não orgânicos. Dessa forma, unidades biodigestoras poderiam ser estruturadas significando avanços nos dois regimes. A melhor gestão de resíduos e o estabelecimento de uma forma mais produtiva de geração de biogás.

Neste sentido, seria relevante para acelerar o processo de difusão do biogás no país, que não apenas o regime energético e o de resíduos alocassem esforços em prol da fonte, mas também que o regime de transportes, agropecuário, por exemplo, pudessem incorporar o biogás como alternativa para melhor gerir seus desafios ambientais, tais como emissão de GEE e outros poluentes e os resíduos gerados. A interação multi-regimes, defendida por Raven (2007), poderia potencializar a difusão do uso do biogás no país e gerar benefícios para todos os envolvidos através de diferentes tipos de interação conforme apresentados na Tabela 2.

Uma questão relevante que legitimou o avanço do biogás no regime sociotécnico energético se refere ao estabelecimento de avanços normativos. O reconhecimento dado pela ANP ao biometano, a inclusão da projeção da fonte no último PDE publicado pela EPE, a inclusão do biometano no RenovaBio e as políticas e iniciativas estaduais em relação à fonte, demonstram o espaço crescente que ela tem recebido no regime energético incumbente. No entanto, apesar dos avanços regulatórios e normativos estabelecidos, conforme apresentado no capítulo anterior, a fonte ainda não possui expectativa produtiva expressiva e demanda dentro do regime energético incumbente. Além disso, por conta de pressões diferentes da paisagem sociotécnica, como apontado por alguns entrevistados, que são controversas, tanto estimulando a trajetória rumo à sua legitimação no regime, como atuando para mantê-lo em seu nicho sociotécnico, tais como, por exemplo, o aumento do preço da gasolina e da eletricidade, que fazem o biogás se tornar mais competitivo, como a crise econômica, que faz com que as empresas e empreendedores não estejam dispostos a investir na fonte.

No que se refere a paisagem sociotécnica, é relevante destacar sua relevância para o desenvolvimento do biogás no país. Desde as primeiras iniciativas de pequena escala na década de 70, mudanças como as elevações bruscas no preço do petróleo foram relevantes para estimular o estabelecimento de seu nicho. Em período posterior, pressões relacionadas ao aquecimento global e a criação de um mecanismo global de transação de carbono também foram importantes para que projetos a biogás fossem estruturados no Brasil. Neste segundo momento a difusão da captação do gás metano de aterros acabou sendo a mais difundida. Recentemente, a questão climática, os compromissos relacionados assumidos pelo Brasil, assim como a busca por aumentar a renovabilidade das matrizes energéticas mundiais e suas respectivas pegadas de carbono, também exercem influência no desenvolvimento de novos projetos a biogás. De qualquer forma, mesmo ainda sendo

incipiente sua difusão no regime sociotécnico energético, é importante salientar a importância que a paisagem tem exercido neste processo. Segundo De Oliveira (2016), contextos externos ao setor sempre desempenharam papéis relevantes em seu desenvolvimento no país.

Em resumo, pode-se considerar que há motivos para o otimismo em relação ao desenvolvimento futuro do biogás no país. Pelo fato de diversos agentes do governo federal afirmarem que o biogás está definitivamente na agenda do governo; da geração de eletricidade a partir do biogás ter crescido 30% no último ano, mesmo que em termos absolutos ainda seja bastante inexpressiva (EPE, 2017); de conseguir ter sido facilmente incluído no novo plano do governo para desenvolvimento de biocombustíveis (RenovaBio) que está para ser lançado; e por projetos importantes terem saído do papel como o Aterro Caieiras em São Paulo, considerada a maior termelétrica da América do Sul movida a energia renovável (Canal Bioenergia, 2017), e a planta da CSBioenergia, ainda mais inovadora, que usa lodo de esgoto e restos de alimentos na produção do biogás, no Paraná; para geração de 2.8 MW de energia elétrica; tudo isso respalda o crescente interesse pela fonte no país.

A partir dos avanços regulatórios recentes, que legitimaram o biogás como alternativa energética (biocombustível) no regime incumbente, novas plantas devem entrar em operação e alguns projetos experimentais passarão a ser comerciais, como é o caso da planta de produção de biometano da Ecocitrus no Rio Grande do Sul, que apenas aguarda a chamada pública da Sulgás para comercializar sua produção, que tem capacidade de gerar em torno de seis mil Nm³/dia de biometano. Além disso, a indústria de base, de motores estacionários e automotivos, já está oferecendo novas soluções no Brasil. Segundo o presidente da Abiogás, já há automóveis de fábrica, movidos a biometano, assim como caminhões, tratores e ônibus rodando pelo Brasil (CANAL BIOENERGIA, 2017) e esse mercado tem enorme potencial de aumentar nos próximos anos.

No que tange a pesquisa acadêmica sobre o biogás, há atualmente grande interesse pela fonte, o que pode ser comprovado pelo crescente número de pesquisas e publicações científicas sobre o biogás no Brasil. Ainda não há grupos específicos sobre o biogás na maioria das universidades brasileiras, mas ele acaba sempre sendo explorado em grupos que pesquisam sobre biomassas e fontes alternativas de energia. De acordo com o CNPQ⁷⁹ (2017), a partir do nome da fonte (biogás), há 93 grupos de pesquisa relacionados de alguma

⁷⁹ http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf

forma ao biogás estudando o tema no Brasil, no entanto apenas dois grupos contêm o nome biogás no nome do grupo, conforme apresenta a Tabela 35, sendo um grupo na Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), localizada no Rio Grande do Sul, e outro na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Os dois grupos são da área de engenharia, o que pressupõe um olhar mais técnico, faltando talvez o estabelecimento, pela complexidade e diversidade de sistemas de biogás, de grupos que enfoquem em questões sociais, políticas, organizacionais e institucionais, que são as questões mais críticas atualmente para o desenvolvimento da fonte no país.

Tabela 35: Consulta sobre grupos que pesquisam sobre o biogás na base do CNPQ



Consulta Parametrizada

INSTITUIÇÃO	GRUPO	LÍDER	2º LÍDER	ÁREA PREDOMINANTE
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES	Biogás: estudo de diferentes substratos	Odorico Konrad	-	Engenharias
Universidade Federal do Rio de Janeiro	PEBB - Programa Interdepartamental de Estudos em Engenharia de Biogás e Biometano	Carlos Alberto Nunes Cosenza	Donato Alexandre Gomes Aranda	Engenharias

Total de registros: 93

Fonte: Pesquisa base CNPQ, 2017

A partir da análise apresentada acima, a transição para o uso do biogás no Brasil pode ser resumida pela Figura 75, onde seu nicho é formado por agentes atuantes que já investem e produzem, ainda em sua maioria, para autoconsumo de energia elétrica e térmica. Onde instituições como a Abiogás e CIBiogás tem importante atuação e o Fórum do Biogás representa o evento mais relevante até o momento no cenário nacional.

No que se refere ao regime, o biogás se relaciona com diferentes regimes, mas precisa avançar essa interação para acelerar seu desenvolvimento. No regime energético, regime mais relevante para o biogás, recentemente avanços importantes foram obtidos e simbolizam uma legitimação da fonte no regime. Barreiras regulatórias foram ultrapassadas e sinalizaram uma perspectiva positiva para o desenvolvimento da fonte no país. Um exemplo foram as novas resoluções da ANP já citadas anteriormente. Além disso, o biogás já faz parte da agenda de outros regimes, se mostrando como uma alternativa interessante para outros sistemas sociotécnicos, como o de resíduos e o da agropecuária, por exemplo. Chamadas públicas como a da Sulgás, políticas estaduais, a incorporação do biometano em uma nova proposta de política do governo federal de incentivo à biocombustível (RenovaBio), isso tudo demonstra o avanço do biogás do nicho para o nível do regime, ainda inicial, mas já representando um desenvolvimento importante. O trabalho realizado

pela GIZ em parceria com o MCidades também foi um acontecimento relevante para o desenvolvimento da fonte e a EMBRAPA dedicar esforços para pesquisar sobre a fonte, especificamente o digestato, assim como o BNDES, mais recentemente, também conferem legitimação à fonte no regime incumbente.

No que se refere à paisagem sociotécnica, que tem papel relevante no impulsionar do desenvolvimento do biogás, quando, por exemplo, por conta de aumentos no valor do petróleo ou crises de escassez de oferta de outros energéticos fizeram com que países passassem a investir na fonte. No entanto, ela pode representar forças contraditórias, tanto impulsionando que o biogás saia de seu nicho sociotécnico e se legitime nos regimes ou que ele continue preso ao seu nicho. No caso do Brasil atualmente, a crise econômica pode ser uma força que desestimize o desenvolvimento do biogás, enquanto o aumento do preço da gasolina que vem ocorrendo nos últimos meses, assim como maior pressão internacional para conter a emissão de GEE, podem ser pressões para que a fonte ganhe cada vez mais espaço em diferentes agendas, tais como a energética e a ambiental, por exemplo.

Análise da transição para o uso do biogás a partir da PMN

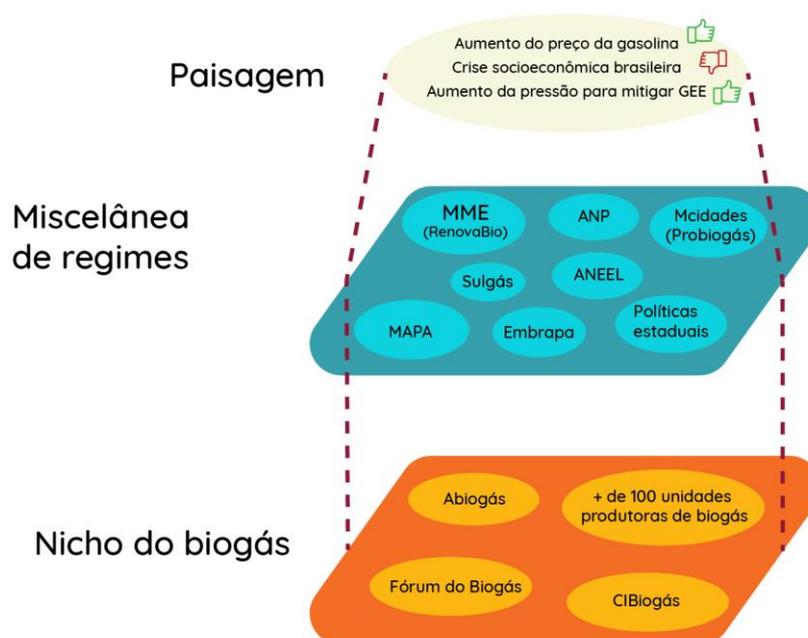


Figura 75: Análise da transição para o uso do biogás a partir da PMN
Fonte: Elaboração própria, 2017

Diante do acima apresentado, pode-se afirmar que houve um pequeno avanço na difusão do biogás no Brasil, numa trajetória defendida por este trabalho dentro da tipologia de reconfiguração. Esses pequenos passos rumo ao regime sociotécnico energético foram

alcançados, principalmente, por conta dos avanços regulatórios e o estabelecimento de políticas públicas específicas em relação ao biogás e ao biometano em alguns estados brasileiros. As regulações da ANP, por exemplo, podem ser consideradas um passo fundamental rumo ao estabelecimento de um mercado para a fonte, via comercialização do biometano e talvez acelere o processo de transição, pelo fato do gás de aterro, que foi regulamentado pela Resolução ANP nº 685/17 poder ter sua exploração mais imediata. No entanto, as resoluções por si só não são suficientes, havendo necessidade do estabelecimento de instrumentos que estimulem a oferta do biometano, por exemplo, garantindo uma demanda do biocombustível, para que a fonte ganhe a escala que necessita e a sociedade a reconheça como alternativa energética e passe a demanda-la. O ideal, numa sociedade mais consciente, seria que os consumidores finais associassem valor ao uso do biogás e do biometano, por conta dos benefícios ambientais promovidos por sua produção e utilização. Sem políticas de estímulo, os consumidores finais respondem essencialmente ao melhor preço e não levam em conta externalidades positivas da fonte.

A difusão da fonte tem conseguido avançar até o momento graças a atuação de atores persistentes do seu nicho sociotécnico, que mesmo frente às adversidades regulatórias, tributárias, comerciais, tecnológicas e culturais, acreditaram e acreditam na fonte e em seu potencial de ganhos energéticos e financeiros. Se no caso da Suécia, que apresentou grande avanço nos últimos anos na utilização da fonte, especificamente na utilização do biometano como combustível veicular, a transição ainda está concentrada no nicho, o Brasil ainda precisará evoluir bastante para avançar seu processo de transição para uso do biogás e para que ele se legitime no regime.

Mudanças na paisagem sociotécnica também terão relevância na legitimação da trajetória de desenvolvimento do biogás no país. Em um contexto em que a preocupação com questões climáticas se concentra apenas na retórica, o biogás também deve ter dificuldades de avançar na sua trajetória de difusão. Já em locais onde o compromisso com a redução de GEE é real, ele passa a se tornar um energético atrativo e estratégico a ser fomentado. Em contextos onde também há sério compromisso com gestão de resíduos, o biogás tem mais chances de ver seu uso difundido. O Brasil, como inúmeras vezes apresentado neste trabalho, apesar de ter a PNRS instituída desde 2010, não vem apresentando avanços neste quesito. Por conta disso, para que a transição para o uso do biogás no país se consolide, mudanças não apenas no regime energético precisam ocorrer, mas também em outros regimes, principalmente no de resíduos. Os casos sueco e alemão

demonstram que transformações no regime de resíduos, contribuíram para legitimar o biogás como alternativa energética nos dois países.

No tópico seguinte serão resumidos os principais entraves abordados ao longo deste capítulo, que precisam ser superados para permitir o avanço na trajetória de reconfiguração do biogás no país.

6.2 Resumo dos principais entraves para o desenvolvimento do biogás no país

No que se refere aos entraves para a difusão do uso do biogás no país, pode-se inicialmente indicar temas estratégicos que precisam avançar para permitir que o biogás se estabeleça como uma alternativa energética confiável no regime sociotécnico energético. Primeiramente, serão abordados entraves genéricos, que se aplicam a qualquer fonte, para em seguida abordar desafios especificamente relacionados ao biogás.

Entraves genéricos

Um dos fatores que afetam o desenvolvimento de energia renovável é a disponibilidade de recursos, sejam recursos físicos para produção da energia (no caso do biogás, os substratos), sejam recursos financeiros. Uma questão relevante se refere a viabilidade econômica de aproveitar o recurso renovável. Geralmente, em localidades onde não há alternativas para produção de eletricidade ou combustível e que possuem alto custo com esses ativos energéticos, pode haver maior incentivo para desenvolvimento de plantas a biogás.

Mesmo em áreas onde haja alta disponibilidade de recurso para geração de energia, o custo da tecnologia pode ser um fator limitante para o desenvolvimento. Políticas públicas podem reduzir os custos através de incentivos ou incentivando a pesquisa e o desenvolvimento.

Como abordado no item anterior, a paisagem tem influência direta no desenvolvimento do biogás e outras renováveis. O contexto econômico pode influenciar o desenvolvimento das energias renováveis de forma positiva ou negativa.

A questão de aceitação social também é um ponto relevante. O nível de apoio público pode influenciar muito o desenvolvimento da energia renovável. Quando se consolida um movimento de oposição a alguma fonte, isto pode prejudicar seu desenvolvimento. Por conta disso, o envolvimento das partes interessadas e uma boa estratégia de relacionamento e comunicação com atores relevantes e do entorno a uma nova

planta de energia, são itens importantes para promover melhor aceitação pública. A estrutura de propriedade de projetos de energia, que beneficiem de alguma forma a localidade onde eles estão inseridos, pode também afetar a aceitabilidade de um projeto.

Um último ponto se refere ao acesso ao financiamento. O design e disponibilidade de mecanismos de financiamento podem afetar o desenvolvimento de projetos de energia renovável. Existem várias barreiras comuns à obtenção de financiamento para projetos de energia renovável. As instituições de financiamento podem considerar as tecnologias novas ou em rápida evolução como excessivamente arriscadas; os desenvolvedores de projetos podem ser novos no mercado e, portanto, terem dificuldade de acessar crédito; e taxas de financiamento e procedimentos administrativos podem ser proibitivos para pequenos empreendedores. Aqui também a política pública é relevante para superar essas barreiras e disponibilizar financiamento para um espectro mais amplo de projetos que representam uma variedade de estruturas de propriedade.

Entraves específicos

Neste sentido, a questão de acesso a financiamento, é um dos maiores desafios do nicho do biogás no Brasil. Este item foi apontado por todos os entrevistados como um dos maiores entraves para a construção de novas plantas. Por ser uma tecnologia ainda pouco disseminada no país, as instituições financeiras não possuem muito conhecimento sobre a fonte e suas especificidades. De acordo com agentes do setor, muitas vezes os requisitos para obtenção de financiamento não se aplicam a projetos de biogás, impedindo que o acesso a crédito ocorra ou tornando o processo muito custoso para o empreendedor. Diante disso, o papel do governo é bastante relevante para impulsionar a abertura de linhas de crédito específicas para o setor e disseminar informação para os agentes financeiros públicos e privados sobre a fonte.

A questão da comprovação da quantidade e qualidade do combustível também é considerada ainda um ponto crítico para o desenvolvimento de plantas de biogás no país. No caso de plantas centralizadas, a garantia que a quantidade necessária de substrato chegue à planta biodigestora é fator crítico para acesso à crédito e participação de processos concorrenciais como leilões e chamadas públicas. Um planejamento estratégico e gestão atuante são fatores fundamentais em projetos de maior escala de produção de biogás, que precisam considerar cenários alternativos quando o substrato não é gerado no próprio local de produção do biogás e também o estabelecimento de reservas para situações onde ocorra falta de fornecimento do substrato.

No que se refere às políticas públicas, apesar das iniciativas legislativas em alguns estados brasileiros em prol do desenvolvimento da fonte, há carência de objetividade nas mesmas. Um sistema de metas e prazos específicos poderia estimular de forma eficaz o desenvolvimento do setor em regiões com grande quantidade de substratos disponíveis. Geralmente, as legislações são vagas e não estipulam números a serem alcançados em prazos definidos, o que daria maior segurança e previsibilidade para investimentos no setor. Além disso, os resultados não são acompanhados e nem mesmo publicados. Países da União Europeia, por exemplo, a partir das diretivas da Comissão Europeia, têm metas e políticas bem definidas para a difusão das energias renováveis e dos biocombustíveis. Elas são acompanhadas e divulgadas periodicamente. No Brasil, a Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada se compromete a expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de NER no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar, mas não estabelece metas para cada uma das fontes, por exemplo. O estabelecimento de metas claras poderia ser um fator importante para o sucesso de políticas públicas e de mecanismos de fomento. A avaliação periódica das mesmas, de forma transparente e compreensível também é de grande importância. No caso das legislações citadas no artigo, não foi encontrado nenhum documento em relação aos resultados alcançados até o momento ou à evolução do uso da fonte.

Outra questão importante em alguns países que são considerados referência na utilização do biogás, se refere ao estabelecimento de legislações rigorosas em relação à gestão de resíduos sólidos urbanos e rurais. A Agência Internacional de Energia (2017) enfatiza a relevância da melhoria do arcabouço regulatório relacionado a essas questões, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, para que o biogás possa ser melhor aproveitado energeticamente. Tanto na União Europeia quanto nos Estados Unidos, a existência de uma legislação ambiental mais restritiva em relação ao tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos e agropecuários e efluentes líquidos, bem como sobre as emissões de metano, foram fundamentais para a expansão do aproveitamento energético do biogás (ZANETTE, 2009).

Sobre a consolidação de dados sobre a fonte, ação importante para o melhor estabelecimento de políticas públicas, não há uma instituição de referência sobre o setor na esfera pública que consolide informações e estatísticas atualizadas sobre o biogás no país (BLEY, 2015). Ainda não existe uma estatística oficial sobre ações com biogás/biometano

no Brasil, que possa ser divulgada periodicamente e servir de estímulo e exemplo para novos empreendimentos, talvez o WebMap EPE e atualizado possa se tornar essa base de dados sobre o setor, mas precisa ser aprimorada. Nos Estados Unidos, por exemplo, os programas de aproveitamento do biogás são coordenados pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), que consolida e disponibiliza informações sobre o setor e realiza o acompanhamento dos projetos em sinergia com os departamentos de energia e agricultura (ZANETTE, 2009). Raven e Gregersen (2007) enfatizam que o sucesso do Programa de Biogás dinamarquês foi a coordenação entre diferentes departamentos do governo. No caso da Noruega, foi instituída uma equipe governamental para acompanhar o desenvolvimento da fonte. Engenheiros visitavam mensalmente as plantas em implantação para acompanhar e monitorar o processo e os resultados eram publicados em uma revista chamada Biogas Nyt (RAVEN & GREGERSEN, 2007).

Em relação às isenções fiscais, é importante, assim como outras fontes renováveis tiveram acesso, que seja avaliada a concessão de benefícios para o setor de equipamentos para produção de biogás. A iniciativa do estado de São Paulo, que isentou de ICMS o maquinário para geração e tratamento do gás, poderia ser replicada em outros estados com expressivo potencial.

Em relação à tributação, uma questão específica que precisa avançar se refere ao limite estabelecido pelo Convênio ICMS nº 16 de 22 de abril de 2015. O convênio promoveu um avanço ao estabelecer a possibilidade, caso o estado faça sua adesão, de autorizar a concessão de isenção do ICMS 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. No entanto, a aplicação da isenção da cobrança do ICMS se restringiu a unidades consumidoras de GD, cuja potência instalada seja, respectivamente, menor ou igual a 100 kW e superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW não acompanhando assim a atualização feita pela Resolução Normativa nº 687 de 2015 da ANEEL. Essa questão para unidades que utilizam o biogás gera impacto considerável e inibe o crescimento de novas unidades conectadas a rede e gerando energia elétrica de forma descentralizada a partir do biogás. Principalmente no meio rural, onde muitas propriedades poderiam gerar energia a partir de enormes quantidades de resíduos, essa questão da tributação aparece como um entrave relevante, pois impede a otimização por maior escala produtiva. Por conta disso, o número de unidades consumidoras que utilizam o biogás para gerar energia atualmente se mantém bastante inexpressivo (57 unidades) frente

ao total (16.201 unidades) (ANEEL, 2017). Até novembro de 2017, 16 estados brasileiros haviam aderido ao convênio⁸⁰.

Um ponto bem específico, sobre plantas centralizadas de biogás, se refere ao seu processo de licenciamento. Por ser uma fonte nova no radar dos órgãos licenciadores, seu processo de licenciamento não é homogêneo e claro. Conforme relatos de participantes do IV Fórum do Biogás (2017), a planta da Geonergética foi licenciada, segundo seu representante, de forma muito célere pelo órgão ambiental paranaense. Já o representante da planta da CS Bioenergia, que começará a produzir biogás a partir de lodo de esgoto e resíduos orgânicos alimentares, relatou dificuldade no seu processo de licenciamento realizado pelo mesmo órgão ambiental do estado do Paraná. Diante disso, sugere-se que organizações já atuantes em prol do biogás promovam workshops e encontros com técnicos dos órgãos ambientais de licenciamento para que informações sobre a fonte sejam divulgadas e alinhadas. Como a questão do licenciamento também foi apontada como um fator crítico para a não habilitação de projetos a biogás que se cadastraram para participar de leilões de energia, isso poderia ajudar a aumentar o número de empreendimentos habilitados para concorrer nos próximos leilões. Nos dois leilões de energia que foram abertos em 2017 (A-4 e A-6), nenhum empreendimento a biogás foi cadastrado.

No que tange à capacitação técnica de mão de obra para atuar em plantas de biogás, um dos entrevistados sinalizou que há necessidade que sejam criados programas de capacitação sobre a fonte para diferentes públicos, desde projetistas até usuários. Apesar do biogás já estar presente no Brasil desde a década de 70, ainda é relevante que haja oferta de cursos técnicos e superiores sobre a fonte no Brasil. Neste sentido, o CIBiogás é hoje uma das referências na oferta de cursos sobre a fonte, principalmente cursos à distância.

Em relação ao subproduto do processo de digestão anaeróbica, apesar de possuir enorme área agriculturável e ser um importador de fertilizantes minerais, o Brasil pode encontrar resistência na utilização do digestato, assim como ocorre em outros países. Em alguns locais ainda há dúvidas sobre o seu impacto ambiental por conta do controle dos componentes dos substratos (plásticos, por exemplo, e outros compentes químicos). Segundo Lantz et al. (2007), houve um acalorado debate na Suécia sobre o uso do digestato na agricultura devido aos relatórios frequentes que apontavam indesejáveis substâncias neles. Como consequência, a Federação dos Fazendeiros Suecos recomenda o não uso de

⁸⁰Os seguintes estados aderiram ao Convênio 16 do CONFAZ: RN, CE, TO, BA, MA, MT, DF, AC, AL, MG, RJ, RS, RR, PA, MS e AP.

fertilizantes advindos das estações de tratamento de efluentes e para garantir a qualidade do digestato uma série de regras e acordos voluntários foram estabelecidos e o mesmo poderia ocorrer no Brasil para estimular o uso do digestato e assim deixar de enviar para fora do país receitas que poderiam ser investidas aqui (com a importação de fertilizantes minerais).

Em relação à aceitação pública, em alguns locais há resistência para o estabelecimento de plantas de biogás por parte de vizinhança ou autoridades por receio da intensa atividade de transporte associada e a possível emissão de odores. Plantas piloto de biogás, assim como a disseminação de casos de sucesso já em operação, podem ajudar a mudar a opinião pública sobre o receio em relação à fonte. Uma disseminação ativa de informações sobre a fonte, que enfatize seus benefícios socioambientais, também é muito relevante para superar barreiras como conhecimento limitado e a aceitação pública da fonte. Além disso, se fosse possível internalizar na precificação do biogás os benefícios ambientais de sua utilização (ou retirar os custos que poderiam ser considerados para tratar essas questões de outras formas), ele poderia se tornar competitivo frente a fontes consideradas mais acessíveis economicamente e isso poderia ser relevante para estimular sua expansão no país.

Para finalizar, assim como está ocorrendo na Suécia de acordo com Lonnqvist (2017), a baixa previsibilidade dos instrumentos de políticas públicas e o espaço crescente que o desenvolvimento dos carros elétricos tem ganhado nas agendas públicas e privadas, pode também representar entraves para a difusão do biogás como alternativa energética e uma última questão, que se refere ao período prolongado de baixos preços do petróleo, também tem impactado negativamente a transição para o uso do biogás. Se as fontes fósseis tivessem refletidas em seus preços as externalidades negativas que geram e os enormes subsídios que recebem fossem retirados (FMI, 2015), o biogás poderia ganhar espaço e melhor competir com fontes energéticas maduras e estabelecidas. Na Figura 76 são resumidos os principais desafios para que a trajetória de difusão do biogás no Brasil continue ocorrendo. Pode-se destacar, como os pontos mais críticos, a questão da financiabilidade, da visibilidade que a fonte precisa adquirir no mercado nacional e sua competitividade, todas questões que precisam ser alavancadas e que permitirão que os demais desafios sejam mais facilmente superados.

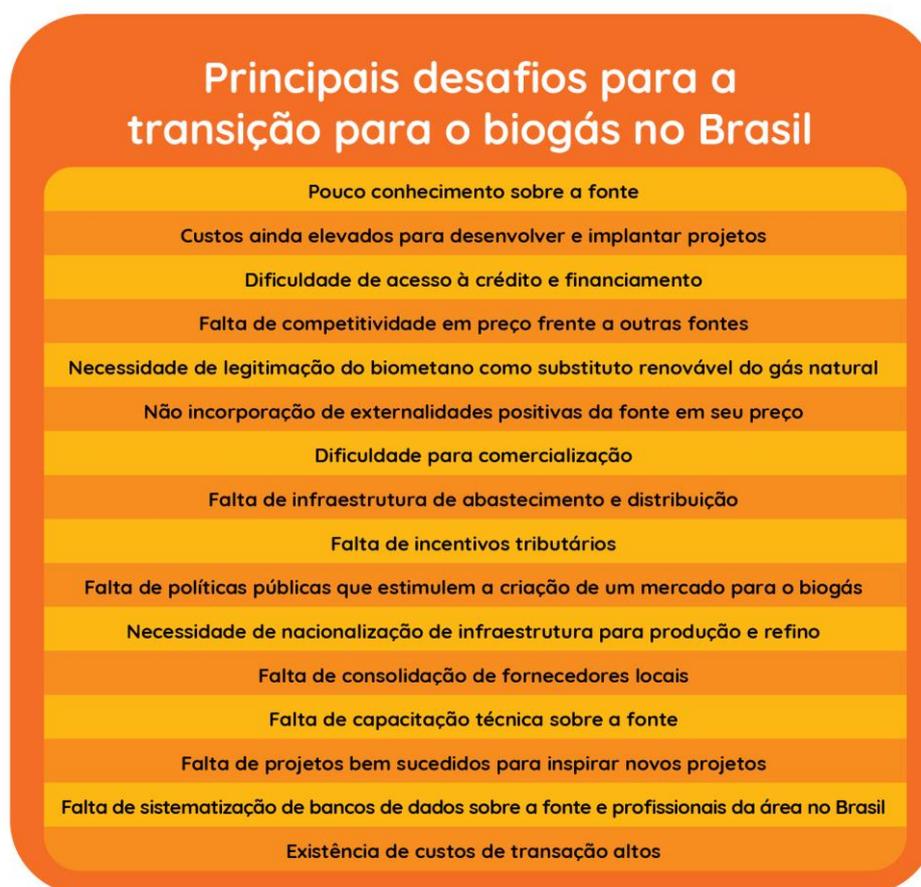


Figura 76: Principais desafios para a transição para o uso do biogás no Brasil
Fonte: Elaboração própria, 2017

7. CONCLUSÃO

O uso do biogás como recurso energético não é recente no mundo, no entanto, apesar do enorme potencial existente, a fonte ainda não despontou no Brasil como outras renováveis e encontra dificuldades para ter sua produção e uso difundidos. A fonte é considerada versátil na ótica da oferta e da demanda, pois pode ser produzida a partir de diferentes substratos e utilizada para diferentes fins (eletricidade, combustível e aquecimento). Além disso, por utilizar resíduos como substratos em seu processo produtivo, o biogás também apresenta benefícios socioambientais, promovendo a melhor gestão de resíduos orgânicos urbanos e rurais e a consequente redução da emissão de gás metano, potente GEE, e de outros poluentes do ar, do solo e da água.

Diante disso, o biogás, quando produzido a partir de biodigestores, transforma resíduos em recursos, não apenas recursos energéticos, mas também financeiros, pelo custo evitado com o gasto que seria efetuado para o consumo dessa energia e também, caso o biogás seja comercializado, pelo ganho financeiro que pode ser obtido pela venda da energia e também do digestato. O ciclo produtivo do biogás permite transformar um passivo ambiental (resíduos orgânicos) em ativo energético em um ciclo fechado e que estaria em linha com a lógica, por exemplo, da economia circular. É importante ressaltar também que a geração de biogás dessa forma está alinhada também com a hierarquia para melhor gestão de resíduos que é indicada pelo IPCC (2014) e seguida pelo Brasil (PNRS, 2010). Esse processo produtivo do biogás via biodigestores é sintetizado na Figura 77 que demonstra como a produção de biogás a partir da biodigestão acaba seguindo uma lógica circular, tema que está bastante em voga no setor público e privado atualmente, frente a uma escassez crescente de recursos com a qual a sociedade vem se deparando.



Figura 77: Resumo do ciclo produtivo do biogás (via biodigestão)
Fonte: Elaboração própria, 2017

Diante do acima exposto, esta tese analisou o processo de transição para o uso do biogás no Brasil a partir da abordagem proposta pela perspectiva multinível e defende que seu processo de transição, que pode ser definido dentro da tipologia da reconfiguração, já foi iniciado, mas ainda se encontra em estágio inicial de sua trajetória de difusão. O processo de transição para o uso do biogás no Brasil já conseguiu obter avanços emblemáticos até o momento graças a atores persistentes do seu nicho sociotécnico, que mesmo frente às adversidades regulatórias, tributárias, comerciais, tecnológicas e culturais, acreditaram e acreditam na fonte e em seu potencial. Os recentes avanços regulatórios, especificamente em relação ao biometano, demonstram o início da legitimação da fonte no regime sociotécnico incumbente e se apresentam como um dos pontos principais para este avanço do biogás do nicho para o regime sociotécnico energético.

No entanto, para que a transição para o uso do biogás ganhe velocidade e se concretize no país, alguns entraves precisam ser superados, sendo os principais a falta de linhas de financiamento específicas para a fonte, que apesar de hoje ser contemplado em diversas linhas de crédito, não consegue ser facilmente acessada por atores do seu nicho por não ter suas especificidades compreendidas por agentes financeiros; a falta de políticas públicas que incorporem a fonte e seus atributos e que possam estimular sua demanda, assim

permitindo que ela consiga concorrer em preço com fontes já estabelecidas no regime; e falta de conhecimento sobre a fonte, que precisa ser difundida, assim como seus benefícios ambientais, entre a sociedade, agentes públicos e privados, para que possa, de forma definitiva entrar no portfólio energético brasileiro. De forma resumida, frente aos entraves apresentados na figura 76, os três grandes desafios que precisam ser superados para acelerar a transição para o uso do biogás como ativo energético no Brasil seria a necessidade da fonte ganhar maior visibilidade e legitimidade, ter maior financiabilidade e aumentar sua competitividade.

A partir das experiências internacionais apresentadas, demonstrou-se que o desenvolvimento do biogás em outros contextos foi suportado por políticas públicas específicas que beneficiaram a fonte. Por conta disso, sugere-se, até a fonte ganhar robustez, escala e mercado, alguns mecanismos que poderiam ajudar sua difusão, como: isenção fiscal de itens específicos necessários em seu processo produtivo até se consolidar a oferta nacional dos mesmos, estabelecimento de mercados ou garantias de compra do energético gerado, como, por exemplo, a chamada pública da Sulgás, instituição de linhas de crédito específicas para plantas de biogás e biometano considerando as especificidades da fonte, replicação para todos os estados de políticas de desconto do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) para automóveis com kit gás instalado, maior divulgação de mecanismos facilitadores de acesso à kit gás para veículos, conforme o promovido pela CEG Gás Natural Fenosa no Rio de Janeiro, e, uma das propostas mais importantes, e que poderia implicar na não necessidade de atuação estatal em prol da fonte, a incorporação no preço do biogás e do biometano dos benefícios socioambientais promovidos quando o biogás é gerado por meio de plantas biodigestoras e utilizado como substratos resíduos, que dessa forma são melhor geridos. Além disso, se ocorresse a incorporação nos preços de fontes fósseis de suas externalidades negativas, o preço do biogás poderia se tornar mais competitivo sem necessitar de suporte governamental. No entanto, apesar do atual governo brasileiro ter incluído a questão das externalidades em seus planos e políticas, ainda existe um abismo entre a edição de leis (regulamentação) e seu cumprimento.

Outra questão muito importante para a transição para o uso do biogás avançar se refere ao fato, assim como ocorrido nos casos dos países europeus apresentados, da questão da melhor gestão de resíduos se tornar estratégica na agenda de desenvolvimento do país, o que foi chamado por Raven (2007) de interação multi-regime. Em uma cultura de abundância e desperdício isto parece estar longe de ocorrer. Apesar do avanço regulatório

alcançado, após 20 anos de debates, com a instituição da PNRS em 2010, em termos práticos pouco se avançou no quesito até hoje. Apenas quando houver avanço nessa área, o biogás pode passar a ter relevância estratégica no país. A geração do biogás a partir de resíduos orgânicos atenderia três níveis na hierarquia de resíduos: o reuso; a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes; e a recuperação energética.

Especificamente, em relação ao gás de aterro, apesar de ter sim que ser explorado enquanto o metano estiver sendo emitido para a atmosfera ou queimado em *flares*, essa não pode ser instituída como a solução a ser utilizada a longo prazo no Brasil. Inclusive isso se coloca contra ao que a PNRS institui em seu artigo 3º, que afirma que a disposição final ambientalmente adequada se refere a distribuição ordenada apenas de rejeitos em aterros, sendo os rejeitos definidos pela política como resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Entretanto, o Brasil não cumpre até hoje as diretrizes da PNRS e vem desperdiçando uma enorme quantidade de matéria orgânica, que poderia ser melhor aproveitada em biodigestores.

É importante ressaltar que esta tese defende, antes de tudo, o que é instituído no artigo 7º da PNRS, que apresenta a hierarquia dos resíduos e informa que a gestão de resíduos sólidos no Brasil deveria objetivar a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada apenas dos rejeitos. Neste sentido, a busca por minimizar a geração de resíduos deveria ser o enfoque de qualquer política pública para melhor gestão deste tópico e a busca da separação do lixo orgânico e não orgânico também é outro desafio fundamental que deveria ser perseguido no país. Poderia, por exemplo, haver estímulo, por garantia de oferta de insumo, para investimentos serem feitos em plantas biodigestoras urbanas e rurais para geração de biogás. Os ganhos associados da melhor gestão de resíduos e a maior produtividade e previsibilidade de plantas biodigestoras tornariam o investimento atrativo em grandes centros urbanos, por exemplo.

Apenas como exemplo, atualmente, a cidade do Rio de Janeiro envia seus resíduos, orgânicos e não orgânicos, para o Aterro de Seropédica, que fica a mais de 70 km de distância do centro gerador de resíduos, implicando em altos custos logísticos e grande emissão de GEE e outros poluentes, pois a frota de caminhões de lixo é majoritariamente abastecida a diesel. O sistema poluente que hoje caracteriza nossa gestão de resíduos, se

fosse pensado de forma integrada, poderia se tornar um sistema fechado, que não requereria energia, pois geraria a própria energia de fonte limpa, sustentável e ainda promoveria diversos outros benefícios socioambientais para a sociedade.

No IV Fórum do Biogás, o representante do MME sinalizou que em breve deverá ser publicada uma nova diretriz para que aterros sanitários passassem a buscar a eficiência energética por meio da geração de energia a partir de resíduos. Além disso, o subsídio que hoje é concedido como desconto na tarifa de eletricidade de aterros sanitários, alterará negativamente para estimular que ela passe a ser gerada no local. Melhor ainda seria se outros ministérios se articulassem e tornassem isso mandatório em outros contextos.

Diante disso, como foi defendido ao longo do texto, a tese conclui que para o biogás ganhar espaço no país, além das mudanças no regime energético, precisam ocorrer também avanços no regime de resíduos, agropecuário, de transporte, e interação entre estes e outros regimes. Além disso, é necessário que a paisagem sociotécnica exerça maior pressão nos regimes acima mencionados para que sejam buscadas alternativas melhores e mais sustentáveis frente às alternativas hoje estabelecidas para gestão de resíduos e geração de energia no país.

Desta forma, a reconfiguração para o uso do biogás poderia ganhar maior velocidade e relevância no país. Segundo a Abiogás (2017), só na área de geração de energia elétrica, o biogás poderia suprir 24% de toda energia consumida no Brasil em um ano e, se fosse produzido até 2030, a produção de 30 milhões de m³ por dia de biometano, esta oferta poderia substituir quase 40% do consumo atual de gás natural no Brasil. Isso se torna relevante, por exemplo, em um contexto de escassez do gás natural, como recentemente apontado pela EPE (2017), que informou que a demanda de gás natural em 2023 deverá ser algo em torno de 3 milhões de m³/dia acima da oferta que foi projetada em torno de 120 milhões de m³/dia.

Em suma, o biogás é uma fonte que precisa ser explorada no país e sua transição deveria ser incentivada pelo governo brasileiro. O futuro do papel do biogás na matriz energética brasileira dependerá de como os regimes, não apenas energético, se desenvolverão para considerar a fonte; da contínua atuação dos atores do nicho do biogás, que vêm realizando um excelente trabalho em prol do desenvolvimento da fonte; e de políticas públicas que gerem visibilidade para fonte e suportem sua oferta e demanda, assim como o reconhecimento das externalidades positivas geradas pelo seu uso como energia elétrica, combustível renovável e ainda por conta do digestato. A transição para o uso do

biogás no Brasil traz consigo benefícios energéticos, sociais, ambientais e econômicos, que não devem mais ser negligenciados pelo poder público e privado no Brasil, que concentra um expressivo potencial para sua produção apenas a partir de resíduos orgânicos.

8. RECOMENDAÇÕES DE ESTUDOS FUTUROS

No que se refere às sugestões para pesquisas futuras, um escopo que poderia ser melhor explorado e não foi abordado neste trabalho se refere à difusão de unidades produtoras de biogás em localidades que não há possibilidade de conexão à rede elétrica. Em ambientes rurais, onde ainda há escassez de eletricidade, em um país tão grande e desigual como o Brasil poderia ser interessante a atuação do governo nestas localidades para promover acesso a uma eletricidade renovável e ainda melhor gestão de resíduos. Em locais onde há geração de resíduos orgânicos consideráveis e não dispersos, poderia haver estímulos e fornecimento de créditos para a implantação de unidades biodigestoras, que poderiam ser construídas a partir de diferentes modelos de negócio (cooperativas, parceria público privada, atuação pública para promover acesso a eletricidade e melhor geração de resíduos). Além disso, as questões abaixo poderiam também permitir maior entendimento da fonte e seu desenvolvimento no país:

- Como incentivar o uso do biogás em sistemas isolados no Brasil?
- Como internalizar as externalidades positivas do biogás em sua precificação?
- Quais são os pontos da cadeia de valor e suprimento do biogás mais interessantes para o desenvolvimento no Brasil no curto prazo?
- Quais são os setores (regimes) mais próximos e que poderiam atuar em prol do biogás? Como?
- Quais são os principais serviços de biogás que podem ser facilmente incorporados em outras cadeias industriais no Brasil?

REFERÊNCIAS

- ABILOGÁS. Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano – PNBB. 2015
- ABRAHAM, Pleasa Serin; GUNDIMEDA, Haripriya. Barriers to the Deployment of Low Carbon Technologies: Case Study of ArunTM 160 Solar Concentrator for Industrial Process Heat. 2014.
- ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015. 2015
- ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016. 2017
- AGORA. Energiewende. Report on the German power system. 2016.
- AGUIAR, Alexandre. As parcerias em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos domésticos. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ALMEIDA, E. F.; COLOMER, M. A indústria do gás natural: fundamentos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro: Synergia, 2013.
- AMUNDSON, R.; HOPMANS, J.; OLSON, C.; SPARKS, D. Soil and Human Security in the 21st Century. Science. Vol.348. 2015
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações da Geração. 2016
- ANEEL– Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. 2014.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. <http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00> . Acesso em 23 de fevereiro de 2017.
- BACHA, Carlos JC; ROCHA, Marcelo T. Evolução da participação da agropecuária no PIB brasileiro nas últimas três décadas. Encontro dos Economistas de Língua Portuguesa, v. 4. 2001.
- BANCO MUNDIAL. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series Knowledge Papers. 2012.
- BANCO MUNDIAL. Relatório Annual de 2016. 2016.
- BANCO MUNDIAL e PSR. Cenário de Baixa Hidrologia para o Setor Elétrico Brasileiro (2016-2030). Impacto do Clima nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Brasília. 2017.
- BARNES, W.; GARTLAND, M.; STACK, M. Old habits die hard: path dependency and behavioral lock-in. Journal of Economic Issues. 2016.
- BELZ, F.-M. A transition towards sustainability in the Swiss agri-food chain (1970–2000):

using and improving the multi-level perspective. *System innovation and the transition to sustainability*, p. 97-114, 2004.

BERGEK, A., JACOBSSON, S., CARLSSON, B., LINDMARK, S., RICKNE, A. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: a scheme of analysis. *Research Policy* 37, 407–429. 2008.

BERGLUND, M.; BÖRJESSON, P. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n. 3, p. 254-266, 2006.

BERKERS, E. & GEELS, F.W. System innovation through stepwise reconfiguration: the case of technological transitions in Dutch greenhouse horticulture (1930–1980). *Technology Analysis & Strategic Management*. 2011.

BERKHOUT, F. Technological regimes, path dependency and the environment. *Global environmental change*, v. 12, n. 1, p. 1-4, 2002.

BERKHOUT, F.; SMITH, A.; STIRLING, A. Socio-technical regimes and transition contexts in Elzen B., Geels FW., Green K. *System innovation and the transition to sustainability: theory, evidence and policy*, 2004.

BERNARDI, B. B.; O Conceito de Dependência da Trajetória (Path Dependence): Definições e Controvérsias Teóricas. *Perspectivas*, São Paulo, v. 41, p. 137-167, jan./jun. 2012

BIJKER, W. E. *The social construction of technological systems*. 1987.

BIJKER, W. E. *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change* MIT Press, Cambridge, Mass, 1995.

BIJKER, W. E. et al. *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*. MIT press, 2012.

BLEY, C. Jr. *Biogás: a Energia Invisível. Planeta Sustentável*. 2015.

BLUEMLING, B. MOL, A.P.J., TU, Q. The social organization of agricultural biogas production and use. *Energy Policy*, 2013.

BMWi - Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. *An electricity market for Germany's energy transition - White Paper by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy*. 2012.

BNDES. *Mercado de gás natural no Brasil: desafios para novo ciclo de investimentos*. BNDES Setorial. 2015.

BOND, T., TEMPLETON, M. R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable development*, 2011.

BOSMAN, R. et al. Discursive regime dynamics in the Dutch energy transition. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 13, p. 45-59, 2014.

- BOSMAN, R. & ROTMANS, J. Transition Governance Towards a Bioeconomy: a comparison of Finland and the Netherlands. Drift Institute. 2016.
- CASTRO, R.D.; JANNUZZI, G.M.; JUNIOR, P.D. A importância de políticas públicas na difusão de fontes renováveis de energia. Smart Energy. 2016.
- CCEE. Procedimentos de comercialização. 2017
- CGEE e ANA. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: Avaliação e Diretrizes para Adaptação. 2016.
- CHEVARRIA, D. G. A agência na abordagem multinível da transição sociotecnológica sustentável. Tese de Doutorado. UFRGS. 2016.
- CIBIOGÁS. Recomendações para Políticas Públicas de Biogás para América Latina e Caribe. Seminário Internacional de Biogás. 2014.
- COENEN, L., Benneworth, P., Truffer, B. Towards a spatial perspective on sustainability transitions. *Research Policy* 41, 968–979. 2012.
- COSTA, L. M. e SILVA L. M. C. A indústria química e o setor de Fertilizantes. BNDES. 2012.
- DA ROCHA JR, W. F. et al. O ambiente institucional e políticas públicas para o biogás proveniente da suinocultura. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 9, n. 16, 2013.
- DAVID, P. A. Clio and the Economics of QWERTY. *The American economic review*, 1985.
- DAVID, P. A. Why are institutions the ‘carriers of history’? Path dependence and the evolution of conventions, organizations and institutions. *Structural change and economic dynamics*, v. 5, n. 2, p. 205-220, 1994.
- DENSCOMBE, M. The good research guide: for small-scale social research projects. McGraw-Hill Education (UK), 2014.
- DE OLIVEIRA, L.G.S; NEGRO, S. Endogenous and exogenous influences on the Evolution of Brazilian Biogas Innovation System. International Sustainability Transitions Conference 2017. 2017.
- DE OLIVEIRA, L.G.S. O sistema tecnológico de inovação do biogás no Brasil. Enviado pelo autor. 2016
- DE MENDONÇA, A.T.B.B. O processo de transição sociotécnica para aecoinovação a partir da relação multinível: o caso dos programas da Itaipu Brasil. Tese de Doutorado. UFPR.2014.
- DOMINGOS, H.A. et al. Renewable energy and greenhouse gas emissions from the waste sectors of European Union member states: a panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-12, 2017.

- DORIS, E.B. et al. The role of state policy in renewable energy development. NREL. 2009.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. Res. Policy 11, 147–162. 1982.
- EBA. Annual Report 2015. 2016
- EBA. Annual Report 2016. 2017
- ELZEN, B.; GEELS, F.W.; GREEN, K. (Ed.). System innovation and the transition to sustainability: theory, evidence and policy. Edward Elgar Publishing, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Utilização de uma Fossa Séptica Biodigestora para Melhoria do Saneamento Rural e Desenvolvimento da Agricultura Orgânica. Comunicado Técnico 46.2002.
- EMMANN, C.H; ARENS, L. THEUVSEN. L. Individual acceptance of the biogas innovation: A structural equation model. Energy Policy, 2013.
- ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas-SP. Campinas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. 2003.
- EPE. Geração Termelétrica a partir de gás natural – Avaliação dos impactos socioambientais. Rio de Janeiro. 2006.
- EPE. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Nota Técnica DEN 06/08. 2008.
- EPE. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Rurais. Nota Técnica DEA 15/14. 2014.
- EPE. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Nota Técnica DEA 18/14. 2014.
- EPE. Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Nota Técnica DEA 16/14. Série Recursos Energéticos. 2014a.
- EPE. Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético de Resíduos Rurais. Nota Técnica DEA 17/14. Série Recursos Energéticos. 2014b.
- EPE. Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta. Nota Técnica DEA 01/15. Rio de Janeiro. Fevereiro de 2015
- EPE. Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/15. Série Estudos da Demanda de Energia. 2016a.
- EPE. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro. 2016b.
- EPE. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro. 2016c

- EPE. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro. 2016d.
- EPE. Apresentação no III Fórum do Biogás. Geração de energia elétrica através do biogás. 2016e.
- EPE. Plano Decenal de Energia 2026. 2017.
- EPE. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro. 2017.
- EPE. Apresentação no Seminário promovido pelo BNDES. Impactos da participação do biogás e do biometano na matriz brasileira. Rio de Janeiro. 27 de novembro de 2017.
- EPE. Expansão da Geração Empreendimentos Termelétricos. Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica. 2017.
- ERIKSEN, T. H. Small places, large issues: An introduction to social and cultural anthropology [third edition]. London and New York: Pluto Press. 2010.
- EUROPEAN COMMISSION. Europe 2020 A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. 2010.
- FALLDE, M.; EKLUND, M. Towards a sustainable socio-technical system of biogas for transport: the case of the city of Linköping in Sweden. *Journal of Cleaner production*, v. 98, p. 17-28, 2015.
- FALLER, F.; SCHULZ, C. Sustainable practices of the energy transition—Evidence from the biogas and building industries in Luxembourg. *Applied Geography*, 2017.
- FELIPETTO, A.V.M. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado à resíduos sólidos. Conceito, planejamento e oportunidades. 2007.
- FERRAZ, C.A. reforma do setor elétrico brasileiro: O Brasil na contramão do desenvolvimento sustentável. Blog Infopetro. 2017.
- FIEP. Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná. 2016.
- FMI. How Large Are Global Energy Subsidies? IMF Working Paper. 2015.
- FORAY, D.; MOWERY, D.C; NELSON, R.R. Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs? *Research Policy*. 2012
- FRANTZESKAKI, N.; LOORBACH, D. Towards governing infrasystem transitions: reinforcing lock-in or facilitating change? *Technological Forecasting and Social Change*, v. 77, n. 8, p. 1292-1301, 2010.
- FRANTZESKAKI, N.; AVELINO, F.; LOORBACH, D. Outliers or frontrunners? Exploring the (self-) governance of community-owned sustainable energy in Scotland and the Netherlands. In: *Renewable Energy Governance*. Springer London, 2013. p. 101-116.

FRAUNHOFER. Recent facts about photovoltaics in Germany. 2017.

FUENFSCHILLING, L.; TRUFFER, B. The structuration of socio-technical regimes—Conceptual foundations from institutional theory. *Research Policy*, v. 43, n. 4, p. 772-791, 2014.

FUENFSCHILLING, L.; TRUFFER, B. The interplay of institutions, actors and technologies in socio-technical systems—An analysis of transformations in the Australian urban water sector. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 103, p. 298-312, 2016.

FUENFSCHILLING, L.; GEELS, F.; RAVEN, R. An institutional perspective on sustainability transition. 2017.

FUENFSCHILLING, L. et al. Global socio-technical regimes. *Papers in Innovation Studies, CIRCLE*, v. 2017, n. 1, 2017.

GARUD, R.; KUMARASWAMY, A.; KARNOL, P. Path Dependency or path creation? *Journal of Management Studies*. 2009.

GEELS, F.W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* 31, 1257–1274. 2002.

GEELS, F.W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 33, 897–920. 2004.

GEELS, F.W. Co-evolution of technology and society: the transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850–1930) – a case study in multi-level perspective. *Technology in Society* 27, 363–397. 2005a.

GEELS, F.W. The dynamics of transitions in socio-technical systems: a multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). *Technology Analysis & Strategic Management* 17, 445–476. 2005b.

GEELS, F.W. Processes and patterns in transitions and system innovations: refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change* 72, 681–696. 2005c.

GEELS, F. W. *Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis*. Edward Elgar Publishing, 2005d.

GEELS, F.W. Major system change through stepwise reconfiguration: a multi-level analysis of the transformation of American factory production (1850–1930). *Technology in Society* 28, 445–476. 2006a.

GEELS, F.W. The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840–1930): the dynamics of regime transformation. *Research Policy* 35, 1069–1082. 2006b.

GEELS, F.W., RAVEN, R. Non-linearity and expectations in niche-development trajectories: ups and downs in Dutch biogas development (1973–2003). *Technology Analysis & Strategic Management* 18, 375–392. 2006c.

GEELS, F.W., SCHOT, J. Comment on ‘Techno therapy or nurtured niches?’. *Research Policy* 36, 1100–1101. 2007a.

GEELS, F.W., SCHOT, J. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy* 36, 399–417. 2007b.

GEELS, F.W.; KEMP, R. Dynamics in socio-technical systems: Typology of change processes and contrasting case studies. *Technology in society*, v. 29, n. 4, p. 441-455, 2007c.

GEELS, F. W. Analysing the breakthrough of rock ‘n’roll (1930–1970) Multi-regime interaction and reconfiguration in the multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 74, n. 8, p. 1411-1431, 2007d.

GEELS, F.W., HEKKERT, M.P., JACOBSSON, S. The dynamics of sustainable innovation journeys. *Technology Analysis & Strategic Management* 20, 521–536. 2008.

GEELS, F.W., SCHOT, J. The dynamics of sociotechnical transitions – a sociotechnical perspective. In: Grin, J., Rotmans, J., Schot, J. (Eds.), *Transitions to Sustainable Development*. Routledge, pp. 9–101. 2010a.

GEELS, F.W. Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research Policy* 39, 495–510. 2010b.

GEELS, F.W. The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1, 24–40. 2011.

GEELS, F.W., KEMP, R., DUDLEY, G., LYONS, G. *Automobility in Transition? A Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*. Routledge, New York. 2011.

GEELS, F. W. A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, v. 24, p. 471-482, 2012.

GEELS, F.W. The impact of the financial–economic crisis on sustainability transitions: Financial investment, governance and public discourse. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Elsevier. 2013.

GEELS, F. W. Regime resistance against low-carbon transitions: Introducing politics and power into the multi-level perspective. *Theory, Culture & Society*, v. 31, n. 5, p. 21-40, 2014.

GEELS, F.W. et al. The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Research Policy*, v. 45, n. 4, p. 896-913, 2016.

GEELS, F.W. et al. Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science Magazine*. 2017.

GENUS, A., Coles, A.-M. Rethinking the multi-level perspective of technological transitions. *Research Policy* 37, 1436–1445. 2008.

GIZ & FACHVERBAND BIOGAS. Biogas Safety First. Diretrizes para o uso seguro da tecnologia do biogás. 2016.

GIZ. *Biogas Journal*. 2017.

GRANOSZEWSKI, K. et al. Decision making of farm managers during bio-energy investments. First results from an empirical study. 2009.

GRIN, J.; ROTMANS, J.; SCHOT, J. Transitions to sustainable development: new directions in the study of long term transformative change. Routledge, 2010.

GUNNERSON, C.G., STUCKEY, D.C. Integrated resource recovery: aerobic digestion-principles and practices for biogas systems. World Bank Technical Paper. 1986.

GIDDENS, A.. The politics of climate change. Cambridge, UK, 2009.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste management*, v. 29, n. 8, p. 2227-2239, 2009.

HEFNER III, R.A. The age of energy gases. China's opportunity for global energy leadership. The GHK Company. 2007.

HEKKERT, M. P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological forecasting and social change*, v. 74, n. 4, p. 413-432, 2007.

HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. *Technological forecasting and social change*, v. 76, n. 4, p. 584-594, 2009.

HOORNWEG, D. & BHADA –TATA, P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series Knowledge Papers. World Bank. 2012.

HOPKINS, M.; LAZONICK, W. There went the sun: renewable energy needs patient capital. *Huffington Post*. 2011. Disponível em: https://www.huffingtonpost.com/william-lazonick/there-went-the-sun-renewa_b_978572.html

HUGHES, T.P. The electrification of America: the system builders. 1979.

HUGHES, T. P. et al. The evolution of large technological systems. The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology, p. 51-82, 1987.

HUGHES, T. P. The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera. Soc. Stud. Sci. 16, 281–292. 1986.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Censo Demográfico.

IEA. Energy and Climate Change. 2015.

ILYAS, H.; ILYAS, S.; AHMAD, S-R.; NAWAZ, M. Waste Generation Rate and Composition Analysis of Solid Waste in Gujranwala City Pakistan. International Journal of Waste Resource. 2017

INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE e GREENPREACE. Avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz energética do transporte público da cidade de São Paulo. 2017.

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.

IPCC, 2014. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.

IPEA. Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. 2012.

IRENA. Synergies between renewable energy and energy efficiency. 2017.

ISWA. ISWA REPORT. 2015.

ISWA & ABRELPE. Roteiro para encerramento de lixões. Os lugares mais poluídos do mundo. 2017.

JACCARD, M. Renewable Portfolio Standard. 2004.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. Industrial and Corporate Change, v. 13, n. 5, p. 815-849, 2004.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. Environmental Innovation and Societal Transitions, v. 1, n. 1, p. 41-57, 2011.

JACOBSSON, S.; JOHNSON, A. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. Energy policy, v. 28, n. 9, p. 625-640, 2000.

JACOBSSON, S.; LAUBER, V. The politics and policy of energy system transformation: explaining the German diffusion of renewable energy technology. Energy policy, v. 34, n. 3, p. 256-276, 2006.

JANNUZZI, G. de M. Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil. 2000.

JONSSON, O. Biogas upgrading and use as transport fuel. Swedish gas center, 2004.

JORGENSEN, P.J. Biogas Green Energy. 2009.

JORGENSEN, U. Mapping and navigating transitions – the multi-level perspective compared with arenas of development. *Research Policy* 41, 996–1010. 2012.

KEMP, R. Technology and the transition to environmental sustainability. *Futures* 26, 1023–1046. 1994.

KEMP, R., SCHOT, J., HOOGMA, R. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management* 10, 175–195. 1998.

KEMP, R.; LOORBACH, J. R. Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development. 2007.

KERN, F., SMITH, A. Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands. *Energy Policy* 36, 4093–4103. 2008.

KORTSH, T.; HILDEBRAND, J.; SCHWEIZER-RIES, P. Acceptance of biomass plants e Results of a longitudinal study in the bioenergy-region Altmark. *Renewable Energy*. 2015.

LANTZ, M. et al. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden—Incentives, barriers and potentials. *Energy policy*, v. 35, n. 3, p. 1830-1843. 2007.

LANTZ, M. The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies, *Applied Energy*. 2012.

LANTZ, M., Kreuger, E. and Björnsson, L. Impact of energy crop selection on process parameters and economy in the production of biogas as vehicle fuel. *Biomass and Bioenergy*. 2012

LANTZ, M. Biogas in Sweden - Opportunities and challenges from a systems perspective. Tese de doutorado. 2013.

LINDFELDT, E. G. et al. Strategies for a road transport system based on renewable resources—The case of an import-independent Sweden in 2025. *Applied Energy*, v. 87, n. 6, p. 1836-1845, 2010.

LOBATO, L. C. S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Doutorado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. 2011.

LOORBACH, D. Transition management for sustainable development: a prescriptive, complexity-based governance framework. *Governance* 23, 161–183. 2010.

LOORBACH, D., ROTMANS, J. The practice of transition management: examples and lessons from four distinct cases. *Futures* 42, 237–246. 2010. 2010.

LOORBACH, D. et al. *Governance of Urban Sustainability Transitions*. Springer, 2016.

LÖNNQVIST, T.; SILVEIRA, Semida. Enhancing the biogas potential from residues and energy crops in Sweden. In: *Energitinget*, 16-17 March 2010, Stockholm, Sweden. 2010.

LÖNNQVIST, T.; SANCHES-PEREIRA, A.; SANDBERG, T.. Biogas potential for sustainable transport—a Swedish regional case. *Journal of Cleaner Production*, v. 108, p. 1105-1114, 2015.

LÖNNQVIST, T. *Biogas in Swedish transport—a policy-driven systemic transition*. 2017. Tese de Doutorado. KTH Royal Institute of Technology.

MAH, D. N. Y.; WU, Y. Y.; IP, J. C. M.; HILLS, P. R. The role of the state in sustainable energy transitions: A case study of large smart grid demonstration projects in Japan. *Energy Policy*, v. 63, p. 726-737, 2013.

MAHONEY, J.; SCHENSUL, D. Historical context and path dependence. *The Oxford Handbook of Contextual Political Analysis*, p. 454-471, 2006.

MARIANI, L. et al. Políticas Públicas e Privadas de Incentivo ao uso do Biogás na Matriz Energética Brasileira. In: *IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*. 2014

MARKARD, J.; TRUFFER, B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research policy*, v. 37, n. 4, p. 596-615, 2008.

MARKARD, J.; RAVEN, R.; TRUFFER, B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research policy*, v. 41, n. 6, p. 955-967, 2012.

MAY, P. (org.) *Economia do Meio Ambiente. Teoria e Prática*. Editora Campus. 2010.

MAZZUCATO, M. *O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. Portfolio-Penguin. 2014.

MCCARTHY, T.M. Biogas utilization: a win-win situation. *Waste Management World*, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (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. 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). *Plano de Defesa da Agropecuária*. Brasília. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *PORTARIA Nº 236, DE 30 DE MAIO DE 2014*.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Resenha Energética Brasileira. Brasília. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural. Brasília. Dezembro de 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Energia. Janeiro de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). PORTARIA No 293, DE 4 DE AGOSTO DE 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÃO (MCTIC). Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 3º edição. 2016.

NÆSS, P.; VOGEL, N.. Sustainable urban development and the multi-level transition perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 4, p. 36-50, 2012.

NAÇÕES UNIDAS, World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs. 2014

NEGRO, S. O. Dynamics of technological innovation systems: the case of biomass energy. Tese de Doutorado. Utrecht University. 2007.

NEGRO, S. O.; HEKKERT, M. P. Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in Germany. *Technology Analysis & Strategic Management*, v. 20, n. 4, p. 465-482, 2008.

NEGRO, S O.; HEKKERT, M. P.; SMITS, R. E. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion—a functional analysis. *Energy policy*, v. 35, n. 2, p. 925-938, 2007.

NEGRO, S. O.; ALKEMADE, F.; HEKKERT, M. P. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 6, p. 3836-3846, 2012.

NEGRO, S. O.; SUURS, R. AA; HEKKERT, M. P. The bumpy road of biomass gasification in the Netherlands: Explaining the rise and fall of an emerging innovation system. *Technological forecasting and social change*, v. 75, n. 1, p. 57-77, 2008.

NEGRO, S. O.; HEKKERT, M. P.; SMITS, R. EHM. Stimulating renewable energy technologies by innovation policy. *Science and Public Policy*, v. 35, n. 6, p. 403-416, 2008.

NELSON, R.R., WINTER, S.G. In search of useful theory of innovation. *Res. Policy* 6, 36–76. 1977.

NELSON, R.R., WINTER, S.G. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press. 1982.

NICOLOSO, R. S. Estudo Técnico da Destinação do Fertilizante Orgânico Sólido Produzido em uma Usina de Biogás no Município de Concórdia-SC. EMBRAPA. 2014.

NORTH, D. C. Institutions, institutional change and economic performance. Cambridge university press, 1990.

NORTH, D. C. Institutions. The Journal of Economic Perspectives, Vol. 5, No. 1. 1991.

NORTH, D. C.; HART, E.. Custos de transação, instituições e desempenho econômico. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 2006.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA & ICLEI. Emissões do Setor Resíduos – Período 1970 2015. 2017.

OLSSON, L.; HJALMARSSON, L. Policy for biomass utilisation in energy and transport systems: The case of biogas in Stockholm, Sweden. In: World Renewable Energy Forum 2012, Real Science. Real Solutions. Real World, Denver, Colorado, 13-17 May 2012. 2012. p. 4758-4765.

OLSSON, L. Sociotechnical system studies of the reduction of greenhouse gas emissions from energy and transport systems. 2015. Tese de Doutorado. Linköping University Electronic Press.

OLSSON, L.; FALLDE, M.. Waste (d) potential: a socio-technical analysis of biogas production and use in Sweden. Journal of Cleaner Production, v. 98, p. 107-115, 2015.

OROSKI, F.A. Modelos de negócio e transição de sistemas tecnológicos: o caso dos bioplásticos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. Tese de doutorado. 2013.

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030 (PNE). Ministério de Minas e Energia. 2008.

PONDÉ, J. L. Coordenação, custos de transação e inovações institucionais. Texto para discussão, n. 38, 1994.

PROBIOGÁS Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil. Substratos, digestores e uso do biogás. Ministério das Cidades. Brasília. 2015.

PROBIOGÁS Catálogos de tecnologias e empresas de biogás. Ministério das Cidades. Brasília. 2015a.

PROBIOGÁS. Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil. Ministério das Cidades. Brasília, 2016.

PROBIOGÁS. Folder de divulgação. Ministério das Cidades. Brasília, 2016a.

PROBIOGÁS. Conceitos para o Licenciamento Ambiental de Usinas de Biogás. Ministério das Cidades. Brasília. 2016a.

RAMMERT, W. New rules of sociological method: Rethinking technology studies” British

Journal of Sociology. Pags 171-191. 1997.

RASI, S.; VEIJANEN, A.; RINTALA, J. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. *Energy*, v. 32, n. 8, p. 1375-1380, 2007.

RAVEN, R.; VERBONG, G. Ruling out innovations—technological regimes, rules and failures: the cases of heat pump power generation and bio-gas production in The Netherlands. *Innovation*, v. 6, n. 2, p. 178-198, 2004.

RAVEN, R.; VERBONG, G. Dung, sludge, and landfill: Biogas technology in the Netherlands, 1970-2000. *Technology and culture*, v. 45, n. 3, p. 519-539, 2004.

RAVEN, R. P. J. M.; GREGERSEN, K. H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 11, n. 1, p. 116-132. 2007.

RAVEN, R. Co-evolution of waste and electricity regimes: multi-regime dynamics in the Netherlands (1969–2003). *Energy Policy*, v. 35, n. 4, p. 2197-2208, 2007.

RAVEN, R.; VERBONG, G. Multi-regime interactions in the Dutch energy sector: the case of combined heat and power technologies in the Netherlands 1970–2000. *Technology Analysis & Strategic Management*, v. 19, n. 4, p. 491-507, 2007.

RAVEN, R. P. J. M.; GEELS, F. W. Socio-cognitive evolution in niche development: Comparative analysis of biogas development in Denmark and the Netherlands (1973–2004). *Technovation*, v. 30, n. 2, p. 87-99, 2010.

RHODES, R. A. W; BINDER, S. A.; ROCKMAN, B. A. Preface. In: RHODES, R. A. W. Rhodes; BINDER, S. A.; ROCKMAN, B. A. (Eds.). *The oxford handbook of political institutions*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2006. p. XV.

RIAL, C. *O poder do lixo: abordagens antropológicas dos resíduos sólidos*. 2016.

RIP, A. *Science and technology as dancing partners*. 1992.

RIP, A., KEMP, R. Technological change, in: Rayner, S., Malone, E.L. (Eds.), *Human Choice and Climate Change*. Vol. II, Resources and Technolog. Battelle Press, Columbus, OH, pp. 327–399. 1998.

ROSA, B.P. et al. Impactos causados em cursos d'água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*. 2017.

ROTMANS, J., KEMP, R., van Asselt, M. More evolution than revolution. *Transition management in public policy*. *Foresight* 3, 15–31. 2001.

SALOMON, K. R; LORA, Electo Eduardo Silva. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa & Energia*, v. 2, n. 1, p. 57-67, 2005.

SAM, A.; BI, X.; FARNSWORTH D. How incentives affect the adoption of anaerobic

digesters in the United States. Sustainability. 2017.

SANCHES-PEREIRA, A. et al. Is natural gas a backup fuel against shortages of biogas or a threat to the Swedish vision of pursuing a vehicle fleet independent of fossil fuels? Renewable Energy, v. 83, p. 1187-1199, 2015.

SCHOT, J.W. Constructive Technology Assessment and Technology Dynamics: The Case of Clean Technologies. Sci. Technol. Hum. Values 17, 36–56. 1992.

SCHOT, J., RIP, A. The Past and Future of Constructive Technology Assessment. Technol. Forecast. Soc. Change 54, 251–268. 1996.

SHOVE, E.; WALKER, G. Caution! Transitions Ahead: Politics, Practice, and Sustainable Transition Management. 2007.

SHOVE, E.; WALKER, G. Governing transitions in the sustainability of everyday life. Research Policy. 2010.

SCHRADE, S.; OECHSNER, H. PEKRUN, C. Einfluss des Biogasprozesses auf die Keimfähigkeit von Samen. 2003.

SEYFANG, G. HAXELTINE, A.; HARGREAVES, T.; LONGHURST, N. Energy and Communities in Transition: Towards a new research agenda on agency and civil society in sustainability transitions. CSERGE working paper. 2010.

SMITH, A., STIRLING, A., BERKHOUT, F. The governance of sustainable sociotechnical transitions. Research Policy 34, 1491–1510. 2006.

SMITH, A. Translating sustainabilities between green niches and sociotechnical regimes. Technology Analysis & Strategic Management 19, 427–450. 2007.

SMITH, A.; VOß, J.; GRIN, J. Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. Research policy, v. 39, n. 4, p. 435-448, 2010.

SMITH, A., RAVEN, R. What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. Research Policy 41, 1025–1036. 2012.

SINDIPEÇAS. Relatório da Frota Circulante 2017. 2017.

SISTI, E.B., FERRACIOLLI, J.R. O Biodigestor como Alternativa de Agregar Valor para Organizações do Setor Agropecuário. 2017.

SOAREZ, R. C.; SILVA, RCM. Evolução histórica do uso do biogás como combustível. In: Congresso de pesquisa e inovação da rede norte nordeste de educação tecnológica. 2006.

SOLAND, M.; STEIMER, N.; WALTER, G. Local acceptance of existing biogas plants in Switzerland. Energy Policy. 2013.

SOVACOOOL, B. K.; GEELS, F. W. Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics. *Energy Research & Social Science*, v. 22, p. 232-237, 2016.

SOVACOOOL, B. K.; GEELS, Frank W. Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics. *Energy Research & Social Science*, v. 22, p. 232-237, 2016.

SOVACOOOL, B.K; HESS, D.J. Ordering theories: Typologies and conceptual frameworks for sociotechnical change. *Typologies and conceptual frameworks for sociotechnical change. Social Studies of Science*. 2017.

SRINIVASAN, S. Positive externalities of domestic biogas initiatives: Implications for financing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 12, n. 5, p. 1476-1484, 2008.

SURENDRA, K.C; TAKARA, D.; HASHIMOTO, A.G. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014.

SVLFG. Aktuelle Entwicklungen bei der Anlagensicherheit von Biogasanlagen aus Sicht der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft. Berlin. 2012.

SVLFG. Technische Information 4. Kassel: Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau. 2016.

SWEDISH ENERGY AGENCY (SEA), 2016. Energy in Sweden – Facts and Figures 2016. Eskilstuna, Sweden.

TIMMERS, V.R.J.H; ACHTEN, P.A.J. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*. 2016

TRUFFER, B.; COENEN, L. Environmental innovation and sustainability transitions in regional studies. *Regional Studies*, v. 46, n. 1, p. 1-21, 2012.

TRUFFER, B.; STÖRMER, E.; MAURER, M.; RUEF, A. Local strategic planning processes and sustainability transitions in infrastructure sectors. *Environmental Policy and Governance*, v. 20, n. 4, p. 258-269, 2010.

TURNHEIM, B.; GEELS, F. W. Regime destabilisation as the flipside of energy transitions: Lessons from the history of the British coal industry (1913–1997). *Energy Policy*, v. 50, p. 35-49, 2012.

TURNHEIM, Bruno; GEELS, Frank W. The destabilisation of existing regimes: Confronting a multi-dimensional framework with a case study of the British coal industry (1913–1967). *Research Policy*, v. 42, n. 10, p. 1749-1767, 2013.

TURNHEIM, B. et al. Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges. *Global Environmental Change*, v. 35, p. 239-253, 2015.

- UNEP & ISWA. Global Waste Management Outlook. 2015.
- UNIDO & FACHVERBAND. Biogas to Biomethane. 2017.
- UNRUH, G. C. Understanding carbon lock-in. *Energy policy*, v. 28, n. 12, p. 817-830, 2000.
- UNRUH, G. C. Escaping carbon lock-in. *Energy policy*, v. 30, n. 4, p. 317-325, 2002.
- UNRUH, G. C.; CARRILLO-HERMOSILLA, J. Globalizing carbon lock-in. *Energy Policy*, v. 34, n. 10, p. 1185-1197, 2006.
- VEIGA, A.P.B. Contribuição à avaliação das barreiras e oportunidades regulatórias, econômicas e tecnológicas do uso de biometano a partir de gás de aterro no Brasil. Dissertação de mestrado. USP. 2016.
- VERBONG, G.; GEELS, F. W. Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 77, n. 8, p. 1214-1221, 2010.
- VERBONG, G.; LOORBACH, D. (Ed.). *Governing the energy transition: reality, illusion or necessity?* Routledge, 2012.
- WALKER, W. Entrapment in large technology systems: institutional commitment and power relations. *Research Policy*, v. 29, n. 7, p. 833-846, 2000.
- WORLD BIOGAS ASSOCIATION (WBA). *The contribution of Anaerobic Digestion and Biogas towards achieving the UN Sustainable Development Goals*. 2017.
- WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 85, n. 4, p. 849-860, 2010.
- WELLINGER, A.; MURPHY, J. D.; BAXTER, D. (Ed.). *The biogas handbook: science, production and applications*. Elsevier. 2013.
- WHITING, A. AZAPAGIC, A. Life cycle environmental impacts of generating electricity and heat from biogas produced by anaerobic digestion. *Energy*. 2014.
- WORLD BANK. *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. 2012.
- WRAP. *Field experiments for quality digestate and compost in agriculture*. United Kingdom. 2016
- ZANETTE, A. L. *Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil*. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. 2009.
- ZSCHACHE, S. et al. Public interpretations in the discourse on bioenergy-a qualitative media analysis. 2010.
- ZUZHANG, X. Domestic biogas in changing China. Can biogas still meet the energy needs of China's rural households? *IIED*. 2013.

Participação no IV FÓRUM DO BIOGÁS. São Paulo. 17 e 18 de outubro. 2017.

Participação no seminário: O potencial do biogás de resíduos agroindustriais: competitividade, benefícios ambientais e políticas públicas. 26 de novembro. 2017.

Acesso à apresentação realizada pela EPE no III Fórum do Biogás. Outubro 2016.

Acesso à apresentação realizada pela EPE no Seminário de encerramento do Próbiogás. As potencialidades e desafios do biogás no mercado de energia elétrica. 2017.

<http://www.neweconomics.org/> Acessado em 13/02/ 2016.

<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/nasa-buraco-na-camada-de-ozonio-ainda-e-do-tamanho-da-america-do-norte> Acessado em 13/02/2016.

<http://www.unep.org/documents.multilingual/default.asp?DocumentID=519&ArticleID=5688&l=en> Acessado em 13/02/ 2016.

<http://www.ecoeco.org.br/sobre/a-ecoeco> Acesso em: 13 fev. 2016.

<http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/> Acessado em 13/02/2016.

<https://www.oxfam.org/en/pressroom/pressreleases/2015-01-19/richest-1-will-own-more-all-rest-2016> Acessado em 13/02/2016.

<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/> Acessado em 13/02/2016.

<https://populationspeakout.org/> Acessado em 27/02/2016.

<http://www.sinir.gov.br/documents/10180/24716/lista+brasileira+de+resduos+slidos.doc/08daac7d-f25b-4723-bea3-c7eec9fa124a/> Acessado em 16/06/2016.

http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=349 Acessado em 16/06/2016.

<http://www.iswa.org/> Acessado em 16/06/2016.

<http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/about/mandate/default.asp> Acessado em 16/06/2016.

<http://www.atlas.d-waste.com/> Acessado em 16/06/2016.

<http://www.valor.com.br/brasil/3779496/sudeste-concentra-552-do-pib-do-pais-diz-ibge> Acessado em 22/06/2016.

<http://www.redebrasilatual.com.br/economia/2015/11/sudeste-e-sao-paulo-perdem-espaco-no-pib-brasileiro-977.html> Acessado em 22/06/2016.

<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> Acessado em 22/06/ 2016.

http://www.un.org/en/development/desa/policy/wesp/wesp_current/2014wesp_country_classification.pdf Acessado em 22/06/2016.

<https://transportes.gov.br/transporte-rodoviario-relevancia.html> Acessado em 17/07/2017.

<http://www.eletronbras.com/elb/ProinfA/data/Pages/LUMISABB61D26PTBRIE.htm#Rela%ç%ã%o%20de%20Empreendimentos%20Contratados%20e%20Extratos%20dos%20Contratos%20e%20Termos%20Aditivos%20Celebrados>. Acessado em 23/02/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>. Acessado em 23/02/2017.

https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2013/cv112_13. Acessado em 23/02/2017.

http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf. Acessado em 23/02/2017.

<http://www.iea.org>. Acessado em 23/02/2017.

<http://www.ccee.org.br> Acessado em 23/02/2017.

<http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2014-10/reducao-da-importacao-de-fertilizantes-requer-novos> Acessado em 23/02/2017.

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm> Acessado em 23/02/2017.

http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2016/02/07/interna_ciencia_saude,516922/apesar-da-agricultura-forte-brasil-importa-75-dos-fertilizantes-que.shtml. Acessado em 23/02/2017.

<http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/balanca-comercial-brasileira-acumulado-do-ano?layout=edit&id=2205> Acessado em 23/02/2017.

<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/suinocultura-abc/arquivos-boletim-informativo/38-entrevista-com-probiogas-diretor-de-articulacao-institucional-do-ministerio-das-cidades.pdf> Acessado em 23/02/2017.

<http://task37.ieabioenergy.com/> Acessado em 23/02/2017.

<https://infopetro.wordpress.com/2016/06/29/industria-do-gas-natural-no-brasil-a-reforma-necessaria-para-a-saida-da-petrobras/>. Acessado em 23/02/2017.

<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes>. Acessado em 25/07/2017.

<https://oglobo.globo.com/rio/municipios-acumulam-dividas-com-aterros-sanitarios-numero-de-lixoes-sobe-de-17-para-29-21116812>. Acessado em 28/07/2017.

<http://transitionacademy.nl/transitions/what-are-transitions/>. Acessado em 28/07/2017.

http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2016n.htm. Acessado em 28/07/2017.

<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>. Acessado em 11/08/2017.

<http://www.independent.co.uk/environment/sweden-s-recycling-is-so-revolutionary-the-country-has-run-out-of-rubbish-a7462976.html>. Acessado em 11/08/2017.

<http://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/ambiente-se/troca-de-etanol-por-gasolina-piora-presenca-de-nanopartículas-no-ar/>. Acessado em 15/08/2017.

<http://economia.estadao.com.br/blogs/ecoando/amazonia-registra-maior-taxa-de-desmatamento-desde-2008/>. Acessado em 21/08/2017.

<http://www.mma.gov.br/comunicacao/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>. Acessado em 21/08/2017.

http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf
Acessado em 23/08/2017.

<http://www.observatoriodoclima.eco.br/gestao-adequada-de-residuos-nas-cidades-pode-ajudar-cumprir-meta-de-paris/>. Acessado em 26/08/2017.

http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/folder_perguntas%20e%20respostas_414_final.pdf
Acessado em 29/08/2017.

http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/faq_482_18-12-2012.pdf. Acessado em 29/08/2017.

http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%20E%2087%20ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9. Acessado em 29/08/2017.

www.bmwi.de. Acessado em 30/08/2017.

<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/08/sp-tera-r-2-milhoes-para-projetos-de-energia-solar-e-residuos-solidos-urbanos/32458>. Acessado em 31/08/2017.

<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>. Acessado em 31/08/2017.

<http://www.energimyndigheten.se/en/news/2010/national-strategy-for-biogas/>. Acessado em 12/09/2017.

<https://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/preco-da-gasolina-sobe-19-na-semana-e-bate-novo-recorde-no-ano-diz-anp.ghtml> Acessado em 12/09/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>. Acessado em 12/09/2017.

http://www.br.com.br/wcm/connect/lib_portalconteudo/home/produtos+e+servicos/para+seu+veiculo/gas+natural+veicular/gas+natural+veicular. Acessado em 12/09/2017.

<https://extra.globo.com/noticias/economia/crescimento-da-frota-de-carros-flex-com-gnv-quase-dobra-no-municipio-do-rio-20293216.html>. Acessado em 12/09/2017.

<http://www.gasnet.com.br/conteudo/19607/Com-alta-da-gasolina-procura-por-conversao-para-GNV-cresce-50-por-cento-em-3-anos>. Acessado em 13/09/2017.

<http://www.observatoriodoclima.eco.br/causas-das-mudancas-do-clima/>. Acessado em 14/09/2017.

http://www.abegas.org.br/Site/?page_id=1158. Acessado em 14/09/2017.

<http://exame.abril.com.br/economia/abegas-eleva-previsoes-para-vendas-de-gnv-apos-alta-do-piscofins/>. Acessado em 14/09/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/1860-gas-natural>. Acessado em 14/09/2017.

<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/o-que-sao-as-indcs/>. Acessado em 15/09/2017.

<http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao>. Acessado em 15/09/2017.

<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Pior-vazamento-de-petroleo-completa-cinco-anos/>. Acessado em 15/09/2017.

<http://www.sci.manchester.ac.uk/people/professor-frank-geels>. Acessado em 21/09/2017.

http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acessado em 25/09/2017.

<http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2016/11/Carta-do-Observato%CC%81rio-do-Clima-Esclarecimentos-a%CC%80-mate%CC%81ria-da-GLobo-Rural-de-08-Nov-016-.pdf>. Acessado em 25/09/2017.

http://www.globalmethane.org/documents/partners_india_ag_update.pdf. Acessado em 25/09/2017.

<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/a-morte-no-pede-carona-anda-de-nibus/blog/60255/>. Acessado em 25/09/2017.

<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2016/10/pequenos-agricultores-do-nordeste-produzem-gas-para-suas-cozinhas.html>. Acessado em 30/09/2017.

<http://www.socialacceptance.ch/>. Acessado em 02/10/2017.

<http://www.worldbiogasassociation.org/>. Acessado em 05/10/2017.

<https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acessado em 05/10/2017.

<https://www.iea.org/newsroom/news/2017/august/coal-falls-as-gas-rises-world-energy-balances-in-2016.html>. Acessado em 05/10/2017.

http://ec.europa.eu/environment/waste/target_review.htm. Acessado em 05/10/2017.

https://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/Biogas%20Opportunities%20Roadmap%208-1-14_0.pdf. Acessado em 05/10/2017.

<http://adbioresources.org/biogastradeshow/>. Acessado em 05/10/2017.

<http://www.tratabrasil.org.br/>. Acessado em 06/10/2017.

http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/petroleo_choque1.shtml. Acessado em 06/10/2017.

http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=7411. Acessado em 06/10/2017.

<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/09/mcti-publica-relatorios-de-projetos-de-mecanismo-de-desenvolvimento-limpo>. Acessado em 06/10/2017.

<https://credcarb.wordpress.com/2016/03/17/projetos-de-mdl-no-brasil/>. Acessado em 06/10/2017.

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57967.html>. Acessado em 06/10/2017.

<http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Nacional%20de%20Energia%20%E2%80%93%20PNE/EPEDivulgaestudosobredemandadoPNE2050.aspx?CategoriaID=346>. Acessado em 07/10/2017.

<http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/probiogas/publicacoes/publicacoes-do-probiogas>. Acessado em 07/10/2017.

<https://www.abiogas.org.br/>. Acessado em 07/10/2017.

<https://www.cibiogas.org/>. Acessado em 07/10/2017.

<http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html>. Acessado em 07/10/2017.

http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2017/06/EBA-position-on-Renewable-Energy-Directive_ITRE-2.pdf. Acessado em 08/10/2017.

<https://www.youtube.com/watch?v=OrzjGAvtjKk> (Entrevista dada por GEELS em 2014). Acessado em 10/10/2017.

<https://infopetro.wordpress.com/2014/09/01/a-mudanca-da-politica-alema-de-incentivo-as-energias-renovaveis/> Acessado em 10/10/2017.

http://www.germanenergyblog.de/?page_id=283 Acessado em 10/10/2017.

<http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/law/renewable-energy-sources-act-eeg-latest-version-eeg-2017/> Acessado em 10/10/2017.

<https://energy.gov/eere/articles/consumer-vs-prosumer-whats-difference> Acessado em 10/10/2017.

https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de_homepage Acessado em 10/10/2017.

<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/03/mctic-reforca-importancia-potencial-energetico-biogas-para-o-brasil/31182>. Acessado em 10/10/2017.

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf> Acessado em 10/10/2017.

<https://sweden.se/society/energy-use-in-sweden/> Acessado em 11/10/2017.

<http://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/> Acessado em 11/10/2017.

<http://www.portaldobiogas.com/o-maior-biodigestor-mundo/> Acessado em 12/10/2017.

<http://www.nawaro.ag/de/> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/banco-do-brasil-vai-liberar-r-1-bilhao-em-credito-para-projetos-de-agroener> Acessado em 12/10/2017.

<http://www.biogasmotores.com.br/financiamento> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-abc> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/inovagro> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/prodecoop> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf-eco> Acessado em 12/10/2017.

<http://www.brde.com.br/brde-energia/> Acessado em 12/10/2017.

<http://www.desenvolvesp.com.br/empresas/opcoes-de-credito/projetos-sustentaveis/linha-economia-verde/> Acessado em 12/10/2017.

<http://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/agronegocios/agronegocio---produtos-e-servicos/credito/investir-em-sua-atividade/pronaf-eco#/> Acessado em 12/10/2017.

<https://www.bandes.com.br/Site/Linhas/Show?id=12&idLinha=110> Acessado em 12/10/2017.

http://www.sudene.gov.br/images/2017/comitetecnico/B1-PROPOSI%C3%87%C3%83O_102_2017_-_inser_trat_res%C3%ADd_s%C3%B3lidos_-_Prio_FNE_2017.pdf Acessado em 12/10/2017.

http://poli.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1556:2016-08-09-21-51-57&catid=36:catnoticias Acessado em 12/10/2017.

https://www.cibiogas.org/pesquisa_e_desenvolvimento. Acessado em 14/10/2017.

<http://www.cnpsa.embrapa.br/biogasfert/>. Acessado em 14/10/2017.

<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2016/08/07/biogas-poderia-gerar-energia-para-600-mil-pessoas-em-pernambuco-247571.php>. Acessado em 14/10/2017.

<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/instrumentos-de-apoio/quais-sao-os-instrumentos-de-apoio> Acessado em 14/10/2017.

<http://www.valor.com.br/agro/3482442/geo-energetica-recebe-r-160-milhoes-da-finep-para-pesquisa-em-biogas> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/instrumentos-de-apoio/subvencao-economica> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/instrumentos-de-apoio/quais-sao-os-instrumentos-de-apoio> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.canalbioenergia.com.br/entrevista-alessandro-gardemann/> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/probiogas> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/probiogas/videos> Acessado em 15/10/2017.

http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte.asp Acessado em 15/10/2017.

http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=2 Acessado em 15/10/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biometano> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/noticias/3838-anp-estabelece-regras-para-controle-de-qualidade-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/noticias/4038-anp-concede-primeira-aprovacao-para-biometano-de-aterros-sanitarios-e-estacoes-de-tratamento-de-esgoto> Acessado em 15/10/2017.

<http://www.suino.com.br/Noticia/perdigao-e-sadia-desenvolvem-projetos-de-biogas-a-partir-de-dejetos-suinos-177951> Acessado em 19/10/2017

<http://www.epe.gov.br/Paginas/WEBMAP.aspx> Acessado em 19/10/2017

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/noticias/4038-anp-concede-primeira-aprovacao-para-biometano-de-aterros-sanitarios-e-estacoes-de-tratamento-de-esgoto> Acessado em 19/10/2017

http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/images/pdf/2015/CP_01_15/C_Publica_01_15_Edital.pdf Acessado em 20/10/2017

http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/images/pdf/2017/CP_01_17/CP_Edital_Reuniao_Informativa.pdf Acessado em 19/10/2017

<https://www.abiogas.org.br/marco-legal-biogas-sc> Acessado em 19/10/2017

<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/10/biogas-causa-impacto-positivo-na-matriz-diz-executivo-da-epe/32891> Acessado em 21/10/2017.

http://www.lex.com.br/legis_27106888_INSTRUCAO_NORMATIVA_N_3_DE_17_DE_MARCO_DE_2016.aspx Acessado em 22/10/2017.

<http://www.gasnet.com.br/conteudo/19591/Uso-de-gas-em-motores-a-diesel-sera-avaliado-pela-GasBrasiliano-e-Sao-Martinho> Acessado em 22/10/2017.

<http://mapbiogas.cibiogas.org/> Acessado em 22/10/2017..

<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2014-07-18/html/2014-16413.htm> Acessado em 22/10/2017.

<http://www.imf.org/en/News/Articles/2015/09/28/04/53/sonew070215a> Acessado em 23/10/2017.

http://www.abegas.org.br/Site/?page_id=842 Acessado em 23/10/2017.

http://www.abegas.org.br/Site/?page_id=839. Acessado em 23/10/2017.

<http://www.valor.com.br/brasil/3395434/governo-mapeia-rede-de-novos-gasodutos-para-atender-demanda-de-gas> Acessado em 23/10/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/distribuicao-e-revenda/revendedor/combustiveis-automotivos-1/consulta-posto-web> Acessado em 23/10/2017.

http://epe.gov.br/Petroleo/Documents/MAPA%20G%C3%A1s%20Natural_EPE%202015.pdf. Acessado em 23/10/2017.

<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/gasodutos/>
Acessado em 24/10/2017.

<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biometano> Acessado em 24/10/2017.

<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/04/1872715-petrobras-conclui-venda-de-gasodutos-e-recebe-us-423-bilhoes.shtml> Acessado em 24/10/2017.

<http://www.anp.gov.br/WWWANP/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/gasodutos-de-transporte>. Acessado em 24/10/2017.

http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732803/Boletim_Gas_Natural_nr_118_DEZ_16.pdf/bc508598-e8dd-4bfb-abda-400d0fd10e02. Acessado em 24/10/2017.

<https://www.abiogas.org.br/lancamento-pnbb>. Acessado em 24/10/2017.

<https://www.correiodobrasil.com.br/zona-sul-do-rio-ganha-primeiros-postos-de-gas-natural-veicular/> Acessado em 25/10/2017.

<https://diariodotransporte.com.br/2015/11/02/historia-sao-paulo-ja-teve-lei-que-obrigava-frota-de-onibus-movidos-a-gas-natural/>. Acessado em 25/10/2017.

<https://infopetro.wordpress.com/2010/04/19/frota-brasileira-de-veiculos-leves-difusao-dos-flexiveis-e-do-gnv/>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/610-frota-2017>. Acessado em 25/10/2017.

<https://extra.globo.com/noticias/economia/crescimento-da-frota-de-carros-flex-com-gnv-quase-dobra-no-municipio-do-rio-20293216.html>. Acessado em 25/10/2017.

<https://www.gasnaturalfenosa.com.br/br/assistencia+tecnica+e+manutencao/1297250144066/kit+gnv+de+5%C2%AA+geracao.html>. Acessado em 25/10/2017.

<https://extra.globo.com/noticias/economia/conversao-para-gnv-cresce-10-em-um-ano-no-estado-do-rio-21429742.html>. Acessado em 25/10/2017.

<http://jornalibia.com.br/destaque/sulgas-tem-nova-data-para-compra-de-biometano/rtilhe>. Acessado em 25/10/2017.

<http://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2017-04-09/carro-explode-enquanto-e-abastecido-e-mata-mulher-em-sao-goncalo.html>. Acessado em 25/10/2017.

<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=260786>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/dg280202.nsf/5fb5269ed17b47ab83256cfb00501469/0250b268dd46ba4c83257acb004382ef?OpenDocument>. Acessado em 25/10/2017.

http://www.normasbrasil.com.br/norma/decreto-44855-2014-rj_271904.html. Acessado em 25/10/2017.

<http://minasenergia.rs.gov.br/politica-estadual-do-biometano-e-instituida>. Acessado em 25/10/2017.

<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=320440> Acessado em 25/10/2017.

http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2016/02/economia/482543-projeto-institui-politica-estadual-do-biometano.html. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.cidasc.sc.gov.br/blog/2016/02/22/em-santa-catarina-projeto-institui-politica-estadual-do-biometano/>. Acessado em 25/10/2017.

<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/em-santa-catarina-projeto-institui-politica-estadual-do-biometano/20160218-172350-j774>

<http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/conteudos/santa-catarina-formula-marco-legal-para-o-biogas-53025888>. Acessado em 25/10/2017.

http://www.alep.pr.gov.br/sc_integras/projetos/PRO2009000428.htm. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.abegas.org.br/Site/?p=59387>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.abegas.org.br/Site/?p=54083>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/noticias-sala/978-sulgas-inicia-processo-para-compra-futura-de-biometano>. Acessado em 25/10/2017.

http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2016/02/economia/482543-projeto-institui-politica-estadual-do-biometano.html. Acessado em 25/10/2017.

<https://oglobo.globo.com/economia/rio-quer-aprovar-projeto-de-lei-que-regulamenta-producao-venda-de-gas-natural-renovavel-6857999>. Acessado em 25/10/2017.

<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-08/anp-interdita-bicos-de-gas-natural-veicular-em-sete-postos-do-rio-de-janeiro>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.celpe.com.br/Noticias/Pages/Estudo-mapeia-potencial-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-biog%C3%A1s-em-Pernambuco.aspx>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.fiepr.org.br/observatorios/biotec-agricola-florestal/FreeComponent21849content286926.shtml>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.expointer.rs.gov.br/minas-e-eneriga-e-sulgas-lancam-atlas-das-biomassas>. Acessado em 25/10/2017.

<http://minasenergia.rs.gov.br/mapa-das-biomassas>. Acessado em 25/10/2017.

<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/03/mctic-reforca-importancia-potencial-energetico-biogas-para-o-brasil/31182>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.ecocitrus.com.br/index.php/noticia/gnverde-cruzando-fronteiras--60>. Acessado em 25/10/2017.

<http://jornalibia.com.br/montenegro/de-montenegro-ao-uruguai-em-um-ka-a-gnverde/>. Acessado em 25/10/2017.

<http://mapbiogas.cibiogas.org/>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.epe.gov.br/Paginas/WEBMAP.aspx>. Acessado em 25/10/2017.

<https://www.ucs.br/site/noticias/10722/>. Acessado em 25/10/2017.

<http://ciccaxias.org.br/noticias/2017/06/02/caxias-do-sul-sedia-1o-forum-estadual-de-biogas-e-biometano/>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.abbiogasemetano.org.br/origem.htm>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/conteudos/santa-catarina-formula-marco-legal-para-o-biogas-53025888>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.cidasc.sc.gov.br/blog/2016/02/22/em-santa-catarina-projeto-institui-politica-estadual-do-biometano/>. Acessado em 25/10/2017.

<http://www.canalbioenergia.com.br/entrevista-alessandro-gardemann/>
entrevista realizada em 21/07/2017. Acessado em 27/10/2017.

https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15 . Acessado em 07/11/2017.

http://brasilenergia.editorabrasilenergia.com/cadun/login?url_retorno=/daily/bec-online/eletrica/2017/11/investimento-em-renovaveis-cai-us-40-bilhoes-em-paises-em-desenvolvimento-476578.html . Acessado em 07/11/2017.

<http://www.abegas.org.br/Site/?p=64741> . Acessado em 07/11/2017.

<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html> Acessado em 09/11/2017.

http://www.mme.gov.br/documents/10584/1942329/Portaria_n_538-2015/49ab0708-5850-404c-a924-2760bbd22bbc?version=1.1 Acessado em 09/11/2017.

<http://acervo.oglobo.globo.com/em-destaque/pioneiro-no-mundo-proalcool-criado-no-governo-geisel-apos-choque-do-petroleo-18046357#ixzz4yPhZ7h3c> Acessado em 14/11/2017.

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm Acessado em 14/11/2017.

<http://www.worldbank.org/pt/country/brazil> Acessado em 14/11/2017.

<http://observatorioabc.com.br/2016/04/2284depois-da-eolica-chegou-o-momento-do-biogas/>. Acessado em 19/11/2017.

<http://www.sussex.ac.uk/spru/newsandevents/2017/findings/technologicalchange>. Acessado em 22/11/2017.

<https://www.ecodebate.com.br/2008/06/12/biogas-e-alternativa-para-gerar-energia-cresce-o-uso-da-tecnologia-em-granjas-e-cooperativas/>. Acessado em 25/11/2017.

<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/332920/noticia.htm?sequence=1>. Acessado em 25/11/2017.

https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20051020_not269_05. Acessado em 26/11/2017.

http://www.mme.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_auth=XF7ry9Fc&p_p_id=consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_consultaIdNormal=33&_consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_javax.portlet.action=downloadArquivo. Acessado em 26/11/2017.

<https://www.abiogas.org.br/biogas-novo-marco-legal>. Acessado em 26/11/2017.

<http://european-biogas.eu/2017/09/26/biomethane-powered-concept-tractor-unveiled/>. Acessado em 27/11/2017.

<http://media.cnhindustrial.com/EMEA/CNH-INDUSTRIAL-CORPORATE/new-holland-agriculture-unveils-methane-powered-concept-tractor-and-its-vision-for-the-sustainable-f/s/24915a32-85b4-4eda-86b0-c1ecda1c02e8>. Acessado em 27/11/2017.

https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=417505002351623#!%40%40%3F_afLoop%3D417505002351623%26_adf.ctrl-state%3Dcu84ujhfg_99 Acessado em 27/11/2017. Acessado em 27/11/2017.

http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPClasseConsNivel.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2FRelatoriosSAS%2FForms%2FAllItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1. Acessado em 27/11/2017.

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-project-finance>. Acessado em 27/11/2017.

<http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2017/12/08/camara-perdoa-r-54-bilhoes-de-petroleiras-diz-lider-de-fiscais-da-receita.htm>. Acessado em 08/12/2017.

https://www.sciencedaily.com/terms/renewable_energy.htm. Acessado em 05/01/2018.

Apêndice 1 – Questionário utilizado nas entrevistas

QUESTIONÁRIO - FATORES QUE DIFICULTAM A DISSEMINAÇÃO DO USO DO BIOGÁS NO BRASIL

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
 Instituto de Economia - IE
 Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas Estratégias e Desenvolvimento - PPED
 Doutoranda: Juliana Velloso Durão
 Orientador: Peter May
 Co-orientadora: Clarice Ferraz

Data da realização do questionário: _____

Respondente: _____

Instituição: _____

- 1) Há quanto tempo o (a) senhor (a) trabalha com o tema (biogás)? Como iniciou sua ligação profissional com o biogás?
- 2) Desde o início do seu envolvimento com o tema, o (a) senhor (a) viu a temática se desenvolver no país? Poderia, por favor, justificar sua resposta?
- 3) Qual substrato você considera com maior potencial de ser utilizado para produção de biogás no Brasil?

() Resíduos agrossilvopastoris

() Resíduos de efluentes

() Resíduos sólidos urbanos

() Biomassas energéticas

() Outro

Qual? _____

- 4) Qual a sua perspectiva em relação ao uso do biogás no Brasil?

() Geração de energia elétrica

() Geração distribuída

() Geração centralizada

() Geração de combustível veicular

() Outro uso

Qual? _____

- 5) Sua instituição aponta alguma estimativa de potencial de produção do biogás no Brasil? Se sim, poderia indicar qual?

- 6) Em relação ao sistema sociotécnico do biogás (atores relevantes: fornecedores de matéria-primas, produtores de biogás, consumidores do biogás, associações, centros de pesquisa), você poderia citar até 3 referências no Brasil em cada um dos grupos abaixo (que considera que já se consolidou no mercado de biogás):

Fornecedores de matéria-prima _____

Produtores de biogás _____

Consumidores de biogás _____

Associações que representam a fonte _____

Centros de Pesquisa _____

Eventos _____

- 7) Pensando na cadeia de valor do biogás, conforme a figura abaixo, qual o(s) segmento(s) dela que você considera mais crítico para o desenvolvimento da fonte no Brasil?



- Geração de substratos
- Logística upstream
- Geração de biogás
- Refinamento do biogás
- Logística downstream
- Utilização do biogás
- Outro

Qual? _____

- 8) Hoje, apesar dos avanços regulatórios conquistados, quais são ainda os maiores entraves para que a produção de biogás e biometano avancem no Brasil em sua opinião?
- 9) Em relação aos temas abaixo, poderia classificá-los por ordem de relevância para o desenvolvimento do biogás no país?

Classificar: 1) Alta relevância 2) Média relevância 3) Baixa relevância

- Tecnologia
- Acesso a mercado
- Competitividade em preço
- Infraestrutura de produção
- Infraestrutura de abastecimento/distribuição
- Políticas e regulações
- Conhecimento/pesquisa científica
- Acesso a financiamento

- 10) Em relação aos fatores econômicos, poderia classificá-los por ordem de relevância para o desenvolvimento do biogás no país?

Classificar: 1) Alta relevância 2) Média relevância 3) Baixa relevância

- Alto custo de instalação
- Alto custo de manutenção
- Acesso ao crédito
- Falta de escala de produção para reduzir custos
- Falta de garantia de acesso aos insumos

Outros:

- _____
- _____
- _____
- _____

- 11) Em relação aos fatores institucionais abaixo elencados, poderia classificá-los por ordem de relevância para o desenvolvimento do biogás no país?

Classificar: 1) Alta relevância 2) Média relevância 3) Baixa relevância

- Não há incentivos e subsídios fiscais
- Falta de conhecimento sobre a tecnologia
- Falta de pesquisa acadêmica
- Falta de parcerias entre setor privado e governo
- Ausência de regulação para estimular a fonte
- Falta de incentivo para gerar energia de forma distribuída
- Falta de disseminação sobre o potencial da fonte
- Falta de conhecimento do setor financeiro sobre o biogás

Outros:

- _____
- _____
- _____
- _____

- 12) Você considera que está havendo uma transição no Brasil para o uso do biogás? Se sim ou se não, por que?
- 13) Alemanha, Suécia, Finlândia e Reino Unido são referências na utilização de biogás. O (a) senhor (a) tomaria alguma dessas experiências como referência para o Brasil? E na América do Sul? Algum país pode ser considerado referência na utilização do biogás?
- 14) Em relação à comercialização do biogás no Brasil, quais seriam os maiores entraves na sua opinião?
- 15) Poderia citar exemplos de iniciativas bem-sucedidas e que poderiam ser usados como referência na produção de biogás no país? Quais?
- 16) Poderia citar iniciativas mal-sucedidos? Quais seriam os principais motivos para o não sucesso desses empreendimentos?
- 17) Poderia dar exemplos de políticas públicas em prol da fonte no país que considera relevante (independente da esfera governamental)?
- 18) Qual sua opinião sobre o uso do digestato? Ele pode aumentar a competitividade do biogás como um subproduto capaz de substituir fertilizantes químicos ou há limitações?
- 19) Uma questão relevante para o contexto socioeconômico brasileiro é o potencial de geração de empregos diretos e indiretos (obra e operação) de empreendimentos de geração de energia. O(a) senhor (a) trabalha com alguma estimativa em relação à isso ou conhece alguma referência?
- 20) Gostaria de registrar algum comentário adicional

Anexo 1 - Desafios do Milênio e o papel do biogás para ajudar a solucionar cada um deles.

WHICH SDG CHALLENGES CAN BIOGAS HELP SOLVE?

We estimate that biogas can help solve challenges related to nine of the 17 SDGs. These are :

Sustainable Development Goal	Contribution of AD
Goal 2: End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture	<ul style="list-style-type: none"> Restoring soils through the recycling of nutrients, organic matter, and carbon Increasing crop yields through use of nutrient-rich digestate biofertiliser Recirculating phosphorus, which is essential for the growth of plants but limited in supply
Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages	<ul style="list-style-type: none"> Reducing indoor air pollution by substituting solid biomass-based domestic fuels with biogas Treating and recycling sewage and organic wastes to reduce odours and the spread of diseases
Goal 5: Achieve gender equality and empower all women and girls	<ul style="list-style-type: none"> Reducing the burden of collecting firewood to improve the quality of women's and children's lives, reducing household labour in cooking
Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all	<ul style="list-style-type: none"> Providing decentralised, local treatment of bio-solids in remote and rural communities to reduce odours and the spread of disease Stabilising and recycling biosolids through AD to allow them to be applied back to land Reducing the carbon loading of wastewater to reduce impact on water bodies
Goal 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all	<ul style="list-style-type: none"> Reducing dependence on fossil-fuel-based energy sources by replacing with biogas Capturing waste heat from co-generating units linked to biogas plants Utilising locally produced wastes and crops to generate energy for rural and remote communities Storing biogas to produce energy when required
Goal 9: Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation	<ul style="list-style-type: none"> Improving the self-sufficiency and sustainability of industries by extracting the energy from their own effluents and using it for the self-generation of electricity and/or heat Collaboration between industries and agriculture for mutual benefit Generating short-term construction employment and long-term equipment manufacturing and maintenance employment Encouraging growth of micro-enterprises by providing reliable electricity that can be stored and used when needed, i.e. baseload energy
Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable	<ul style="list-style-type: none"> Preventing spread of diseases through collection and proper management of organic waste Improving sanitation and hygiene through decentralised and local treatment of biosolids Stabilising the sludge from wastewater treatment to protect the marine environment and urban air quality Improving urban air quality by substituting fossil fuel with biomethane in vehicles Improving urban air quality by substituting solid fuel for domestic cooking and heating with biogas Reducing greenhouse gas emissions by using biogas-based renewable energy in buildings, homes and industry
Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts	<ul style="list-style-type: none"> Reducing carbon dioxide emissions by replacing fossil-fuel-based energy sources with biogas and commercial fertilisers with digestate biofertiliser Reduction of methane and nitrous oxide emissions from livestock manures Reduction of methane and generation of renewable energy from food and other organic wastes Capturing emissions from landfills Reducing deforestation by replacing solid-biomass-based domestic fuels with biogas
Goal 15: Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss	<ul style="list-style-type: none"> Recirculating nutrients and organic matter in organic wastes through AD and returning them to the soil in the form of digestate biofertiliser Substituting firewood with biogas as a domestic fuel, reducing deforestation

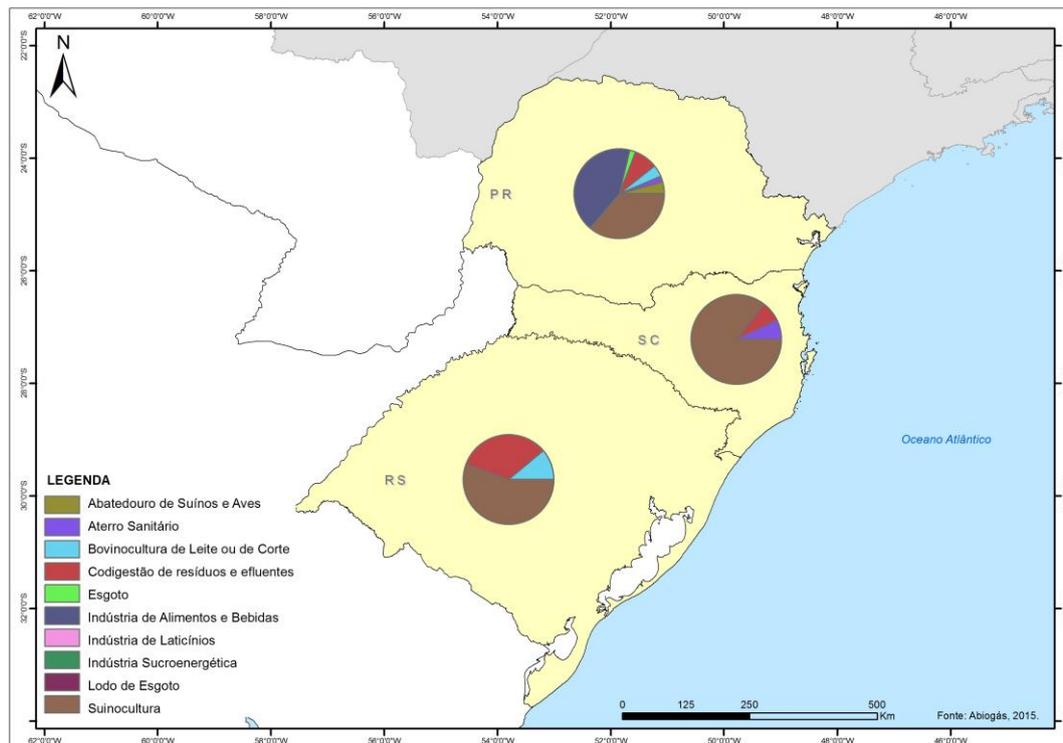
Anexo 2 - Mapa com a distribuição das plantas de biogás pelas regiões brasileiras



Fonte: Elaboração própria a partir dados Webmap EPE, 2017

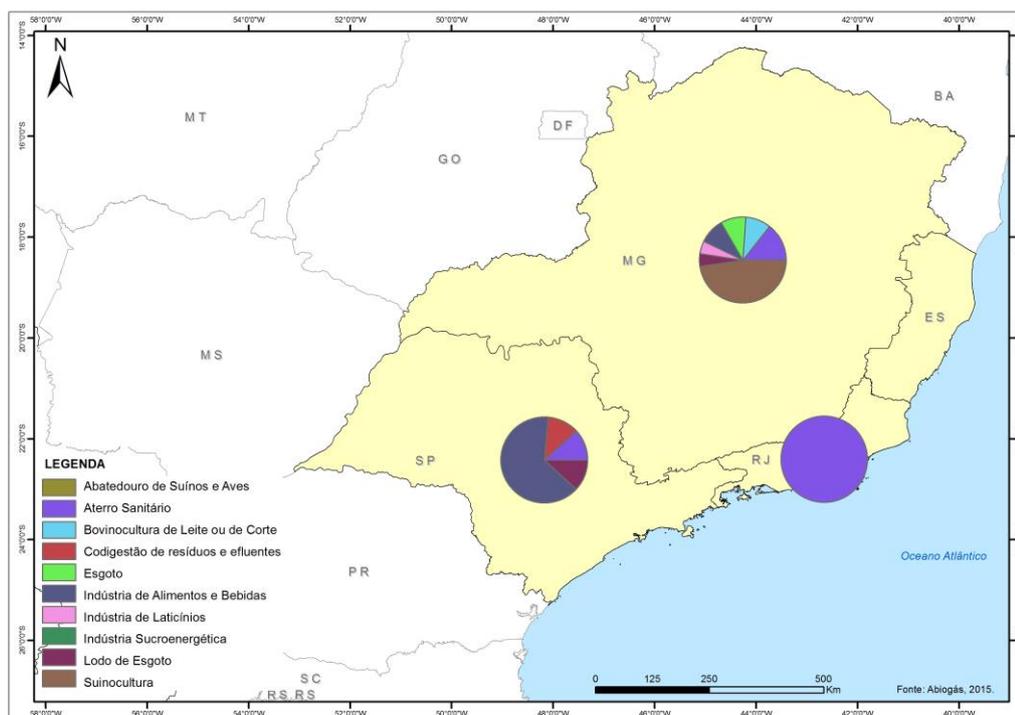
Anexo 3 – Mapas regionais com plantas de biogás por tipo de substrato

1) Região Sul do Brasil



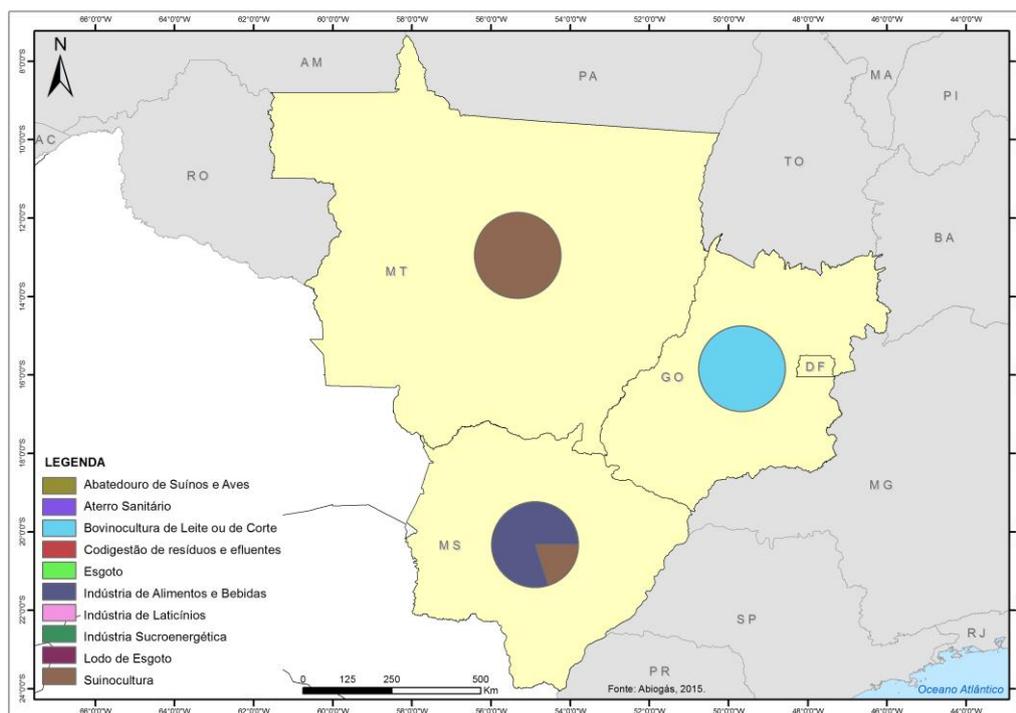
Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017

2) Região Sudeste do Brasil



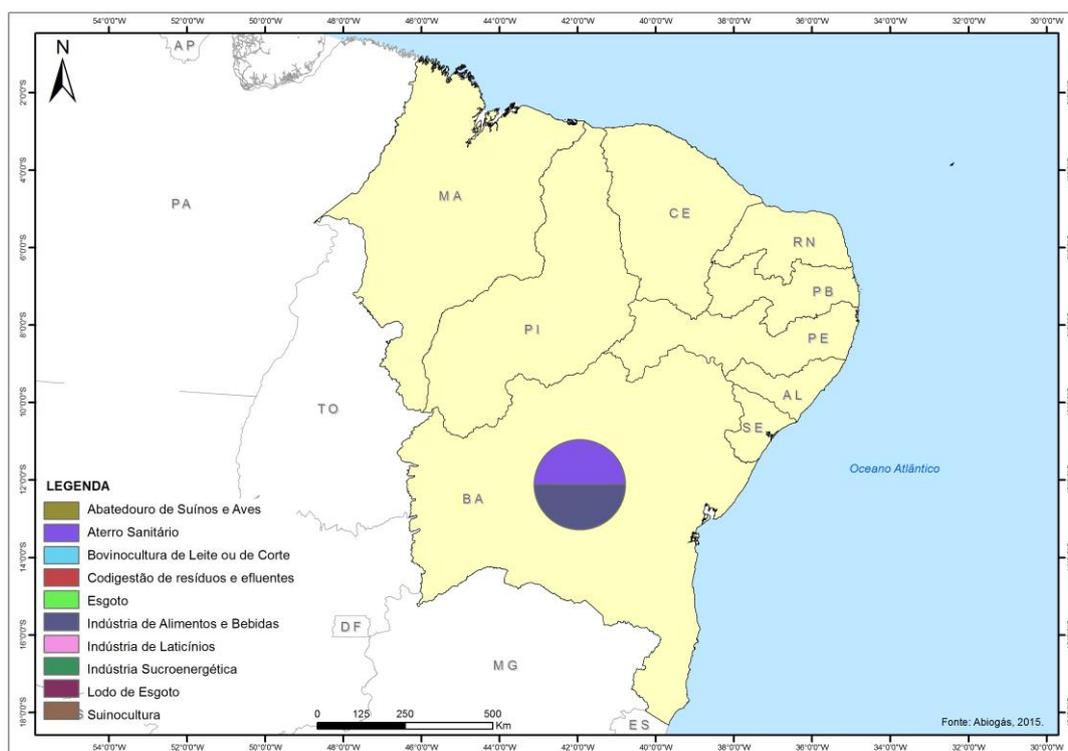
Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017

3) Região Centro-oeste do Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017

4) Região Nordeste do Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir de Webmap EPE, 2017