

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**Biogás no Brasil:
Desafios à Implementação do Biogás Gerado a Partir de
Biomassa de Origem Animal**

DIEGO DIAS VICTORIA DUARTE
Matrícula nº: 111237768

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Felipe Cury M. Mathias

DEZEMBRO 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**Biogás no Brasil:
Desafios à Implementação do Biogás Gerado a Partir de
Biomassa de Origem Animal**

DIEGO DIAS VICTORIA DUARTE
Matrícula nº: 111237768

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Felipe Cury M. Mathias

DEZEMBRO 2017

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor.

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha mãe Silvia, meu pai José Antônio e minha irmã Bruna, pelo apoio incondicional à todos os meus projetos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, e irmã pelo constante incentivo e apoio durante as jornadas acadêmica e da vida.

Aos meus padrinhos Lena e Júlio, por terem sido como pais para mim, estando ao meu lado em quaisquer situações.

A minha companheira, Tainá, por ter estado ao meu lado em todos os momentos, e por ter me dado forças para acreditar que esse dia chegaria.

Ao meu orientador e querido Prof. Cury, por ter acompanhado a construção desse trabalho de perto, estando sempre disponível a me orientar, ajudar e apoiar, para muito além do conteúdo.

RESUMO

Dadas as externalidades negativas causadas pelas fontes tradicionais de geração de energia, há uma tendência mundial de busca por substituí-las por fontes alternativas de geração de energia. O Brasil mesmo contando com uma matriz majoritariamente hidrelétrica, considerada uma fonte renovável, busca através de programas específicos, criar uma agenda para diversificação de sua matriz energética na direção de fontes renováveis. Dadas suas características específicas, nesse cenário de busca, a biomassa de origem orgânica, utilizada para produção do biogás, mostra-se como uma fonte capaz de produzir energia e ainda colaborar para redução do impacto ambiental associado a atividade agropecuária, além de representar uma forma de geração distribuída (produção de energia descentralizada e em pequena escala). O objetivo desse trabalho foi realizar um estudo acerca do biogás produzido a partir da biomassa de origem animal como fonte alternativa de energia. De forma mais específica o trabalho buscou, explorar algumas das razões que impedem o Brasil – dadas as características propícias que possui – de explorar todo o seu potencial no uso do biogás.

Palavras-chave: Sistemas de Inovação Tecnológica; Bioenergia; Biogás; Biomassa residual; Geração Distribuída;

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC - Agricultura de Baixo Carbono

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BIG - Banco de Informações de Geração

CCC - Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis

CHP – *Combined Heat and Power*

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

Copel - Companhia Paranaense de Energia

DA - Digestão Anaeróbia

EEG - Lei de Energias Renováveis

FNR - Agencia Alemã para Fontes Renováveis

GD - Geração Distribuída

NPBD - Projeto Nacional para o Desenvolvimento do Biogás

PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RG - Reserva Global de Reversão

SFCR - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

SIN - Sistema Interligado Nacional

SIT - Sistemas de Inovação Tecnológica

UE - União Européia

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1 – ARCABOUÇO TEÓRICO-ANALÍTICO: A ABORDAGEM DE SISTEMAS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.....	13
1.1 – O Conceito e sua Contribuição para Compreensão da Transformação Tecnológica Sustentável	13
1.1.2 – Mecanismos Indutores e Impeditivos nas Tecnologias de Energia Renovável.....	15
1.2 – Sistemas de Inovação Tecnológica Como Ferramenta para Identificar Fraquezas Sistêmicas	17
1.2.1 – Porque são Necessárias Políticas Tecnológico-Específicas	18
1.2.2 – Fraquezas Sistêmicas no Campo das Inovações ambientais – Chave para os Formuladores de Políticas Guiarem Intervenções	19
1.3 – Considerações Finais	21
CAPÍTULO 2 – EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE USO DO BIOGÁS	23
2.1 – Casos Chinês e Indiano	23
2.2 – União Européia	25
2.2.1 – Caso Polonês	27
2.2.2 – Caso Alemão.....	28
2.3 – Considerações Finais	31
CAPÍTULO 3 – A VIABILIZAÇÃO DO BIOGÁS NO BRASIL ATRAVÉS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	34
3.1 – Contextualização do Biogás no Brasil	34
3.2 – Geração Distribuída	38
3.3 – Considerações Finais	51
CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MECANISMOS INDUTORES E IMPEDITIVOS A TECNOLOGIAS DE ENERGIA RENOVÁVEL	15
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA RESUMIDO DAS POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS.	36

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

QUADRO 1 – QUADRO RESUMO – EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS.	33
TABELA 1 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DIFERENTES FONTES DE RESÍDUOS.....	34
TABELA 2 – ELETRICIDADE USADA PELAS PROPRIEDADES, BRASIL E REGIÃO SUDESTE.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
TABELA 3 – TOTAL DE ELETRICIDADE UTILIZADA GERADA NA PROPRIEDADE, DE ACORDO COM A FONTE, BRASIL E REGIÃO SUDESTE.	38
TABELA 4 – ESTRUTURA LEGAL E NORMATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO BIOGÁS NO BRASIL.....	48
TABELA 5 – INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DO SETOR ENERGÉTICO E SEUS PAPÉIS E RESPONSABILIDADES.....	49

INTRODUÇÃO

Quanto se estuda o tema “geração de energia”, há uma tendência mundial de busca por substituir as fontes tradicionais, majoritariamente concentradas no uso de combustíveis fósseis (por exemplo, carvão mineral, petróleo e gás natural), além de energia nuclear e hidrelétrica, por fontes alternativas de geração de energia. As fontes tradicionais tendem a trazer uma série de externalidades negativas, leia-se, o aumento da emissão de gases geradores de efeito estufa, geração de resíduos tóxicos e esgotamento dos recursos naturais, entre outros.

No Brasil temos uma matriz energética majoritariamente concentrada em grandes centrais hidrelétricas. De acordo com o BIG – Banco de Informações de Geração da ANEEL - (ANEEL – BIG) a geração hídrica corresponde a cerca de 60,7% da potência instalada no Brasil. Mesmo sendo considerada uma fonte renovável as grandes centrais hidrelétricas também geram externalidades negativas, pela necessidade de inundar grandes áreas, causando prejuízos ambientais e eventualmente desalojando parte da população local.

Na busca por criar uma agenda destinada à diversificação da matriz energética nacional o Brasil criou alguns programas direcionados a expansão das fontes renováveis de energia, o maior deles, o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) criado em 2002 para expandir o desenvolvimento de energia eólica, de biomassa e de PCHs, alcançou alguns bons resultados, mas ainda sofre críticas, por exemplo, por privilegiar algumas fontes em detrimento de outras.

Como colocado por Mathias e Mathias (2015), a biomassa de origem orgânica tem a dupla vantagem de gerar energia (calor e eletricidade) renovável e de reduzir o impacto ambiental associado a seu descarte. A utilização de biomassa para produção do biogás, também representa uma forma de geração distribuída (produção de energia descentralizada e em pequena escala) e, considerando as particularidades nacionais, mostra um potencial de trazer uma nova função econômica para as áreas rurais.

Considerando o exposto acima, como objetivo geral buscou-se, a partir da exposição do conceito de Sistemas de Inovação Tecnológica (SIT) e de experiências internacionais

bem sucedidas, realizar um estudo acerca do biogás produzido a partir da biomassa de origem animal como fonte alternativa de energia. De forma mais específica o trabalho buscou, explorar algumas das razões que impedem o Brasil – dadas as características propícias que possui – de explorar todo o seu potencial no uso do biogás, e consequentemente de complementar sua matriz energética através de fontes sustentáveis de produção de energia.

Considerando-se os objetivos colocados acima, o trabalho está dividido em três capítulos, mais a introdução e a conclusão. A primeira sessão traz o arcabouço teórico-analítico, apresentando o conceito de Sistemas de Inovação Tecnológica (SIT) e sua importância para discussão de transições tecnológicas. Após a exposição do conceito, são apresentados fatores indutores e impeditivos ao desenvolvimento de tecnologias energéticas sustentáveis, e como o SIT pode colaborar para identificação de fraquezas sistêmicas. Procura-se mostrar por que são necessárias políticas específicas voltadas à tecnologia, e encerra-se trazendo as fraquezas sistêmicas na inovação ambiental como o ponto de partida para as intervenções dos formuladores de políticas.

O segundo capítulo busca mostrar como experiências internacionais bem sucedidas na implementação do biogás colaboram com aprendizados que podem ser adaptados ao caso brasileiro. Começando pelos casos Chinês e Indiano e posteriormente tratando dos europeus, Polônia e Alemanha, o capítulo traz exemplos das diferentes tecnologias, dos diversos objetivos, e das políticas utilizadas para que esses países estimulassem o uso do biogás como fonte alternativa de energia, tornando-se parte da matriz energética. Como ponto comum nos quatro exemplos, destaca-se a importância da participação de incentivo governamental e a repetida aplicação da tecnologia em áreas rurais.

O terceiro e último capítulo busca contextualizar o biogás na atual realidade brasileira e começa apresentando o que, de fato, é esse composto gasoso. Introduce-se o importante conceito de geração distribuída (GD), caracterizada principalmente pela produção destinada à cargas próximas do local de geração, suas vantagens e desvantagens. Por último, apresenta-se a contraposição entre dois autores, um que defende que as condições legais para o desenvolvimento da bioenergia no Brasil estão dadas, e outro que acredita que há que se percorrer um caminho na direção do desenvolvimento de um

arcabouço legal mais claro e uma atitude colaborativa e coordenada entre os diferentes agentes envolvidos na questão energética nacional.

Por fim, o trabalho traz a sua conclusão onde é realizada uma síntese das idéias debatidas ao longo dos capítulos.

CAPÍTULO 1 – Arcabouço Teórico-Analítico: A Abordagem de Sistemas de Inovação Tecnológica

1.1 – O Conceito e sua Contribuição para Compreensão da Transformação Tecnológica Sustentável

Para construir o arcabouço teórico que analisa transições na direção de tecnologias sustentáveis é útil que se apresente o conceito de Sistemas de Inovação Tecnológica (SIT). De acordo com Carlsson e Stankiewicz, (1991); Jacobsson e Johnson, (2000), o processo pelo qual uma nova tecnologia emerge, é desenvolvida e difundida na sociedade deve ser estudado utilizando-se o conceito de sistema tecnológico, que é um sistema inovativo tecnológico-específico.

O conceito torna-se especialmente válido quando se tratam de tecnologias novas disputando espaço com outras tecnologias já consolidadas. Um sistema tecnológico é definido como ‘uma rede(s) de agentes interagindo numa área específica da tecnologia, sob uma infra estrutura institucional particular com o propósito de gerar, difundir e utilizar tecnologia’ (Carlsson e Stankiewicz, 1991: 21). A idéia é traçar o caminho pelo qual uma dada combinação de atores, ou a instalação de um sistema institucional específico moldam a geração, difusão e utilização de uma nova tecnologia (Bergek e Jacobsson, 2004).

De forma que colabore com o desenvolvimento da nova tecnologia sustentável, o SIT tem que fornecer cinco funções básicas. Essas funções não são independentes umas das outras e mudanças em umas funções podem levar a mudanças em outras (Bergek e Jacobsson, 2003).

A primeira e mais ampla função, da qual derivam todas as outras, é a criação de um mercado inicial que deve funcionar como mecanismo indutor para que novos recursos

A teoria neoclássica considera a inovação como um fator exógeno nos processos de crescimento e mudança econômicos, por isso, dificulta a compreensão das conexões causais entre mudança tecnológica e crescimento econômico. Nesse sentido, Dosi (1982) apud Cafour (2015), destaca as teorias “*demand pull*”, que consideram as forças de mercado como principais determinantes do progresso técnico - percebendo as inovações como resultado de demandas da sociedade por melhorias – e as teorias “*technology push*” que consideram a tecnologia como fator quase autônomo, independente do mercado. Os SIT são uma das abordagens evolucionárias de inovações tecnológicas surgidas a partir das teorias de Schumpeter (1942), que

sejam trazidos por novos entrantes para o SIT. Esses mercados, também conhecidos como “incubadores” ou “mercados-ponte” tem a importante função de criar o espaço inicial protegido para que as novas tecnologias se desenvolvam explorando nichos específicos antes de atingirem os mercados de massa. Os mercados de nicho, além de demonstrar a viabilidade de uma nova tecnologia e dar suporte financeiro, ajudam a construir um consenso, iniciam um processo de aprendizado interativo e começam a adaptação institucional. A segunda função é derivada da primeira, já que esses mercados tem a função particular de guiar a direção da pesquisa incentivando a entrada de firmas nas diversas partes da cadeia de valor. A terceira trata da emergência de economias externas positivas que podem surgir associadas a, por exemplo, maior disponibilidade de recursos complementares e transmissão de informação em redes.

“Cada firma bem sucedida... cria demanda para certos serviços intermediários, jurídicos e de contabilidade. A maior disponibilidade desses recursos facilita o processo de nascimento para firmas que vem na sequência, e maiores taxas de entrada de firmas encorajam capital de risco a também entrar” (Fontenary e Carmel, 2001: 26 apud Bergek e Jacobsson, 2004)

A quarta função é legitimar a nova tecnologia e seus atores através da construção da estrutura institucional. As necessárias regulações de mercado, políticas de impostos, sistemas de valor, etc., só acontecerão com a mudança institucional. Essa mudança traz a formação das coalizões de defesa (advocacy coalitions): universidades, associações privadas e não comerciais, mídia, políticos de diferentes segmentos burocráticos, que irão se engajar no debate político para ganhar influência sobre as instituições e garantir que ocorra o alinhamento institucional para que as novas tecnologias ganhem espaço. A quinta função, que está em parte presente em todas as anteriores, trata do fornecimento de recursos como capital e outras competências.

Passado o período de formação, quando tornam-se grandes o suficiente, há uma “mudança de marcha” e os mercados passam a ser capazes de caminhar por conta própria, desenvolvendo-se de forma auto sustentável. Essa evolução, difícil de prever, é o processo de inter-relações causais que envolvem todos os componentes e funções do SIT. As

contestam as teorias ortodoxas, apresentado-se de forma mais dinâmica e considerando a base tecnológica como fator endógeno.

conexões entre as funções podem mostrar-se circulares iniciando um processo de “causação cumulativa” (*cumulative causation*), (Bergek e Jacobsson, 2004).

Esse processo de “causação cumulativa” só terá início se o SIT passou pelo período de formação. Sem isso não ocorre a reação em cadeia de círculos de retornos positivos (*feedback loops*) em resposta a onda de oportunidades tecnológicas e de mercado. Ter sucesso em completar o período de formação é condição necessária, mas não suficiente para garantir que vá acontecer a “mudança de marchas” sem dificuldades.

1.1.2 – Mecanismos Indutores e Impeditivos nas Tecnologias de Energia Renovável

Os tipos dos fatores indutores e impeditivos estão ligados às particularidades locais e tendem a variar muito de acordo com os países e as tecnologias que estão sob análise. Com frequência os fatores impeditivos não agem de forma isolada, mas sim de forma inter-relacionada reforçando-se entre si.

A Figura 01 abaixo ajuda a elucidar a inter-relação presente na ação dos mecanismos/fatores indutores e impeditivos sobre as cinco funções do SIT supramencionadas.

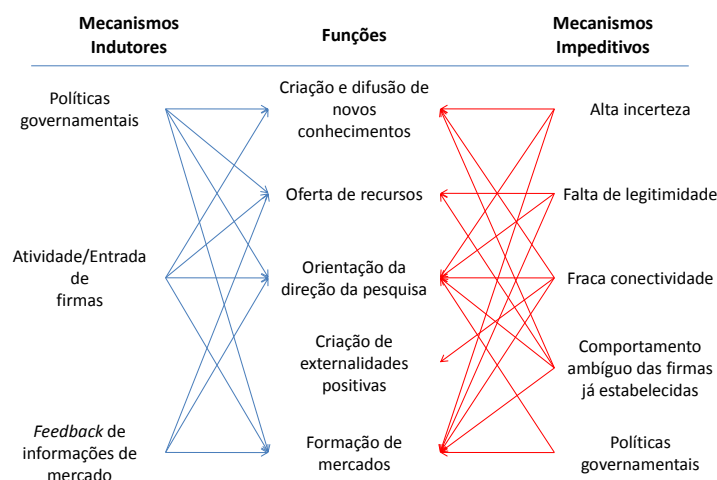


Figura 01 – Mecanismos indutores e impeditivos a tecnologias de energia renovável.

Fonte: Adaptado de Bergek e Jacobsson, (2004).

Em se tratando dos fatores indutores, responsáveis por desencadear e fortalecer as cinco funções básicas do Sistema de Inovação Tecnológica (SIT), explicitadas na seção 1.1, o maior peso pode ser atribuído às políticas governamentais. Elas influenciam pelo menos quatro dessas funções. Recursos para P&D apoiam a criação de conhecimento novo, suprimento de recursos e guiam a direção da pesquisa de vários atores em direção às novas tecnologias (Johnson e Jacobsson, 2001; Bergek e Jacobsson, 2003; Jacobson *et al.*, 2004). Instrumentos como subsídios para investimento, programas de demonstração e mudanças legislativas estimulam a formação de mercados (Johnson e Jacobsson, 2001; Bergek, 2002; Bergek e Jacobsson, 2003; Jacobsson *et al.*, 2004) e a criação de conhecimento aplicado (Jacobson *et al.*, 2004).

A entrada/atividade de firmas e os círculos de retorno positivo (*feedback loops*), os outros dois fatores indutores, também levam ao suprimento de recursos, desenvolvimento de diferentes desenhos para a tecnologia dentro de cada setor e a formação de mercados. Particularmente, o primeiro fator ainda leva a criação de conhecimento novo.

Quanto aos mecanismos impeditivos, cinco compõem o problema de bloquear as tecnologias renováveis. Os dois mais comuns no campo das novas tecnologias são a alta incerteza no âmbito tecnológico, de mercado e econômico, além da falta de legitimidade da nova tecnologia aos olhos dos diferentes atores. A alta incerteza obstrui a formação de mercados e guia a direção da pesquisa, de entrantes potenciais, para longe da direção das energias renováveis. (Johnson e Jacobsson, 2001; Bergek, 2002; Bergek e Jacobsson, 2003). O segundo, também guia a pesquisa para longe do campo dos renováveis, impede a formação de mercados, e ainda bloqueia o suprimento de recursos (Johnson e Jacobsson, 2001; Bergek e Jacobsson, 2003).

Não obstante, mais três problemas impeditivos adicionais devem ser explicitados. Primeiro, a fraca conectividade em termos de aprendizado e da criação de redes políticas entre os atores do SIT, resultam em vários problemas (Bergek e Jacobsson, 2004). Segundo, o comportamento ambíguo e/ou oposto de alguns fornecedores de energia já estabelecidos e de fornecedores de bens de capital, reduz a legitimidade de tecnologias de energia renovável, bloqueando o suprimento de recursos e guiando a direção da pesquisa para longe dessas tecnologias (Johnson e Jacobsson, 2001; Bergek e Jacobsson, 2003). Essa

ambiguidade também leva incerteza e vulnerabilidade ao consumidor, o que dificulta a formação de mercados (Johnson e Jacobsson, 2001; Bergek, 2002) e atrasa passos importantes do processo de criação de conhecimento (Bergek, 2002). As políticas governamentais, o terceiro problema, têm bloqueado diversas funções do SIT (Bergek e Jacobsson, 2004), por exemplo, por falta de variedade na política de P&D a direção da pesquisa foi guiada para uma seleção de desenhos tecnológicos que se mostraram não estar de acordo com a demanda. Medidas de política erráticas e inconsistentes tendem a aumentar o grau de incerteza e conseqüentemente guiar a direção da pesquisa para longe das tecnologias de energia renováveis.

Finalmente, percebe-se que os mecanismos indutores e impeditivos influenciam as funções do SIT de diversas maneiras, por isso é preciso que se crie um entendimento particular do padrão de cada SIT para que se possa identificar de forma personalizada suas fortalezas e fraquezas. Assim, o primeiro desafio chave é a construção de uma política que fortaleça as funções mais fracas do sistema aumentando a força dos mecanismos indutores e suprima os mecanismos impeditivos.

É particularmente importante que essa política se preocupe com as funções de guiar a direção da pesquisa e estimular a formação de mercados, pois se bloqueadas há um grande risco de que não se realize o potencial delas de influenciar as outras funções através de círculos de retorno positivo (*feedback loops*) (Bergek e Jacobsson, 2004).

Construir políticas que influenciem o padrão de cada SIT exige grande coordenação entre diversos ministérios e agências responsáveis pelas diversas partes dos sistemas já estabelecidos e pelos emergentes. Atingir essa dada coordenação de políticas é o segundo grande desafio chave (Bergek e Jacobsson, 2004).

1.2 – Sistemas de Inovação Tecnológica Como Ferramenta para Identificar Fraquezas Sistêmicas

A diretriz neoclássica para definição de políticas é a abordagem das “falhas de mercado”. Em se tratando da introdução de novas tecnologias energéticas, duas “falhas” são comumente enfatizadas: externalidades de conhecimento positivas e externalidades

ambientais negativas (e.g Jaffe *et al.*, 2002). Sob a influência neoclássica o principal mecanismo de seleção de investimento é o custo marginal, ou seja, os investimentos ocorrerão primeiro na tecnologia corrente mais custo-eficiente, e só depois que essa tiver seus custos elevados, outras tecnologias mais caras serão fomentadas. Políticas climáticas baseadas nas “falhas de mercado” se apoiam em dois pilares: apoio a P&D e incentivos econômicos gerais ou baseados no mercado (Jacobsson e Bergek, 2011).

Políticas tão gerais mostram-se insuficientes para estimular transições na direção da transformação tecnológica sustentável, políticas tecnologia-específicas se fazem também necessárias. Entretanto, a implementação de tais políticas traz a questão de como os seus formuladores podem identificar processos que são de importância crítica para políticas tecnologia-específicas e para quais processos a intervenção deve ser endereçada. Essa é a maior contribuição da análise sob a ótica dos sistemas de inovação tecnológica (SIT) no estudo de transições sustentáveis (Jacobsson e Bergek, 2011).

1.2.1 – Porque são Necessárias Políticas Tecnológico-Específicas

Dois motivos trazem a necessidade de políticas tecnologia-específicas: a escala do desafio de transição e o gerenciamento de um processo de crescimento único e multi dimensional. Quanto a escala, o desafio torna-se ainda mais acentuado quando se leva em conta o longo tempo para que toda uma estrutura de indústrias de bens de capital e de cadeia de suprimentos seja desenvolvida. Esse horizonte de tempo associado ao desenvolvimento de tecnologias e uma capacidade de produção industrial associada a elas, deixa claro que o fomento a novas tecnologias deve ser feito em paralelo e não da forma sequencial. O desafio das políticas é não selecionar os projetos a partir das tecnologias mais custo-eficiente, saindo do modelo “linear” de inovação neoclássico, mas simultaneamente fomentar uma variedade de tecnologias e indústrias. Com respeito ao gerenciamento do processo, políticas tecnologia-específicas são necessárias pois as tecnologias renováveis estão em diferentes estágios de desenvolvimento. A abordagem não linear exige a formação de nichos iniciais nos quais as tecnologias novas e imaturas podem desenvolver-se através de um processo de aprendizado iterativo. (Kemp *et al.*, 1998; Jacobsson e Bergek, 2004). Não há uma melhor política geral, a intervenção de políticas deve ser “multifacetada” e incorporar um leque de atividades, deve ser direcionada à ciência e também a suplantação

de riscos, a influência de expectativas e a formação de padrões, a criação de mercados de nicho iniciais, a formação de novas redes, ao desenvolvimento de capital humano especializado, etc. (Jacobsson e Bergek, 2011).

1.2.2 – Fraquezas Sistêmicas no Campo das Inovações ambientais – Chave para os Formuladores de Políticas Guiarem Intervenções

O processo de formação de um sistema de inovação tecnológica (SIT) se desenvolve pela reconfiguração de seus componentes/funções, conforme esses co-evoluem em um processo marcado por grande incerteza (e.g Nelson, 1994; Meijer *et al.*, 2007).

O desenvolvimento e difusão do conhecimento, um das funções tidas como das mais importantes, base do conhecimento técnico e científico do SIT e normalmente tido como uma função forte, também pode sofrer impacto negativo das fraquezas sistêmicas. Isso acontece se, por exemplo, todo o recurso de P&D é direcionado para um único modelo de desenvolvimento, enquanto poderia permitir uma pesquisa mais ampla e desenvolvimento de conhecimento numa variada gama de modelos. *Redes fracas* também podem bloquear o desenvolvimento e a difusão do conhecimento, quando problemas técnicos permanecem sem solução pela falta de comunicação entre os agentes.

Desenvolvimento de conhecimento, entretanto, não é suficiente. Um SIT só pode evoluir se houverem atores com um comportamento empreendedor, que explorem e aproveitem novas oportunidades através da condução de experimentos, aprofundando-se em tecnologias e mercados arriscados e incertos, e desafiando instituições (Jacobsson e Bergek, 2011). Primeiramente, a falta dessa experimentação empreendedora pode ocorrer como resultado de vários tipos de *fraqueza dos atores*, por exemplo, se há falta de atores no sistema conduzindo experimentações de forma constante. Em segundo lugar, existe a natural aversão ao risco das firmas que podem não querer assumir o comprometimento exigido por projetos de investimentos de longo prazo e alto risco.

Alta incerteza técnica combinada a grande risco de mercado dificulta o fortalecimento da “experimentação empresarial” sem que haja intervenção de políticas específicas. (Jacobsson e Bergek, 2011).

Da função anterior segue-se que o desenvolvimento de um SIT requer uma variedade de firmas e outras organizações perseguindo novas oportunidades, e que seu processo de busca resulta no reconhecimento de oportunidades no SIT na forma de, por exemplo, potenciais de crescimento a serem explorados (Jacobsson e Bergek, 2011). A função “influência na direção da pesquisa” tem mais a ver com fatores institucionais como estruturas de incentivo, e uma fraqueza nessa função é geralmente consequência de fraqueza nas instituições (Jacobsson e Bergek, 2011). A busca por conhecimento das firmas tende a fazê-las procurar por novas oportunidades de forma próxima as suas experiências anteriores, pois a incerteza sobre o valor de uma nova oportunidade reconhecidamente reduz a força dessa função (Jacobsson e Bergek, 2011). Na literatura de SIT a incerteza política é particularmente enfatizada. Por exemplo, como coloca Meijer *et. al.* (2007: p. 5842)

“A incerteza que os empreendedores percebem nos instrumentos de financiamento do governo alemão tem sido um dos mais importantes aspectos a dificultar a implementação e o desenvolvimento do gás de biomassa. As frequentes e inesperadas mudanças dos instrumentos de financiamento no passado resultaram numa percepção de incerteza não só sobre mudanças futuras nesses instrumentos, mas também na confiança no governo alemão.”

Com frequência, recursos adequados em termos financeiros e de capital humano precisam ser mobilizados no nível do sistema. Projetos de larga escala para o desenvolvimento e difusão de novas tecnologias energéticas exigem grandes investimentos e o envolvimento do governo se faz necessário em muitos dos casos (Jacobsson e Bergek, 2011). No que tange a capital humano, o problema está em conseguir pessoal especializado. Isso reflete uma *fraqueza de atores* em termos da inabilidade das universidades proverem a variedade e volume de competências requeridas (Jacobsson e Bergek, 2011).

A formação de mercados é parte necessária da inovação pois é: a base para experimentos empreendedores, é um incentivo para entrada de firmas e para difusão de tecnologias. Porém, uma variedade de *fraquezas institucionais* podem obstruir essa formação (Jacobsson e Bergek, 2011). É necessária a montagem da estrutura regulatória, já que os investimentos em novas tecnologias são de longo prazo, alto custo e exigem o desenvolvimento de uma vasta cadeia de suprimentos suplementar a elas. Vale também

ressaltar que não podem existir problemas na definição da padronização de aspectos técnicos.

A legitimidade é essencial para que recursos sejam mobilizados, mercados sejam formados e para que atores ganhem força política, em suma, é necessária para que várias das funções do SIT funcionem (Jacobsson e Bergek, 2011). A formação da legitimidade tende a ajudar o SIT a superar a “desvantagem da novidade” que fica relacionada a fontes alternativas para energia renovável. A fragilidade dos elementos estruturais do SIT pode enfraquecer a sua legitimação, por exemplo, pela falta de atores capazes de montar redes políticas.

O importante desenvolvimento de externalidades positivas é também discutido. Ele aparece, por exemplo, no fortalecimento da legitimidade de uma nova tecnologia, vantagem deixada pelos precursores de um mercado para os que os seguem depois. Vale adicionar que a política deve focar no fortalecimento de redes fracas ou até ajudar a construir novas redes e a confiança que une os atores no SIT, pavimentando assim o caminho para o aprendizado interativo (Jacobsson e Bergek, 2011).

O grande leque de possíveis fraquezas do sistema traz a necessidade de que políticas públicas atuem de maneira ampla e simultânea sobre todas as estruturas do sistema de forma que consigam fortalecer suas funcionalidades.

1.3 – Considerações Finais

Compreender o conceito de SIT e suas cinco funções básicas inter-relacionadas é válido, especialmente para tratar de tecnologias novas disputando espaço com outras já consolidadas. Com respeito aos fatores indutores que agem sobre as funções do SIT, as políticas governamentais se destacam pela alta capacidade de influência e consequente criação dos círculos de retorno positivo (*feedback loops*). Já em se tratando dos impeditivos, merecem destaque a alta incerteza e a falta de legitimidade, ambos obstruem a formação de mercados “ponte” e guiam a direção da pesquisa para longe dos renováveis. Por isso é importante entender cada padrão de SIT e construir uma política que consiga fortalecer seus fatores indutores e suprimir os impeditivos. Essa deve ser a estratégia chave

para os formuladores de política guiarem sua intervenção, fomentando a “experimentação empresarial” dos atores para que se comprometam com projetos de investimento de longo prazo mesmo em mercados arriscados e incertos. Só com a superação das fraquezas institucionais serão formados os “mercados base”, fundamentais para entrada de firmas e difusão de tecnologia, de forma legítima, vencendo a “desvantagem da novidade” relacionada as fontes alternativas de energia renovável.

CAPÍTULO 2 – Experiências Internacionais de Uso do Biogás

O caminho do Brasil em direção ao pleno desenvolvimento e difusão de todo o seu potencial no uso de energias renováveis é longo e repleto de dificuldades e desafios. Lições aprendidas com a experiência de países bem sucedidos na implementação de alternativas tecnológicas nessa direção, podem trazer o conhecimento necessário que servirá como um catalisador capaz de facilitar a superação de barreiras internas e colaborará para o pleno uso do potencial brasileiro no setor.

Dadas as suas proporções continentais e diferentes condições climáticas, o Brasil pode dispor de um leque de opções de energia renováveis complementares a sua matriz majoritariamente hidrelétrica, dentre elas, a eólica, solar e de biomassa. Essa última, podendo ser obtida de diferentes fontes, a saber, lixo e esgoto doméstico, efluentes industriais, ou nos resíduos rurais como os dejetos animais e vegetais, pode passar pelo processo de biodigestão gerando, dentre seus produtos, o biogás. É sobre esse produto e suas diferentes possibilidades de uso, já difundido em países da Ásia e Europa, que esse capítulo irá tratar.

2.1 – Casos Chinês e Indiano

China e Índia são dois dos países em desenvolvimento com experiências mais bem sucedidas no uso do biogás. Se comparado a esses dois países o Brasil tem fortes similaridades em extensão territorial e no grande número de animais dedicados às criações de gado e suínos. Logo é possível inferir que há um significativo potencial de contribuição que podemos extrair da experiência dessas duas nações. De acordo com Coldebella (2006), esses países dominam as melhores tecnologias para o uso de biodigestores.

Em se tratando dos objetivos pelos quais esses dois países desenvolveram e amplamente difundiram o uso do biogás em seu território, podemos afirmar que enquanto a China visava, principalmente, a produção de biofertilizantes para serem utilizados na agricultura, a Índia tinha o intuito de suprir seu déficit na produção de energia. Objetivos distintos demandam desenhos tecnológicos diferentes fazendo com que os biodigestores

chineses sejam mais simples e baratos, enquanto os indianos são tecnicamente mais complexos e caros, pois tem que entregar maior rendimento no aproveitamento do biogás. Em todo caso, ambos os modelos necessitam de abastecimento contínuo, ou seja, são ideais para biomassa oriunda de dejetos suínos e bovinos, que apresentam certa regularidade de fornecimento (Pecora, 2006). O desenvolvimento da tecnologia do biogás na China e Índia é baseado no manejo de animais, especialmente, na criação de gado e suínos (Bond e Templeton, 2011).

O início da promoção do uso do biogás na China data dos anos 70 e sua alocação se dá especialmente nas residências rurais do país em sistemas familiares de produção. Um ponto frequentemente destacado pelos autores, por exemplo, Bond e Templeton, (2011) é como os sistemas de manejo não oferecem saneamento adequado para prevenir a poluição. Nesse sentido, Jiang *et al.*, (2001) destaca que a enorme produção pecuária chinesa favorece a produção do biogás, uma vez que a geração do gás a partir da digestão anaeróbica da biomassa é uma tecnologia que pode produzir energia sustentável e ainda reduzir o risco ambiental associado ao manejo de esterco e outros dejetos.

Como caminho para estimular a produção de energia a partir de fontes renováveis, o governo chinês aprovou, dentre uma série de ações voltadas ao desenvolvimento do biogás, a “Lei de Energia Renovável” que ofereceu incentivos para produção do biogás em 2006 (Mathias e Mathias, 2015). Vê-se que a influência de políticas públicas foi chave para desencadear a expansão desses sistemas. Isso mostra que mesmo em um país com amplas reservas de hidrocarbonetos, particularmente carvão e mais recentemente gás não convencional, também há interesse no uso do biogás e outras fontes de energia alternativas (Mathias e Mathias, 2015).

No âmbito econômico, o governo chinês tem dado alta prioridade ao setor rural de biogás, apoiando projetos de construção de infra-estrutura pública para propriedades rurais de pequena escala. Como resultado desse amplo projeto, ao final de 2010, 38,5 milhões de biodigestores de pequena escala e 27 mil de ampla e média escala foram construídos no país, fazendo com que a China assumisse o posto de maior produtor e consumidor de biogás no mundo (Chen *et al.*, 2012).

O uso do biogás na Índia tem vários pontos em comum com a experiência chinesa, em particular podemos destacar a característica familiar das plantas de biogás, a ampla dispersão entre as propriedades rurais ao longo do vasto território e os estímulos concedidos pelo governo para construção das plantas. Desde o início dos anos 80, o país executa um projeto conhecido como NPBD (Projeto Nacional para o Desenvolvimento do Biogás) que fornece financiamento e treinamento aos vários programas de desenvolvimento propostos pelo governo (Mathias e Mathias, 2015). Entre os anos de 1980 e 1990, os subsídios fornecidos pelo governo para o desenvolvimento de biodigestores familiares cobriu de 30% a 100% do preço total dos equipamentos, o que fez com que ao final de 2007 o governo indiano tivesse subsidiado a construção de quatro milhões de biodigestores familiares nas áreas rurais (Bond e Templeton, 2011).

Por não possuir autossuficiência em combustíveis fósseis, a grande preocupação do governo indiano é em relação a sua segurança energética, por isso entre os anos 2000–2006 uma comissão de planejamento montou uma série de comitês e preparou uma política energética integrada, conectada ao desenvolvimento sustentável e que endereçassem todos os aspectos relativos ao uso e fornecimento de energia (Gopinthan e Sudhakaran, 2009).

Dessas duas experiências internacionais inicialmente mencionadas fica, em destaque, o aprendizado de que o desenvolvimento do biogás em pequenas plantas familiares rurais, especialmente considerando países que assim como o Brasil tem uma dimensão territorial significativa e com propriedades dispersas ao longo desse espaço, tem grande potencial já que o biogás produzido pode ser utilizado nas próprias fazendas.

2.2 – União Européia

Dada a extensão territorial de seus países, na maioria dos casos, reduzida e sua dotação pouco abundante em fatores naturais propícios a produção energética (leia-se, principalmente, recursos hídricos e recursos – petróleo, gás e carvão - fósseis), os países que formam a União Européia (UE) estão entre os que mais se preocupam com o desenvolvimento de fontes alternativas para produção de energia e adotaram regras comuns, para que, de forma coordenada, possam responder ao aumento de consumo a partir do uso dessas fontes (eólica, solar, de biomassa) tornando-se cada vez menos dependentes

da importação. Com isso, esperam também garantir que sejam praticados preços moderados para a produção/consumo de energia (para que o preço da energia não atrapalhe sua competitividade), e assegurar que o ambiente seja menos poluído possível (em especial, lutando contra as alterações climáticas).

Os “Objetivos 20-20-20” foram todos desenhados na direção de um aumento da eficiência energética da UE e em benefício dos consumidores, e são tangibilizados em três objetivos principais, comuns a todos os países, que devem ser atingidas até 2020. O primeiro deles diz respeito a redução dos atuais níveis de consumo, e determina que o consumo total de energia sofra uma redução correspondente a 20% do nível de consumo em 1990. O segundo objetivo trata da expansão da oferta energética a partir do uso de fontes renováveis e determina que até o prazo limite, 20% do consumo de energia seja satisfeito a partir do uso dessas fontes (e, pelo menos, 27% até 2030). Na promoção desse objetivo, alcançou-se um aumento significativo na produção energética de fontes renováveis. Em 2011, por exemplo, 70% da capacidade (100 gigawatts) em painéis solares do mundo, foi instalada na UE. Essa e outras fontes contribuíram para uma economia equivalente a 400 bilhões de euros com redução na importação de combustíveis fósseis, além de uma redução no custo das tecnologias e expansão da oferta de trabalho (1,2 milhões de postos de trabalho relacionados a tecnologias verdes nos últimos 7 anos) (Comissão Europeia – Energia – 2014).

A terceira meta diz respeito a luta contra as alterações climáticas e defende que, até 2020, a UE reduza em 20% a emissão de gases de efeito estufa, em relação aos níveis de 1990, aumentando, em determinadas condições para 85%, ou mesmo 95%, em 2050. (Comissão Europeia – Energia – 2014).

Em suma, na UE há uma preocupação estratégica com o desenvolvimento do mercado de fontes energéticas renováveis. A ideia dessa política energética unificada é reduzir o consumo de combustíveis fósseis, aumentando a eficiência e a independência energética e reduzindo a emissão de gases causadores de efeito estufa. Nesse sentido, o biogás tem se mostrado como uma alternativa com grande potencial na direção de alcançar esses objetivos, tornando a UE líder nesse setor e uma exportadora de tecnologia de elevado valor agregado, o que só é possível em um quadro regulamentar claro e estável.

2.2.1 – Caso Polonês

Assim como na Índia, a preocupação com a autossuficiência energética, um indicador da segurança energética do país, é latente na Polônia, e acaba ficando limitada pela capacidade de importação de óleo cru, produtos de óleo e gás natural.

Apesar de ser um país com dimensão territorial muito menor que a do Brasil, a Polônia tem em comum com nosso país, uma relativamente alta área dedicada à agricultura (~14.6 milhões de hectares) e uma bem desenvolvida criação de gado e de suínos. Esses fatores indicam que há potencial de produção energética a partir do biogás, que pode ser extraído de três fontes principais: biomassa agrícola, lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto e resíduos orgânicos de aterros sanitários.

A Polônia tem uma robusta indústria agrícola e de alimentos, logo utilizar o biogás que pode ser obtido a partir do lixo gerado por sua agroindústria, apresenta-se como uma grande oportunidade de crescimento para o setor de energia renovável local, além de se constituir em uma fonte adicional de receita para as empresas do setor. O desenvolvimento do mercado de plantas de biogás na agricultura é importante em termos de oportunidade de desenvolvimento para as áreas rurais polonesas, sob os pontos de vista social, econômico e ambiental (Muradin e Foltynowicz, 2014).

Essas oportunidades se manifestarão na comunidade local com a criação de plantas especializadas, comércio e entidades ligadas à construção e manutenção da infra estrutura técnica dessas plantas, e ainda com a coleta e fornecimento de suprimentos de biomassa para as fábricas de biogás (Arkadiusz, Maciej, Janusz, 2016). Essas fábricas também propiciarão a substituição do uso de fertilizantes minerais, que frequentemente apresenta preços elevados, pela “massa” gerada após a biodigestão, o que aumentará a lucratividade das fábricas de biogás.

Na Polônia, as tecnologias utilizadas no processo de digestão anaeróbia variam em relação ao método de carregamento e armazenamento da biomassa, mas o mecanismo de produção é idêntico (Lebuhn, Munk, Effenberger, 2014). Como já mencionado, muitos substratos de origem animal ou vegetal, além de lixo proveniente da produção de alimentos

podem ser utilizados para produção de biogás. Em função de condições tecnológicas e econômicas particulares da Polônia, e por entregar uma silagem com alto potencial energético, o milho é um importante substrato cultivado para ser utilizado na produção local de biogás (Lebuhn, Munk, Effenberger, 2014). Corroborando com o argumento da variabilidade de fontes, outro substrato que apresenta potencial para geração de biogás na Polônia é o açúcar de beterraba. Devido às recentes medidas da União Europeia no sentido de determinar uso de preços mínimos e estabelecer sistemas de cotas no uso de açúcares, essa cultura pode servir para aumentar a área dedicada para produção de biogás na Polônia, inclusive oferecendo a sua estrutura de fábricas obsoletas para serem transformadas em plantas de biogás.

O exemplo polonês nos mostra que não importam as dimensões territoriais do país. O fomento ao uso de energias renováveis, e especialmente do biogás, como caminho para alcançar a segurança energética é latente e se aproveita de todo potencial local para alcançar esse objetivo. Além disso, a produção do biogás limita a poluição do ambiente associada a criação de animais, reduzindo as emissões de gases causadores do efeito estufa (i.e - dióxido de carbono e metano). Colaboram para aceleração do seguimento as fortes políticas da União Europeia na direção do desenvolvimento de energias renováveis, ajudando inclusive a dar um novo destino a plantas industriais que eram utilizadas para outros propósitos.

2.2.2 – Caso Alemão

A Alemanha, frequentemente citada como exemplo de mudança no setor, tem tido um crescimento consistente no número de plantas produtoras de biogás nos últimos vinte anos. Em 1992 o país tinha aproximadamente 140 fábricas de biogás, enquanto no final de 2013 já operavam no país 7720 fábricas. Esse crescimento rápido no setor se deve à criação de soluções relevantes nos âmbitos legal e financeiro, capazes de mudar o sistema energético alemão. Para se ter uma ideia da seriedade do assunto no país, a Agência Alemã para Fontes Renováveis (FNR) estabeleceu que 1.157 milhões de hectares de terras agricultáveis (10% do total de terras agricultáveis disponível) seriam destinados a produção de biogás (Lebuhn, Munk, Effenberger, 2014).

O constante acréscimo no número de plantas produtoras de biogás e consequentemente na quantidade de energia elétrica fornecida ao sistema, devem-se principalmente a implementação da Lei de Energias Renováveis (EEG). Sob essa lei há o pagamento pelo fornecimento de energia proveniente de recursos renováveis (Poeschl, Ward, Owende, 2010). No país, o biogás é utilizado principalmente para geração combinada de calor e energia (CHP – Combined Heat and Power) e para geração de energia elétrica a ser utilizada na alimentação da rede elétrica nacional (Faulstich, Greiff, 2007), porém também está em andamento um plano que permita a injeção do biogás enriquecido na rede nacional de gás, expandindo as possibilidades de uso do biogás (Agency for Renewable Resources, 2006). Estima-se ainda que a otimização da alocação dos insumos disponíveis em plantas descentralizadas tem potencial para aumentar ainda mais a utilização do biogás (Scholwin, 2007). Além dos já conhecidos, e extensamente explicitados, benefícios em termos ambientais e de aumento da segurança energética, a Associação Alemã de Biogás (2008), destaca que a implementação da tecnologia do biogás criou cerca de 10.000 empregos na Alemanha em 2007 e contribuiu para o crescimento econômico com aumento da exportação de sua tecnologia na área.

O sistema de biogás alemão desenvolveu-se a princípio em pequenas plantas descentralizadas nas fazendas, utilizando esterco e misturas de resíduos de colheitas como insumo para produção e entregando, principalmente, geração combinada de calor e energia (CHP). Com os incentivos trazidos pela EEG houve uma proliferação de plantas em escala industrial alocadas em locais específicos, com processos logísticos sofisticados e utilizando uma ampla variedade de insumos para produção (Gorisch, Helm, 2006). Essas plantas maiores que não possuem conversão térmica, tem como alternativa de mercado mais atrativa a transformação do gás em bio metano e injeção desse gás melhorado na rede.

No setor agrícola, o esterco é o insumo preferido devido a sua disponibilidade e a facilidade de manejo. Ele ainda contém minerais valiosos, importantes para o posterior uso do material remanescente da digestão anaeróbia (DA) como fertilizante.

Considerados mais custo intensivo, outros insumos importantes são as culturas energéticas, plantas cultivadas especificamente para produção de biocombustíveis. Quanto ao uso dessas devem-se considerar a disponibilidade de terra destinada a produção, o

rendimento potencial de gás daquela cultura e o custo de transporte dos insumos. As flutuações de mercado (i.e. – preços, disponibilidade e transporte) associadas a esses insumos fazem com que o custo da energia seja maior, se comparado, por exemplo, ao esterco animal. Pesa ainda o fato de que monoculturas cultivadas com esse intuito trazem consequências negativas para o meio ambiente, podemos citar: comprometimento da biodiversidade, o uso de grandes quantidades de pesticidas e decréscimo na fertilidade do solo.

Com potencial de uso para produção do biogás podemos citar ainda os insumos do setor industrial e o lixo sólido. Esses, porém, por questões regulatórias específicas do país, precisam de muitos procedimentos de tratamento prévio até que possam ser utilizados na produção de biogás. Esses procedimentos, por si só já demandam muita energia, elevando o custo de produção se comparado aos dois insumos anteriores, e tornando seu uso viável somente em plantas de larga escala. Dentro da vasta gama de insumos disponíveis, a logística de abastecimento será o fator determinante para viabilidade das plantas de biogás.

No âmbito das tecnologias utilizadas, aproximadamente 70% se baseia em processos de digestão seca e comumente os digestores, tanques feitos de concreto – desenho herdado das plantas de tratamento agrícola - recebem mais de um tipo de insumo orgânico. Para acelerar o processo de DA, adaptaram-se técnicas já conhecidas da indústria de processamento de lixo para o pré-tratamento dos insumos. Mesmo com essa indústria em franca evolução, a variedade de insumos dificulta o ganho de eficiência e exige que sejam feitas pesquisas em escala de laboratório antes de adotar soluções viáveis para operação. Frente a falta de pessoal técnico especializado, atualmente, a escala de operação das plantas de biogás no país é sub-ótima, fica em torno de 80% da capacidade total (Faulstich, Greiff, 2007).

Em termos de políticas que fomentem o desenvolvimento e a difusão de tecnologias para o uso de energias renováveis, a União Européia exerce forte influência sobre todos os países da região, por exemplo, com o Pacote de Energia e Mudança Climática de 2008 (Energy and Climate Change Package), que visa reduzir em 20% até 2020 a emissão de gases de efeito estufa (comparado aos valores de 1990), aumentar a utilização de recursos

renováveis dos atuais 8,5% para 20% e reduzir o consumo de energia com ganhos de eficiência (European Community Directive, 2008).

Nesse contexto, a nível nacional, o governo alemão colocou metas ainda mais desafiadoras. A intenção é criar um cenário para redução estruturada emissão de gases de efeito estufa até 2020, na qual 25-30% da eletricidade e 14% do aquecimento serão gerados pelo uso de recursos renováveis. Como o custo de geração de energia elétrica através de renováveis é mais caro se comparado a combustíveis fósseis, para alcançar esses objetivos

justifica-se a prática, pelo governo alemão, de subsídios dentre outras várias estratégias de suporte.

O maior exemplo de subsídio vem da Lei de Energias Renováveis” (EEG) que garante pagamento pela alimentação da rede com eletricidade proveniente de fontes renováveis. Vale observar que com o objetivo de tornar a operação das plantas de biogás lucrativa e independente, esse pagamento ocorrerá por 20 anos, com redução de 1% ao ano. A EEG ainda fornece pagamento para utilização exclusiva de matérias-primas renováveis, co-geração de calor e energia e inovações tecnológicas. A EEG garante também um esquema de subsídios extra para pequenas plantas descentralizadas de biogás, pois entende que elas promovem desenvolvimento rural.

Mesmo a Alemanha, um país com desenvolvimento avançado no uso de renováveis, precisa fortalecer seus direcionadores políticos, incentivos (i.e – subsídios, benefícios fiscais) e tecnologia para que o biogás possa contribuir de forma significativa para geração de energia limpa. Sua experiência mostra ao Brasil que para expandir a utilização do biogás, são aspectos centrais: o fornecimento sustentável de matérias-primas, a eficiência operacional e a minimização de impacto ambiental e de problemas sócio-econômicos, por exemplo, através da utilização de recursos locais disponíveis e da criação de empregos.

2.3 – Considerações Finais

A partir das quatro experiências internacionais explicitadas acima, podemos concluir, em linha com o que colocou Mathias e Mathias, (2015), que há necessidade de uma forte participação governamental, através de medidas políticas específicas –

particularmente com respeito ao quadro legal e a incentivos financeiros - para o desenvolvimento de sistemas de biogás. Também merece destaque o recorrentemente observado incentivo ao desenvolvimento de plantas de biogás de pequena escala em áreas rurais (Mathias e Mathias, 2012).

Todos os casos apresentados acima são exemplos de geração distribuída (GD), um modelo alternativo de expansão das fontes de energia elétrica, especialmente para áreas mais afastadas, caracterizado principalmente pela proximidade entre a fonte geradora e a consumidora da energia. Um modelo também conhecido por geração descentralizada, que, dentre outras vantagens, tende a atender de maneira mais eficiente as áreas de menor densidade populacional.

Quadro Resumo - Experiências Internacionais:

	Objetivos Principais	Características	Participação Governamental - Exemplos
China	Produção de biofertilizantes a serem utilizados na agricultura;	Equipamentos mais simples e baratos; Utilização começa no início de 1970; Alocação em residências rurais – sistemas familiares de produção;	Aprova a “Lei de Energia Renovável” (2006) – incentivos para produção do biogás; Prioridade para infra-estrutura em pequenas propriedades rurais;
Índia	Suprir déficit de produção energética;	Equipamentos mais complexos e caros (entregam maior rendimento no aproveitamento do biogás); Alocação em residências rurais familiares;	Projeto Nacional para o Desenvolvimento do Biogás (1980) – financiamento e treinamento à outros programas de desenvolvimento do biogás; Política energética integrada ao desenvolvimento sustentável;
Polônia	Preocupação com a autossuficiência energética;	Tecnologia varia em relação ao método de carregamento/armazenamento da biomassa; Utiliza o biogás proveniente do lixo gerado por sua agroindústria;	Se beneficia das políticas de incentivo da UE para o desenvolvimento de energias renováveis – i.e. Pacote de Energia e Mudança Climática “20-20-20”;
Alemanha	Aumento de segurança energética e criação/aproveitamento de externalidades ambientais positivas;	Processos de digestão seca em tanques de concreto; Início em pequenas plantas rurais para geração combinada de calor e energia (CHP); Evolução para escala industrial com processos logísticos sofisticados e utilizando ampla variedade de insumos;	Agência Alemã para Fontes Renováveis (FNR) - estabeleceu ~1.15 milhões de hectares de terras agricultáveis fossem destinados a produção de biogás; Lei de Energias Renováveis (EEG) – pagamento pelo fornecimento de energia proveniente de recursos renováveis; Subsídios e outras estratégias de suporte para alcançar metas ainda mais ambiciosas que as da UE;

Fonte: Elaboração própria.

CAPÍTULO 3 – A Viabilização do Biogás no Brasil Através da Geração Distribuída

3.1 – Contextualização do Biogás no Brasil

O biogás é uma mistura de gases produzida quando microorganismos quebram a matéria orgânica na ausência de oxigênio, esse processo de transformação da biomassa é conhecido como digestão anaeróbia (DA), e ocorre em biodigestores¹. Nessa mistura de gases o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções, e o primeiro é quem vai determinar o poder calorífico do gás (Salomon, 2007). A depender da fonte geradora, pode-se encontrar entre 40% - 75% de metano no biogás (Castanon, 2002 apud Salomon, 2007). A Tabela 1 mostra a composição média dos gases que compõem o biogás.

Tabela 1. Composição média do biogás proveniente de diferentes fontes de resíduos orgânicos (Castanon, 2002 apud Salomon, 2007).

Gases	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	40 – 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 40
Nitrogênio (N)	0,5 – 2,5
Oxigênio (O)	0,1 – 1
Acido sulfídrico (H ₂ S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH ₃)	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,1
Hidrogênio (H)	1 – 3

De forma simplificada, um biodigestor é composto de uma câmara fechada na qual um tipo de biomassa passa pelo processo de digestão anaeróbia. É, portanto, um equipamento que se destina a armazenar a biomassa, fornecendo as condições ideais para que as bactérias degradem o material orgânico resultando na produção do biogás (Dotto et al., 2012).

Como colocado por Salomon e Lora (2005), o biogás que antes era somente tratado como um subproduto da digestão anaeróbia tem visto sua importância crescer frente à emergência da utilização de fontes renováveis “não convencionais” que sejam economicamente atrativas e colaborem para preservação dos recursos naturais esgotáveis. Existem diversos resíduos orgânicos dos quais, ao serem submetidos a processos de digestão anaeróbia, pode-se extrair o biogás, entre esses resíduos estão: lixo urbano e doméstico, lodo das estações de tratamento de esgoto, resíduos agrícolas, efluentes industriais e dejetos de animais.

O biogás tem diferentes usos energéticos, como: calor, calor e energia combinados (CHP), ²combustível de veículos e, com tratamento adicional (para que obedeça as especificações locais), pode ser até inserido na rede de gás natural (Mathias e Mathias, 2015). No Brasil, há grande potencial para utilização das diferentes fontes produtoras do biogás citadas acima. Estima-se que o potencial de geração de energia elétrica a partir delas está entre 1,21% e 1,30% da capacidade instalada, o que demonstra que o biogás obtido a partir da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos tem grande poder energético (Salomon e Lora, 2005).

Para ser utilizado como combustível de veículos é necessário que o biogás seja melhorado com a remoção da maior parte do dióxido de carbono e do sulfureto de hidrogênio.

A Figura 02 abaixo resume as possibilidades de utilização do biogás como combustível alternativo.



Figura 02 – Fluxograma resumido das possibilidades de utilização do biogás.

Fonte: Adaptado de Fernandes, M. D. (2012)

Como destacam Mathias e Mathias (2015), dada a variedade de possibilidades de produção do biogás, sua natureza heterogênea e dispersão geográfica no território, cada possibilidade deve ser analisada a luz de suas peculiaridades no que diz respeito a sua contribuição sócio-econômica a nível local e nacional.

Dado o leque de possibilidades de geração de biogás, para fins de delimitação do estudo, levando-se em consideração a posição de destaque do Brasil como um dos maiores produtores e exportadores globais de proteína animal, especialmente de gado e suínos, e a possibilidade de contribuição que a exploração do biogás pode trazer em termos de ganhos em sustentabilidade para as áreas rurais (Mathias e Mathias, 2015), desse ponto em diante,

tratar-se-á especificamente do potencial da exploração do biogás produzido a partir do tratamento da biomassa residual de origem animal.

A revisão da literatura demonstra que os empreendimentos de produção de biogás no Brasil são incipientes e regionalmente isolados (Mathias e Mathias, 2015). Na realidade, classificam-se as energias renováveis como “alternativas”, no sentido de que essas são inferiores a fonte renovável mais nobre, a hidrelétrica (Bley, Jr. *et al*, 2009). Mesmo frente a esse isolamento, particularmente, a região sudeste do Brasil reúne características muito favoráveis ao desenvolvimento de plantas de biogás, pois concentra grande parte da produção intensiva de gado e de suínos. Dados do Censo Agrícola - IBGE- mostram que a produção de biogás nas propriedades das áreas rurais é praticamente inexistente e que essas propriedades dependem da eletricidade comprada de distribuidores. O censo também evidencia que não há tratamento adequado para os dejetos animais, o que leva a um significativo problema ambiental (Mathias e Mathias, 2015).

A Tabela 2 mostra a eletricidade das propriedades rurais, comprada e obtida por cessão. A Tabela 3 mostra o total de eletricidade produzida nas propriedades rurais da região sudeste.

Tabela 2. Eletricidade usada pelas propriedades, Brazil e Região Sudeste, 2006

Brasil e Região Sudeste	Comprada	Obtida por Cessão
Brasil	3.258.676	270.293
Região Sudeste	812.468	33.144
Estado do Paraná	270.084	19.667
Estado de Santa Catarina	175.379	3.217
Estado do Rio Grande do Sul	367.005	10.260

Fonte: IBGE, Censo Agrícola de 2006 (Mathias e Mathias, 2015).

Tabela 3. Total de eletricidade utilizada gerada na propriedade, de acordo com a fonte, Brasil e Região Sudeste, 2006

Brasil e Região Sudeste	Energia Solar	Energia Eólica	Hidroelétrica	Combustíveis fósseis	Outras fontes
Brasil	32.217	273	7.072	30.669	6.321
Região Sudeste	308	28	796	464	538
Estado do Paraná	106	7	287	126	232
Estado de Santa Catarina	56	5	143	50	101
Estado do Rio Grande do Sul	146	16	366	288	205

Fonte: IBGE, Censo Agrícola de 2006 (Mathias e Mathias, 2015).

Comparando os dados das Tabelas 2 e 3 percebe-se que do total de propriedades que obtém energia de pelo menos uma fonte, apenas 2,1% ou 76.552 propriedades, geram sua própria energia, e em sua expressiva maioria utilizaram, em 2006, energia solar ou queima de combustíveis fósseis (Mathias e Mathias, 2015).

Um indicativo de que há espaço para a geração do biogás a partir da digestão anaeróbia (DA) é o fato de que essa tecnologia é capaz de produzir energia de forma sustentável e reduzir o potencial poluidor da atividade pecuária, contribuindo para solução dos problemas ambientais associados ao gerenciamento dos dejetos animais.

Também está colocada a possibilidade de uso do biogás em indústrias que são intensivas no uso de energia, por exemplo: a de grãos, tijolos, cimento, azulejos, pedras, dentre outras indústrias de produtos minerais, além de frigoríficos, moinhos e outras indústrias agrícolas. Esses segmentos conseguiriam, através do biogás, obter energia sob medida para seus altos níveis de consumo (Bley Jr. *et al*, 2010).

3.2 – Geração Distribuída

Ao longo da maior parte de sua história o sistema elétrico se expandiu através da geração centralizada de energia, ou seja, construção de grandes centrais geradoras movidas por fontes primárias de energia (i.e – usinas hidrelétricas) conectadas a extensas linhas de

transmissão e distribuição que visavam atender o crescimento, o sistema seguiu nessa direção sempre buscando economias de escala. Esse modelo foi formulado para atender a demanda de pico e por extensos períodos de tempo uma boa parte da capacidade instalada pode permanecer inutilizada. A partir dos anos 1980, as dificuldades de financiar grandes centrais, aliada ao surgimento de inovações que reduzem o custo da energia gerada no setor impulsionaram o questionamento desse modelo, sugerindo a mudança na direção da disseminação da geração distribuída (GD).

Uma das falhas desse modelo está atrelada, como coloca Rodriguez (2002), ao fato de que não se enquadram no planejamento, áreas afastadas, de baixa densidade populacional e com baixa demanda por consumo. Expandir a rede elétrica para essas regiões pode não apresentar retorno econômico, e por consequência aumentar as disparidades sociais em função da restrição do acesso à energia.

Não há consenso sobre a definição do que é a GD, mas sim aspectos em comum que permeiam as diferentes definições. A GD pode ser definida como qualquer fonte geradora em que a maior parte da produção seja destinada a cargas locais ou próximas sem a necessidade de longas redes de distribuição (INEE, 2002 apud Dias, Bortoni e Haddad, 2005), e que, em se tratando da sua localização física, tenha mobilidade (Dias, Bortoni e Haddad, 2005).

A GD comporta o uso de diversas tecnologias empregadas na produção energética, permitindo sua escolha em função da disponibilidade de recursos energéticos locais (Rodriguez, 2002). Nesse sentido, o uso da biomassa para produção de energia, representa uma forma de GD, pois a fonte da energia está próxima ao consumidor (Mathias e Mathias, 2015), além de representar a busca por eficiência energética com redução dos impactos ambientais.

O fato de o consumidor final estar próximo ao local de geração, traz uma série de vantagens à GD: (i) redução das perdas pelo “trânsito”, nos sistemas de transmissão e distribuição, até as cargas, (ii) aumenta a confiabilidade do sistema: maior qualidade energética assegurando fornecimento sem interrupções, especialmente em áreas congestionadas, (iii) atendimento à comunidades localizadas em áreas remotas ou isoladas,

de difícil construção e acesso as linhas de transmissão e distribuição, dando maior dinamismo econômico e gerando empregos (Dias, Bortoni e Haddad, 2005).

Além dos benefícios trazidos pela proximidade entre o consumidor e o local de geração, existem outras vantagens associadas à GD, podemos destacar: (i) aumenta a segurança energética do sistema, pela diversificação de fontes geradoras, (ii) potencial de redução de impactos ambientais pois, no caso de fontes renováveis, diminui a emissão líquida de dióxido de carbono, (iii) permite à concessionária postergar, e por vezes evitar, investimentos em subestações de transformação e equipamentos para capacidade adicional de transmissão, (iv) reduzem erros de planejamento pois flexibilizam a capacidade de ajuste do sistema, frente a variações de demanda, com unidades de menor capacidade (Rodriguez, 2002).

O setor agrícola, especialmente de produção de proteína animal, opera com margens de lucro reduzidas e por isso, outro proveito trazido pela idéia de expansão da GD diz respeito ao conceito de agronegócio da energia ou “agroenergia”. Trata-se de uma nova função econômica para a propriedade rural, e seu reconhecimento e estímulo como atividade tem potencial de trazer novas fontes de renda para a propriedade rural, diferentes dos tradicionais produtos agrícolas, através do surgimento de novos negócios e projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis, como eólica, solar, e a biomassa residual transformada em biogás (Bley Jr. *et al*, 2009).

A geração de energia a partir da biomassa animal encontrava-se, em 2008, em fase quase experimental, com poucas usinas de pequeno porte em operação no mundo. Por isso, em estatísticas e estudos, era tratada pela designação genérica de “Outras Fontes” (...) Já para a biomassa de origem vegetal, o quadro era radicalmente diferente, em função da diversidade e da aceitação de seus derivados pelos consumidores. (Atlas da Energia Elétrica do Brasil, 2008. Brasília: Aneel: 68 apud, Bley Jr. *et al*, 2009).

A agroenergia fomenta essas propriedades rurais a se colocarem como novos agentes econômicos que não só acessam a energia de que necessitam como também participam da geração e distribuição de energia elétrica. Essa atividade que até então ficava reservada para instituições estatais ou grandes companhias privadas, tem potencial de gerar faturamento independente dos obtidos com os produtos agropecuários tradicionais e ainda contam com uma estrutura de preços, prazos e consistência na contratação – são firmados

contratos de longo prazo com concessionárias distribuidoras oficiais, reguladas publicamente – constituindo novas perspectivas ao tradicional modelo de negócios do campo (Bley Jr. *et al*, 2009).

A descentralização, proposta pela GD, de parte da geração através de fontes geradoras de energia “de varejo”, ou seja, micro e pequenas centrais elétricas, tem potencial para auxiliar no suprimento da demanda principalmente nos horários de ponta, complementando a matriz energética.

Mesmo frente aos impactos positivos diretos e indiretos que a biomassa residual, através da GD, tem capacidade de produzir, representando uma importante fonte de energia renovável para estrutura agrícola brasileira, ainda existem barreiras técnicas, econômicas e regulatórias que impedem o pleno uso da GD (Rodriguez, 2002). Com respeito aos empecilhos técnicos, ocorre o desenvolvimento, em paralelo, de vários desenhos de tecnologias que ainda não alcançam escala comercial e/ou não apresentam nível de confiabilidade suficiente para serem colocadas no mercado. Ainda no aspecto técnico, Dias, Bortoni e Haddad (2005), trazem à tona a questão do despreparo das concessionárias, que não estão prontas para se conectar a unidades de GD devido a falta de estudos sobre as melhores forma de se fazer essa interconexão. Pesa ainda o fato de que o sistema elétrico não foi concebido para funcionar nos moldes da GD, já que essa implica a necessidade de uma grande quantidade extra de conexões com o conseqüente aumento no fluxo de potência na rede. Por último, demanda-se desenvolvimento de pessoal especializado o suficiente para trabalhar com as tecnologias que envolvem o sistema de GD.

Com respeito aos empecilhos econômicos, como conseqüência do estágio prematuro de desenvolvimento em que se encontram as tecnologias, destacam-se os altos custos de implementação, que desestimulam investimentos iniciais no setor (Rodriguez, 2002). O planejamento relativo à alocação dos custos de investimento e a operação tornam-se mais difíceis, associa-se ainda o fato de as empresas de pequeno porte, normalmente, terem mais dificuldade de captar financiamentos para aquisição dos equipamentos (muitos deles são importados e tem custo de manutenção elevado). Isso torna o custo da eletricidade produzida a partir de sistemas de GD ainda alto se comparado com o das distribuidoras, por isso é fundamental que se identifiquem áreas onde a expansão do sistema elétrico, no molde

tradicional, tem alto custo marginal, o que justificaria a implementação de soluções através da utilização de GD.

Dentre outras barreiras enfrentadas pela GD, estão: (i) a poluição sonora; (ii) incipiente rede de gás canalizado contemplando todas as regiões brasileiras (Dias, Bortoni e Haddad, 2005); (iii) a questão do foco do atual modelo de negócios do setor elétrico estar concentrado em um horizonte “curto-prazista”, que privilegia a obtenção de receitas em detrimento da construção de uma estrutura eficiente.

Porém, como destacam Dias, Bortoni e Haddad (2005), as questões regulatórias potencialmente sejam o maior desafio à expansão da GD, pois não existem normas sobre os procedimentos de conexão, o que impede a padronização e deixa os consumidores sujeitos as normas particulares definidas por cada concessionária. Em se tratando das tarifas, as concessionárias praticam uma estrutura muito global e não existem mecanismos que consigam refletir a diferenciação dos custos de abastecimento nos diferentes períodos do dia e do ano (Rodriguez, 2002). Outras duas questões referentes às tarifas merecem destaque: (i) a tarifa para o consumidor de baixa tensão é monômnia, ou seja, cobre os custos de geração, transmissão e distribuição. Esse desenho é especialmente problemático para os “prosumidores” – os indivíduos que são ao mesmo tempo consumidores e produtores de energia – pois esses utilizam a rede como *backup*, sem arcar completamente com o custo desse uso; (ii) a estrutura tarifária baseada em volume pode ameaçar as distribuidoras tendo em vista que uma maior adesão a sistemas de GD fará o volume consumido cair, com um impacto negativo direto sobre o faturamento das distribuidoras (FGV Energia – Recursos Energéticos Distribuídos, 2016).

No entanto existem referências no assunto que defendem que as condições legais para o desenvolvimento da bioenergia através da GD, estão dadas, e caberia aos agentes envolvidos estimular o seu uso. Bley Jr. *et al* (2009), coloca que ao revisar a legislação aplicável à GD percebe-se um marco favorável a sua implementação, fato que é evidenciado pelo autor com o exemplo do projeto piloto envolvendo as empresas, Itaipu Binacional e Copel (Companhia Paranaense de Energia) - projeto que aconteceu dada a Resolução Autorizativa ANEEL 1.482, de 29 de Julho de 2008 - em que as companhias desenvolveram um sistema para unir de forma segura o aporte de energia à rede geral,

assegurando um elo entre a produção de energia elétrica gerada a partir da GD, sua venda e eventual disponibilidade para o Sistema Interligado Nacional (SIN) quando necessário.

Bley Jr. *et al* (2009), separa em duas frentes as condições legais de viabilização da GD: A legislação federal existente e os instrumentos programáticos aplicáveis. Com respeito à legislação o autor destaca: (i) Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004 – que regulamenta a comercialização de energia elétrica, processos de oferta de concessões, de autorizações de geração de energia elétrica, além de outras providências; (ii) Resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), nº 167, 10 de Outubro de 2005 – que estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente da GD; (iii) Alteração realizada na Lei nº 9.648/98 (a Lei nº 10.438/02 modificou, entre outros, o seu art. 11, § 4º, do mecanismo de sub-rogação da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), que passou por sucessivas melhorias e encontra-se regulamentado pela Resolução nº 146/05 da ANEEL), permitiu a transferência dos benefícios da CCC, além das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), também para as fontes solar, eólica e de biomassa implantadas em sistema elétrico isolado, que vieram substituir a geração termelétrica que use derivado do petróleo, no atendimento à demanda atual ou futura, caminhando em linha com o processo de universalização e de introdução de fontes alternativas na matriz energética.

Em se tratando dos instrumentos programáticos, o autor menciona o início da implementação de políticas de incentivo à co-geração, que se deu a partir do (i) Decreto nº 2.003/96 e que incorporou a perspectiva da racionalidade energética associada à modalidade de produção energética via GD. Coloca ainda o (ii) Decreto nº 5.163/2004, como elemento de regulamentação do novo modelo do setor elétrico, que restringiu a poucas alternativas a compra de energia elétrica pelas concessionárias de distribuição, e dentre esse parco número de alternativas estaria presente a opção de aquisição proveniente de empreendimentos de GD, desde que esses empreendimentos cumprissem determinada condição mínima de eficiência energética. Ele lembra ainda que as centrais termelétricas que utilizam a biomassa como combustível gozam dos os mesmos incentivos dados à co-geração qualificada, logo as centrais de co-geração que funcionam com biomassa não precisam se submeter à ANEEL para tirarem proveito dos incentivos definidos em lei. Por

último o autor faz menção ao (iii) programa de incentivo - PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) – que busca criar uma agenda voltada para a expansão de fontes renováveis de energia (eólica, biomassa, PCHs). Esse programa foi estabelecido pela Lei 10.438 de Abril de 2002 e atualizado pela Lei 10.762 de Novembro de 2003, tornando-se um passo chave no desenho da estrutura legal para os esforços de eletrificação no Brasil. Ele visa diversificar a matriz energética nacional e encontrar soluções regionais com o uso de fontes renováveis de energia, através da exploração de matérias primas e tecnologias disponíveis, para que ocorra um aumento da participação de energia proveniente dessas fontes no Sistema Interligado Nacional (SIN).

A lei 10.438/02 garante ainda que sejam destinados recursos provenientes da RGR (Reserva Global de Reversão) para a utilização em programas de universalização (i.e – Programa Luz para Todos) e também para o desenvolvimento de projetos com fontes alternativas (eólica, solar, biomassa) assim como para pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), além de usinas termelétricas e termoneucleares de geração de energia (Plano Nacional de Eficiência Energética, 2011). No ano de 2010, o PROINFA também criou o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que visava direcionar e aumentar os recursos para o financiamento de custeio, comercialização e investimento para os produtores rurais implementarem práticas agrícolas sustentáveis. O ABC também abordou a produção do biogás a partir da biodigestão de dejetos animais, e tem a intenção de tratar 4,4 milhões de m³ desses dejetos, evitando a emissão de 6,9 milhões de toneladas de dióxido de carbono ao utilizar o biogás para obtenção de energia elétrica e/ou para aquecimento nas propriedades (MAPA, 2013).

No entanto, existem críticas a esse que seria o maior programa criado até hoje para incentivar o uso de fontes alternativas de energia no sentido de que o PROINFA privilegia determinadas fontes em detrimento de outras. Em se tratando de biomassa, especificamente, a ampla maioria de projetos está atrelada a produção energética a partir da vinhaça de cana, enquanto outras formas de uso de biomassa, como a partir de dejetos animais e aterros sanitários, seguem com baixíssima participação na oferta energética, persistindo o quadro de não tratamento para dejetos animais que não recebem quaisquer incentivos do PROINFA (Mathias e Mathias, 2015). Varella, Cavaliero, Silva (2008) apud Benedito

(2009), afirmam que, por exemplo, em se tratando dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) uma das razões para o desprezo está no fato de que o PROINFA foi criado para atender o SIN, portanto não incentiva os SFCR dado que se trata de uma tecnologia com custo mais elevado. Outro exemplo de crítica ao programa é feito por Rodríguez (2002), apontando que ele iniciou um conflito de interesses entre investidores de pequeno e grande porte, pois o governo estaria beneficiando exclusivamente o Produtor Independente Autônomo ao restringir a participação de grandes empresas à instalação de 550MW de capacidade nos empreendimentos eólicos, trazendo prejuízo a empresas que já haviam gasto montantes milionários para obter autorização de seus projetos junto a ANEEL e fazendo-as reavaliar seus investimentos.

Em contraponto à Bley Jr., e sua posição de que o desenvolvimento das iniciativas de bioenergia dependem exclusivamente do ímpeto dos agentes envolvidos, já que as condições legais para o seu desenvolvimento se encontram presentes, Mathias e Mathias, 2015, propõem uma lista de ações que podem ser implementadas para efetivar-se o enorme potencial de produção e uso de biogás no país. Carece-se de ferramentas políticas e regulatórias como, por exemplo, uma legislação específica facilitadora do desenvolvimento de sistemas de biogás já que a tecnologia, como mostrado pelos exemplos do Capítulo II, encontra-se disponível.

Os autores colocam que, mesmo com a aprovação da “Lei dos Biocombustíveis” (Lei 12.490/11) em setembro de 2011, e suas contribuições para a nova estruturação legal do biogás ainda existem problemas que precisam ser endereçados para que os sistemas de biogás possam, de fato, se desenvolver. Especialmente em se tratando de geração energética a partir do biogás, existem barreiras políticas e regulatórias a serem vencidas. A Lei supramencionada modifica a Lei 9.487/97 incluindo nos “Princípios e Objetivos da Política Energética Nacional” os seguintes pontos: (1) a garantia de que haverá oferta de biocombustíveis em todo o território nacional; (2) incentivos a geração de energia elétrica a partir de biomassa e outros subprodutos da produção de biocombustíveis, dado que essa fonte é mais limpa, renovável e complementar a hidrelétrica; (3) promover o país de forma competitiva no mercado internacional de biocombustíveis; (4) atrair investimentos em infra-estrutura para o transporte e armazenagem dos biocombustíveis; (5) promover

pesquisa e desenvolvimento (P&D) em torno do tema; e (6) mitigar a emissão de poluentes e gases de efeito estufa no setor de energia e transportes através do uso de biocombustíveis (Mathias e Mathias, 2015).

Mathias e Mathias, 2015, destacam dois trechos da lei, um que versa sobre a responsabilidade do Conselho Nacional de Política Energética – órgão responsável pela formulação de políticas e diretrizes de energia – de “definir a estratégia e a política para o desenvolvimento econômico e tecnológico da indústria de petróleo, gás natural, de hidrocarbonetos e biocombustíveis, assim como sua cadeia logística”. O outro trecho define “a indústria de biocombustíveis” como “a série de atividades econômicas ligadas a produção, importação, exportação, transporte, armazenamento, comércio, distribuição, adequação, e controle de qualidade de biocombustíveis” e define “a produção de biocombustíveis” como “a transformação industrial de biomassa renovável de origem vegetal e animal em combustível”. A partir desses trechos da Lei 12.490/11, infere-se, de maneira clara, que o biogás derivado de dejetos animais é classificado como biocombustível.

A carência de uma legislação específica começa a se evidenciar, por exemplo, pelo fato de que de acordo com a Lei 11.909/09 – que dispõe sobre a exploração das atividades econômicas ligadas ao gás natural – o biogás extraído de dejetos animais não pode ser classificado como gás natural (apesar de sua idêntica composição química), pois somente o gás derivado da extração de petróleo ou de reservas de gás poderia receber essa classificação. Por outro lado, o biogás poderia ser classificado como biocombustível se regulado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Essa agência, de acordo com a Lei 12.490/11, tem como sua responsabilidade “regular e autorizar atividades relacionadas a produção, importação, exportação, armazenagem, transporte, distribuição, revenda e comércio, assim como, adequação e controle de qualidade, através da inspeção direta ou em associação com agentes da União, Estados, Distrito Federal ou Municípios”. Contudo, na Constituição Federal está previsto que cabe aos Estados explorar os serviços de gás encanado a nível local, independentemente de sua fonte ou composição. Então, seguindo o disposto na Lei 11.909/09, o biogás derivado de dejetos animais (que não é classificado como gás natural) deve ser regulado a nível estadual

e não federal. Não obstante, existem disposições legais determinando que o comércio de biocombustíveis deve ser autorizado pela ANP. Finalmente, o que se entende é que os Estados são responsáveis por controlar a movimentação e a venda para os consumidores finais, enquanto a ANP é a responsável por autorizar o comércio. Adicionalmente quando se trata da utilização do biogás para geração de energia elétrica, existe também a regulação da ANEEL, adicionando-se mais um órgão ao complexo conjunto regulamentar que se faz presente na cadeia – da produção ao uso – do biogás (Mathias e Mathias, 2015).

Ao analisar a estrutura legal que se aplica à produção, comércio e uso do biogás, e da eletricidade gerada a partir dele, infere-se que essa estrutura foi desenhada de maneira completamente fechada, sem considerar as particularidades da indústria a qual se destinava de forma que, em vários momentos, a regulamentação se sobrepõe aos papéis das agências públicas. Mathias e Mathias, 2015, exemplificam esse fato trazendo uma das maiores sobreposições encontradas: a regulação que trata do uso e comércio do biogás. Não fica claro em que momento essa é uma responsabilidade de uma agência regulatória federal (ANP) ou em quais outros momentos esse seria um papel de reguladores de nível estadual, o que deixa base legal para ambas as interpretações.

Para ilustrar esse fato de forma ainda mais direta, Mathias e Mathias, 2015, preparam as tabelas abaixo. A primeira resume a estrutura legal e normativa que define uma série de responsabilidades endereçadas a diferentes agências públicas, responsabilidade e papéis os quais são explicitados na segunda tabela.

Tabela 4. Estrutura legal e normativa para o desenvolvimento do biogás no Brasil.

Lei/Resolução/Programa	Descrição
Lei 10.438/02 (PROINFA)	Política do governo brasileiro que visa promover a expansão da geração distribuída de energia pelo uso de fontes renováveis, além de diversificar as fontes de energia, com isso melhorando as condições de oferta no longo prazo do SIN.
Lei 10.762/03	Emenda a Lei 10.438/02 para garantir a antecipação dos prazos finais definidos pelas agências regulatórias e para restringir a isenção de contribuição financeira a novos consumidores com cargas até 50 kW.
Decreto 5.163/04	Regular o comércio de eletricidade e o processo de concessões e licenças para geração de eletricidade, entre outras provisões.
Resolução normativa ANEEL 167/05	Define as condições para o comércio de energia derivada da geração distribuída (GD).
Resolução autorizativa 1.482/08	Autorizou o "Programa para Geração Distribuída com Saneamento Ambiental" proposto pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) como um projeto piloto para implementação de GD de baixa voltagem.
Resolução normativa ANEEL 390	Estabelece os requisitos de autorização para explorar e alterar a capacidade instalada de plantas de geração térmica e outras fontes de energia alternativas, e define os procedimentos para o registro de plantas produtores com capacidade instalada reduzida, entre outras provisões.
Lei 11.909/09 (Lei do Gás Natural)	Define o que de fato é "gás natural", excluindo biogás e impedindo que esse seja injetado no sistema (tubulação) de gás natural.
Lei 12.490/11 (Lei dos Biocombustíveis)	Trata dos biocombustíveis de forma geral, mas não menciona o biogás de forma explícita. Define que é papel da ANP regular toda a indústria de biocombustíveis.

Fonte: Mathias e Mathias, 2015

Tabela 5. Instituições públicas do setor energético e seus papéis e responsabilidades.

Agência	Responsabilidade legal endereçada
Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Propor uma política energética que considere, entre outros aspectos, o uso racional dos recursos energéticos nacionais; Deve definir uma estratégia e as políticas voltadas ao desenvolvimento econômico e tecnológico da indústria de biocombustíveis.
Ministério de Minas e Energia (MME)	Implementar as políticas energéticas propostas pelo CNPE.
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Regular a geração elétrica a partir do uso de biogás; Deve definir as regras para injeção do excedente de biogás no sistema (venda aos distribuidores).
Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)	Regular e autorizar atividades ligadas a produção de biocombustíveis, assim como sua importação, exportação, armazenamento, transporte, distribuição, revenda e comércio.
Agência de Regulação Estadual	Regular os "serviços locais de gás encanado" fornecidos pelas empresas de distribuição locais.
Empresa de Pesquisa Energética	Prover serviços de pesquisa e estudos para subsidiar o planejamento no setor energético.

Fonte: Mathias e Mathias, 2015

Ao propor uma nova agenda governamental que trate da energia produzida a partir do biogás, Mathias e Mathias, 2015, colocam que mesmo que não haja uma rápida mudança na estrutura legal, o primeiro tópico de transformação dessa agenda deve ser relativo à produção, transporte e uso do biogás derivado de dejetos animais. Deve haver uma clara definição das obrigações legais das agências estatais de forma que as iniciativas que caminham na direção do uso desses insumos não caiam no atual imbróglio burocrático e legal que impedem o surgimento de empresas que poderiam trazer benefícios no âmbito energético e ambiental aos seus locais de atuação. É fundamental que ocorra uma

coordenação entre as agências públicas de forma a viabilizar o surgimento e desenvolvimento de empresas voltadas a produção e uso do biogás.

Conforme mencionado, de forma resumida, na tabela 5, os autores trazem novamente o protagonismo que deve ser assumido pelo CNPE. Embora essa agência ainda não tenha tido uma atuação proativa, ela deve se colocar como um agente propositor de diretrizes para programas específicos voltados a produção de biocombustíveis, estimulando o uso de recursos a nível local. No âmbito administrativo do poder executivo, a proposta é que haja uma interação maior entre os Ministérios que tem a energia como umas das áreas de competência, direta ou indireta, em suas pastas. O Ministério da Agricultura (focado em pequenas propriedades rurais), o Ministério do Meio Ambiente (focado no tratamento de resíduos e proteção ambiental), e o Ministério de Minas e Energia (focado na capacidade do SIN e manutenção da oferta energética) deveriam unir-se em um esforço para permitir que o CNPE consiga transformar o biogás em uma fonte energética, de fato, capaz de gerar não só energia elétrica, mas também energia térmica.

No âmbito do planejamento, as proporções continentais do Brasil e a complexidade do seu sistema elétrico tendem a dificultar a tarefa de medir e eficientemente alocar os benefícios de, por exemplo, evitar custos com a expansão da capacidade de geração e da rede de transmissão no atual modelo energético. É preciso que a EPE considere em sua agenda o real potencial do biogás, considerando as vantagens da gestão adequada dos resíduos (dejetos) animais e da geração distribuída. No âmbito regulatório, apesar das justaposições entre diferentes estruturas legais, existe a possibilidade de que um entendimento entre reguladores a nível federal e estadual permita o surgimento de empresas que consigam se beneficiar do uso de recursos energéticos a nível local. Ou seja, mesmo que não aconteçam mudanças legais, é provável que projetos envolvendo acordos de cooperação entre reguladores consigam estimular investimentos privados em biogás, Mathias e Mathias, 2015.

Mathias e Mathias, 2015, não deixam de mencionar que, rompidas as barreiras burocráticas é preciso que se encontrem instituições capazes de financiar empreendimentos de biogás. Nesse aspecto, mencionam instituições governamentais como, por exemplo, o Banco do Brasil que pode prover os recursos necessários à taxas baixas de juros, destinadas

a pequenas empresas rurais, e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que pode financiar investimentos em propriedades rurais de médio e grande portes. Os autores deixam claro que, o apoio dessas instituições é só um dos requisitos necessários para conseguir investimentos, a questão fundamental é encontrar uma solução às barreiras legais, principalmente através da coordenação entre os agentes citados acima.

Finalmente, Mathias e Mathias, 2015, adicionam aos agentes citados a Rede Brasil Biogás, uma rede com cerca de 50 representantes técnicos, científicos, tecnológicos, comerciais e agrícolas, unidos para reunir e trocar informações e experiências no campo da geração de energia a partir da biomassa residual da agropecuária, com o propósito de estimular o fluxo de conhecimento sobre o tema agregando pesquisas feitas em diversas partes do país, por diferentes instituições. A interação dos agentes públicos com essa rede levará a uma melhor compreensão, por parte do governo, das peculiaridades dessa indústria, levando a criação de políticas mais focadas e específicas.

3.3 – Considerações Finais

O biogás, antes tratado como um subproduto, vem ganhando relevância frente a busca por fontes renováveis que sejam atrativas do ponto de vista econômico e ambiental, e mesmo diante da possibilidade de trazer ganhos em sustentabilidade para as áreas rurais, os empreendimentos de produção de biogás no Brasil ainda são incipientes e regionalmente isolados. Há um potencial de mudança através do modelo de geração distribuída, em que a maior parte da produção é destinada a cargas locais ou próximas do local de geração, assim o uso da biomassa para produção do biogás mostra-se como uma alternativa ao modelo tradicional de expansão do sistema elétrico, com potencial de complementar a demanda nos horários de pico, complementando a matriz energética. A geração distribuída também traz o conceito de “agroenergia”, uma nova função econômica para propriedade rural, com potencial de expandir as fontes de renda para áreas diferentes das tradicionais obtidas com produtos agropecuários, inserindo-a na geração e distribuição de energia elétrica. O modelo de geração distribuída, porém, ainda enfrenta várias barreiras do ponto de vista técnico, econômico e, principalmente, regulatório. Com respeito às barreiras regulatórias, existem autores que defendem que as condições legais para o pleno desenvolvimento da bioenergia estão dadas, enquanto outros acreditam que a legislação vigente e os programas de

incentivo como, por exemplo, o PROINFA não endereçam as soluções e a criação do ambiente necessários ao pleno desenvolvimento das fontes alternativas de energia renovável.

CONCLUSÃO

Por se tratar de uma tecnologia nova disputando espaço com outras já consolidadas, os estudos sobre a efetiva implementação do uso biogás extraído da biomassa de origem animal como fonte alternativa de energia devem aproveitar-se do conceito de SIT e as cinco funções básicas fornecidas por ele, pois, como esse trabalho buscou apresentar, esse conceito tem potencial de auxiliar os formuladores de políticas a mapear as principais fraquezas sistêmicas, que impedem o desenvolvimento da nova tecnologia.

A partir da identificação das fraquezas sistêmicas recomenda-se criar políticas tecnologia-específicas capazes de estimular a transição na direção da transformação tecnológica sustentável. Isso é fundamental, pois as tecnologias renováveis estão em diferentes estágios de desenvolvimento e por isso exigem uma abordagem não linear de fomento. Com o estímulo em paralelo, essas tecnologias novas e imaturas poderão desenvolver-se através de um processo de aprendizado interativo. Como colocado por Jacobsson e Bergek, 2011, a análise sob a ótica dos SIT permite a identificação de processos de importância chave para as políticas tecnologia-específicas e o endereçamento da intervenção na direção desses processos.

Perpassando as experiências internacionais explicitadas ao longo do segundo capítulo podemos perceber a presença das funções básicas fornecidas pelo SIT. Em todos os casos houve a formação de um mercado inicial – ou “mercado ponte” – majoritariamente concentrado nas áreas rurais, em sistemas familiares de produção. Outra função percebida é a de legitimação da nova tecnologia através da construção de uma estrutura institucional específica por parte dos governos. Os governos são atores com grande responsabilidade nas funções de guiar a direção da pesquisa e de fornecer recursos e subsídios, através de programas específicos voltados ao desenvolvimento dos renováveis, fato que se evidencia pelos exemplos, da “Lei de Energia Renovável” na China, do NPBD (Projeto Nacional para o Desenvolvimento do Biogás) na Índia, e do Pacote de Energia e Mudança Climática da União Européia.

Dadas suas características, com destaque para extensão territorial e grande número de animais dedicados as criações de gado e suínos, o Brasil deve, através do modelo de

geração distribuída (GD), utilizar os aprendizados das experiências internacionais para superar as barreiras internas que impedem que o uso da biomassa de origem animal para produção energética ganhe escala, forçando-o a continuar, como hoje, através de iniciativas dispersas ao longo do território.

Em se tratando de geração distribuída (GD), buscou-se mostrar que esse modelo, uma alternativa ao modelo tradicional de expansão do sistema elétrico, traz uma série de vantagens, tem potencial de aumentar a eficiência e a segurança energética do sistema, além de colaborar para a redução dos impactos ambientais ligados a atividade agropecuária. Com respeito ao setor agrícola, Bley Jr. *et al*, (2009) introduz o conceito de “agroenergia” e a possibilidade transformadora de as propriedades rurais passarem a participar da geração e distribuição de energia elétrica, assumindo uma nova função econômica, trazendo novos negócios e novas fontes de renda para o setor, demonstrando mais uma vantagem do modelo de geração distribuída.

A evolução na direção da geração distribuída (GD) ainda enfrenta desafios, com destaque para as questões regulatórias, potencialmente a maior barreira enfrentada pelo modelo. Nesse sentido, o trabalho trouxe a posição de Bley Jr. *et al*, (2009), que defende que as condições legais para o desenvolvimento da bioenergia, através da GD, estão dadas, cabendo aos agentes envolvidos estimulá-la. E trouxe também, os argumentos de Mathias e Mathias, (2015), propondo que só a partir da implementação de uma série de ações será possível alcançar todo o potencial de produção e uso do biogás gerado a partir de biomassa de origem animal. Em linha com o exposto no capítulo I, mostram que no Brasil, existe uma carência de ferramentas políticas e regulatórias, por exemplo, uma legislação específica facilitadora do desenvolvimento de sistemas de biogás.

Em suma, o presente trabalho buscou mostrar que no Brasil ainda há presença dos fatores impeditivos que seguem obstruindo a criação de novos mercados, guiando a direção da pesquisa pra longe dos renováveis, e impedindo que as tecnologias que usam o biogás ganhem legitimidade. Em linha com o que foi exposto por Bergek e Jacobsson, (2004) e Mathias e Mathias, (2015) coloca-se o desafio de coordenação, entre os ministérios e agências responsáveis, para a construção de políticas que influenciem positivamente o

padrão de cada SIT, criando uma agenda relevante para ascensão da biomassa de origem animal com todo seu potencial de benefícios energéticos e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROPECUÁRIO, IBGE Censo. Disponível em:< [http://www. sidra. ibge. gov. br](http://www.sidra.ibge.gov.br)>. Acesso em: 4 jul. 2017, v. 30, n. 9, p. 2010, 2006.

ANEEL-BIG, 2017. Banco de Dados de Geração Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 01 dez. 2017

BENEDITO, Ricardo da Silva. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERGEK, Anna. Shaping and exploiting technological opportunities: the case of renewable energy technology in Sweden. Göteborg, Sweden: Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, 2002.

BERGEK, Anna; JACOBSSON, Staffan. The emergence of a growth industry: a comparative analysis of the German, Dutch and Swedish wind turbine industries. Change, Transformation and Development. Physica-Verlag, Heidelberg, p. 197-227, 2003.

BLEY JR, Cícero. &Maurício Galinkin [et al.]. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2ª ed. rev.–Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009.

CARLSSON, Bo; STANKIEWICZ, Rikard. On the nature, function and composition of technological systems. Journal of evolutionary economics, v. 1, n. 2, p. 93-118, 1991.

CASTANÓN, Norman Jesús B. Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais. São Paulo, 2002.

CHEN, Ling et al. The progress and prospects of rural biogas production in China. *Energy Policy*, v. 51, p. 58-63, 2012.

COLDEBELLA, Anderson et al. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2006.

Comissão Europeia – Energia – 2014. Disponível em: < https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt>. Acesso em: 12 ago. 2017

DIAS, Marcos Vinícius Xavier; BORTONI, Edson da Costa; HADDAD, Jamil. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Brasília: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2006.

DOTTO, Rodrigo Bragança; WOLFF, Delmira Beatriz. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

FAULSTICH, M.; GREIFF, K. B. Klimaschutz durch biomasse, ergebnisse des SRU-sondergutachtens. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 2007.

FERNANDES, Dangel Maria et al. Biomassa e biogás da suinocultura. 2012.

GOPINATHAN, Mambully Chandrasekharan; SUDHAKARAN, Rajasekaran. Biofuels: opportunities and challenges in India. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, v. 45, n. 3, p. 350-371, 2009.

GÖRISCH, U.; HELM, M. Biogas plants. 2006.

INEE – "Geração Distribuída e Conexão ao Sistema Elétrico" – março 2002.

JOHNSON, Anna; JACOBSSON, Staffan. Inducement and blocking mechanisms in the development of a new industry: the case of renewable energy technology in Sweden. *Technology and the market: demand, users and innovation*, p. 89-111, 2001.

JACOBSSON, Staffan; BERGEK, Anna. 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, Staffan; JOHNSON, Anna. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. *Energy policy*, v. 28, n. 9, p. 625-640, 2000.

LEBUHN, Michael; MUNK, Bernhard; EFFENBERGER, Mathias. Agricultural biogas production in Germany-from practice to microbiology basics. *Energy, Sustainability and Society*, v. 4, n. 1, p. 10, 2014.

MATHIAS, J. F. C. M. *Manure as a Resource: Livestock Waste Management from Anaerobic Digestion, Opportunities and Challenges for Brazil*. *International Food and Agribusiness Management Review*. Volume 17 Issue 4. Rio de Janeiro, 2014.

MATHIAS, Melissa Cristina Pinto Pires; MATHIAS, João Felipe Cury Marinho. Biogas in Brazil: a Governmental Agenda. *Editorial Board Members*, p. 1, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. *Plano Agrícola e Pecuário 2013/2014* – Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/plano-agricola-pecuario/plano-agricola-e-pecuario-2013-2014.pdf/view> > Acesso em: 11 jul. 2017

MURADIN, Magdalena; FOLTYNOWICZ, Zenon. Potential for producing biogas from agricultural waste in rural plants in Poland. *Sustainability*, v. 6, n. 8, p. 5065-5074, 2014.

PECORA, Vanessa. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP–Estudo de Caso. São Paulo, 2006.

PIWOWAR, Arkadiusz; DZIKUĆ, Maciej; ADAMCZYK, Janusz. Agricultural biogas plants in Poland–selected technological, market and environmental aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 69-74, 2016.

RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SALOMON, Karina Riberio. Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade. Itajubá, MG: Universidade Federal de Itajubá, 2007.

SALOMON, Karina Ribeiro; 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.

SCHOLWIN, F.; HOFMANN, F.; PLAETTNER, A. Biomethane from biogas: expectations from established vs. new technologies. In: *Waste matters. Integrating views; proceedings of 2nd BOKU waste conference*. 2007. p. 194.

SILVA, Tatiana Bruce; HOLLANDA, Lavínia; CUNHA, Paulo César Melo da. Recursos energéticos distribuídos.

VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, Carla Kazue Nakao; SILVA, E. P. Energia solar fotovoltaica no Brasil: Incentivos regulatórios. *Revista Brasileira de Energia*, v. 14, n. 1, p. 9-22, 2008.