

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

# **Aproveitamento do Biogás a Partir da Vinhaça da Cana**

PEDRO VARDIERO CORRÊA  
matrícula nº.: 110051957

Orientador: Prof. Dr. João Felippe Cury M. Mathias

Rio de Janeiro  
**Janeiro de 2015**

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

# **Aproveitamento do Biogás a Partir da Vinhaça da Cana**

---

PEDRO VARDIERO CORRÊA

matrícula nº.: 110051957

Orientador: Prof. Dr. João Felippe Cury M. Mathias

Rio de Janeiro  
**Janeiro de 2015**

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

## **Resumo**

A questão energética é um dos maiores desafios enfrentados pelo mundo no século XXI. Planejar o setor de forma sustentável, renovável e limpa para que a oferta de energia seja capaz de suprir demandas maiores no futuro é vital para qualquer país. No Brasil, o tema ganhou muita importância após a “Crise do Apagão”, vivida em 2001. Conforme aprendizado da experiência internacional, sobretudo nos casos chinês e indiano, o biogás apresenta interessante potencial de geração renovável de energia, particularmente elétrica e térmica. Considerando que o Brasil se consolida como o maior produtor de etanol do mundo, conclui-se que a vinhaça (principal subproduto da produção do álcool) possui um grande potencial de geração de energia. A partir dessa premissa, realizou-se um esforço de estimar o potencial de geração referente à vinhaça, que representa 10,25% do consumo total de gás natural ou 23,36% da importação desse combustível. Como consequência desse aproveitamento, a segurança energética aumentaria e o nível de emissão de carbono na atmosfera diminuiria. Contudo, para que todo esse potencial possa ser efetivado, algumas barreiras associadas ao desenvolvimento do biogás e da geração distribuída precisam ser superadas. Os obstáculos referem-se principalmente a questões econômicas, sociais e político-regulatórias. Sugere-se, então, uma agenda governamental que trabalhe cada uma das adversidades, principalmente as de cunho legal ou regulatório.

## Sumário

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS .....	5
INTRODUÇÃO .....	6
CAPÍTULO 1 – SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....	9
1.1 Breve Histórico do Setor .....	9
1.2 Evolução do Marco Regulatório .....	13
1.3 Composição da Matriz Elétrica Brasileira.....	15
1.4 Desafios do Mercado de Energia Elétrica.....	17
CAPÍTULO 2 – BIOGÁS E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	21
2.1 Estudo sobre as Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída .....	21
2.2 Estudo sobre o Biogás e suas Principais Características .....	23
2.3 Experiências do Biogás no Mundo: Caso Chinês e Indiano .....	26
CAPÍTULO 3 – APROVEITAMENTO DA VINHAÇA DA CANA .....	29
3.1 Características da Vinhaça da Cana e do Biogás da Vinhaça.....	29
3.2 Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica da Vinhaça .....	31
3.3 Barreiras e Desafios para Utilização da Vinhaça de Cana-de-Açúcar como Fonte de Energia Elétrica.....	34
3.3.1 Barreiras Técnicas, Econômicas, Sociais e Político-Regulatórias .....	34
3.3.2 Barreiras à Geração Distribuída .....	39
CONCLUSÃO .....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46

## **LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS**

Gráfico 1: Participação na Capacidade Instalada por Fonte de Geração Elétrica.....	9
Gráfico 2: Participação na Geração de Eletricidade por Fonte .....	13
Gráfico 3: Participação na Capacidade Instalada por Fonte - 2014.....	16
Tabela 1: Estimativa do Potencial de Geração de Biometano no Brasil na Safra 2013/2014 .....	32
Tabela 2: Consumo e Importação de Gás Natural no Brasil - 2013 e Relações Biometano .....	33

## INTRODUÇÃO

O tema energia tem se tornado cada vez mais importante no cenário brasileiro, sobretudo após a “Crise do Apagão”, vivida em 2001. A partir de então, o governo brasileiro tem se preocupado em diversificar as fontes que compõe a matriz energética brasileira, buscando aumentar a participação das fontes alternativas e, por consequência, elevar a segurança no abastecimento de eletricidade. Esse objetivo pode ser identificado no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), publicado em 2004. Outros objetivos paralelos podem ser identificados nesse programa, como, por exemplo, a redução de emissão de gases de efeito estufa e a valorização das características e potencialidades regionais e locais.

Um dos objetivos do PROINFA é estimular projetos de geração de energia oriunda de biomassa. Neste contexto, encaixam-se temas como a agroenergia e o biogás. A agroenergia, ou agronegócio da energia, trata de uma nova modalidade de negócio para o proprietário rural. Combinada com a geração distribuída, que é a geração realizada no local onde se encontram os recursos, o proprietário tem a possibilidade de implantar projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis, como a eólica, a solar e a biomassa residual convertida em biogás, obtendo novas fontes de receita (Bley Jr. *et al*, 2009). A evolução do biogás está diretamente associada à agroenergia.

Como objetivo geral, busca-se realizar um estudo acerca do biogás como uma fonte de geração distribuída para o Brasil. O biogás é uma mistura gasosa combustível e pode ser obtido a partir da biodigestão de diversos resíduos orgânicos (biomassa), como estercos de animais, lodo de esgoto, lixos domésticos, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas (Pecora, 2006). Semelhante ao gás natural, o biogás pode ser convertido em energia elétrica, térmica ou mecânica. O emprego do biogás possui uma série de vantagens, como a geração descentralizada próxima aos pontos de carga e a redução das emissões de metano para a atmosfera, dentre outras que serão explicitadas ao longo do texto.

De forma mais específica, o presente trabalho trata do aproveitamento do biogás oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar, em razão de sua enorme potencialidade de geração de energia elétrica. A vinhaça é considerada o principal resíduo da agroindústria canavieira e é obtida a partir do processo de fabricação do etanol. Sua importância não se dá apenas pelo grande volume gerado, mas também por possuir elevado poder poluente e alto valor fertilizante (Szymanski, Balbinot e Schirmer, 2010). O tratamento da biodigestão para a vinhaça se apresenta como uma solução importante para o problema de descarte da vinhaça, além de gerar o biogás e o biofertilizante.

O Brasil desonta no cenário mundial como o maior produtor de cana-de-açúcar e etanol do mundo, e, em consequência disso, obtém um volume grandioso da vinhaça. Portanto, o objetivo específico do trabalho é identificar o potencial de geração de biogás a partir da vinhaça, a fim de entender sua dimensão de produção e sua importância no cenário energético nacional.

Assumindo-se que haja razoável potencialidade, levanta-se a hipótese de que para que esse potencial seja devidamente aproveitado, é necessário romper com diversas barreiras que dificultam o desenvolvimento do biogás. Para tanto, busca-se evidenciar quais são essas barreiras e como o Brasil deve se organizar para superá-las.

Tendo em vista os objetivos propostos, o trabalho está dividido em três capítulos, além desta introdução e da conclusão. O primeiro deles introduz o setor elétrico brasileiro e suas características, visando à contextualização do tema. Inicia-se por um apanhado histórico do setor e pela evolução do marco regulatório, para uma melhor compreensão do arranjo elétrico atual. Posteriormente, explicita-se a composição da matriz elétrica e os desafios que o setor enfrenta para seu planejamento estratégico, introduzindo-se a possibilidade de evolução do biogás.

O segundo capítulo avança pelas definições do biogás e geração distribuída. Realiza-se um estudo mais aprofundado sobre as vantagens, desvantagens e características desses dois conceitos e como estes se relacionam entre si. Por fim, é feita uma avaliação da experiência internacional com biogás através dos casos chinês e indiano, evidenciando-se os principais aprendizados e como estes podem ser adaptados e incorporados no caso brasileiro.

O terceiro e último capítulo consiste em um estudo mais aprofundado do biogás oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar. Em primeiro lugar, busca-se definir as principais características da vinhaça e do biogás oriundo desse recurso. Posteriormente, realiza-se uma estimativa acerca do potencial de geração de energia da vinhaça. Para encerrar, busca-se identificar os principais desafios que a aplicação desse recurso apresenta para seu aproveitamento energético, evidenciando-se as questões técnicas, econômicas, sociais e político-regulatórias.

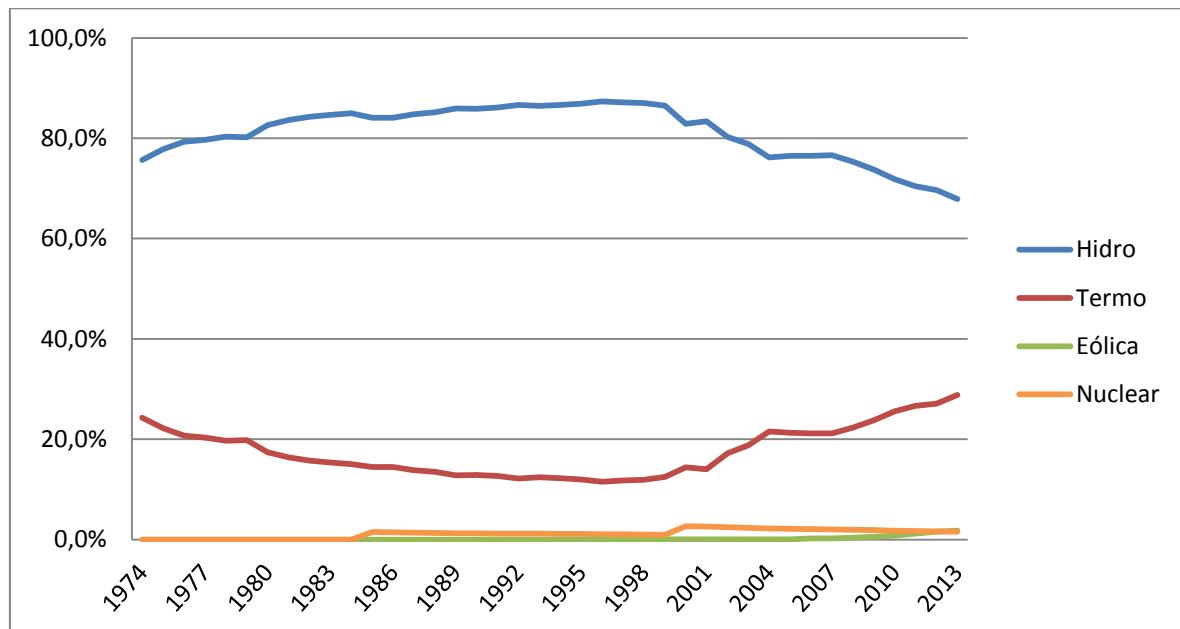
Por fim, a monografia é encerrada com uma conclusão, onde é realizada uma síntese das ideias debatidas.

## CAPÍTULO 1 – SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

### 1.1 Breve Histórico do Setor

Pode-se dizer que o setor elétrico brasileiro (SEB)<sup>1</sup>, tal como se verifica hoje, é singular em comparação ao resto do mundo. Enquanto cerca de 70% da energia elétrica mundial no ano de 2011 advinha de recursos fósseis (IEA, 2013), a participação das fontes renováveis neste mesmo ano representou 88,9% da oferta brasileira de eletricidade (EPE, 2013a). No entanto, apesar desse expressivo percentual em termos de geração, a fonte hidráulica apresenta sucessivas reduções em sua participação na capacidade instalada desde a crise do apagão, ocorrida em 2001 (EPE, 2014), conforme se observa no gráfico abaixo.

**Gráfico 1: Participação na Capacidade Instalada por Fonte de Geração Elétrica**



Fonte: EPE, 2014

<sup>1</sup> O setor elétrico está inserido como um subgrupo no setor energético. No Brasil, a eletricidade aparece como segundo maior grupo por consumo final em 2014, com 17,1% do total da energia consumida. A energia elétrica fica atrás apenas do petróleo e seus derivados, que representam 44,4% do total, evidenciado a importância do setor elétrico e a necessidade de se estudá-lo mais profundamente (EPE, 2014). Por esta razão, este trabalho se limitará ao estudo do setor elétrico.

Para uma melhor compreensão do arranjo energético atual, é necessário que se faça um breve estudo acerca dos principais eventos da história recente do setor. Para tanto, o período abordado contempla desde a construção da Usina de Itaipu, pela sua significância para a consolidação do setor, percorrendo os sucessivos governos, até a atual gestão.

O ano da assinatura do Tratado de Itaipu (1973) coincide com a eclosão da crise do primeiro choque do petróleo, superada sem maiores consequências à economia brasileira e ao SEB devido basicamente a três fatores (Castro e Francescutti, 1998). O primeiro refere-se justamente à preferência histórica pela hidroeletricidade em detrimento das demais fontes, opção reafirmada pela aprovação do projeto de Itaipu. O segundo foi o “Milagre Econômico”, que permitiu que produto brasileiro crescesse durante o período de 1968 a 1973 à taxa média de 11,1%. Por último, o “II PND”, um plano de desenvolvimento econômico iniciado no final de 1974 visando um ajuste de longo prazo a ser obtido através da realização maciça de investimentos voltados para a substituição de importações, produção de bens de capital e formação de infraestrutura básica. Atualmente, Itaipu responde por 17% do consumo elétrico brasileiro, tendo produzido o recorde mundial de 98,6 milhões de MWh no ano de 2013 (Galdieri, 2014).

Conforme se depreende do gráfico 1, ao longo das décadas de 1970, 1980 e 1990, o Brasil experimentou uma constante expansão da capacidade instalada da fonte hidráulica, combinada com uma redução da participação da opção térmica no mix elétrico brasileiro. Essa foi a tônica da política energética até a entrada do século XXI, a despeito das crises enfrentadas ao longo deste período. Fontes alternativas, tais como a eólica e nuclear, permaneceram inexpressivas.

A estrutura produtiva do SEB cumpriu bem seu papel até o final da década de 1970, no entanto, revelou-se ultrapassada após o segundo choque do petróleo em 1979 e a crise do México em 1982. Basicamente, os efeitos da crise mundial sobre a economia brasileira alteraram as condições de financiamento do setor, tornando a manutenção desse sistema inviável e gerando reflexos depressivos sobre a economia brasileira, como uma aceleração do processo inflacionário, redução da taxa de crescimento do PIB, aumento no desemprego e um desequilíbrio nas contas públicas.

Como consequência, o setor elétrico migrava para um quadro dramático de estrangulamento econômico-financeiro. Tal como toda a economia, este ramo de atividade se afundava na crise durante a década de 1980. As políticas anti-inflacionárias, a geração de capacidade ociosa inesperada e o endividamento a taxas de juros flutuantes desfavoráveis foram deteriorando a “saúde financeira” do setor.

A soma desses fatores culminou numa importante conclusão por parte da Eletrobrás. Percebeu-se o esgotamento da estrutura da política de financiamento e a necessidade de romper com este modelo. Para que a atividade de energia elétrica continuasse em próspera expansão, era preciso uma reformulação da relação entre os agentes do setor e a adoção de uma nova condição de financiamento. As soluções alternativas surgiram no sentido de uma mudança qualitativa da função do Estado, diminuindo sua participação e intervenção. No processo denominado privatização, a função do Estado passava a ser a de um agente regulador e financiador apenas (Castro e Francescutti, 1998).

Ao tomar posse, em março de 1990, Fernando Collor de Mello inicia um conjunto de reformas originadas da constatação do esgotamento financeiro do Estado e da necessidade de redução do déficit público. As soluções passavam por uma desestatização, desregulamentação e uma liberalização de preços e salários, apontando para um modelo de Estado neoliberal. Havia uma intenção de reordenar a posição estratégica do Estado na economia, transferindo à iniciativa privada atividades indevidamente exploradas pelo setor público, contribuindo, deste modo, para o saneamento das finanças públicas (Almeida, 2007).

No entanto, conforme avaliação de Tolmasquim (2000), esse novo modelo estrutural, implementado ao longo da década de 1990, foi responsável por minguar os investimentos necessários no setor elétrico, tanto na geração, quanto na transmissão de energia. Entre 1990 e 2000, o consumo de energia elétrica cresceu 49%, enquanto a capacidade instalada foi expandida em apenas 35% (Tolmasquim, 2000). Ou seja, o Brasil ingressara numa espécie de vácuo, onde Estado e iniciativa privada investiam muito menos do que o necessário.

A consequência desse cenário foi a pior crise energética que o Brasil já enfrentou, denominada “Crise do Apagão”, vivida em 2001. Entre as causas da crise,

sendo o principal motivo apresentado pelo Governo, estava a falta de chuvas nas cabeceiras dos rios em Minas Gerais, onde se encontravam cerca de 65% dos reservatórios das usinas hidrelétricas. No entanto, a causa estrutural e principal estava diretamente associada ao processo de privatização do setor elétrico brasileiro iniciado em 1990 com o Plano Nacional de Desestatização, ou seja, à falta de investimento ocasionada pelo marco regulatório vigente (Gomes, 2007).

Durante o período de crise foi imposto a todas as classes de consumo um racionamento equivalente a 20% do volume médio de demanda de MWh. As consequências foram drásticas, não somente relacionado ao bem-estar social, mas também a todos os agregados macroeconômicos. Ao final de 2001, foi contabilizado um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do país de apenas 1,3%, muito baixo se comparado ao do ano 2000, que obteve um crescimento de 4,3%. (IBGE, 2014).

A “Crise do Apagão” trouxe importantes consequências, não apenas no campo econômico, mas também no cenário político. Neste contexto, Luiz Inácio Lula da Silva se elege presidente da República no final de 2002, assumindo o cargo em janeiro de 2003. Conforme se depreende do gráfico 1, houve uma nítida preocupação em sua gestão de diversificar as fontes de energia elétrica, com intuito de aumentar a segurança energética do país. A partir da crise de 2001, observa-se uma diminuição da participação da fonte hidráulica e um aumento das demais, principalmente das térmicas.

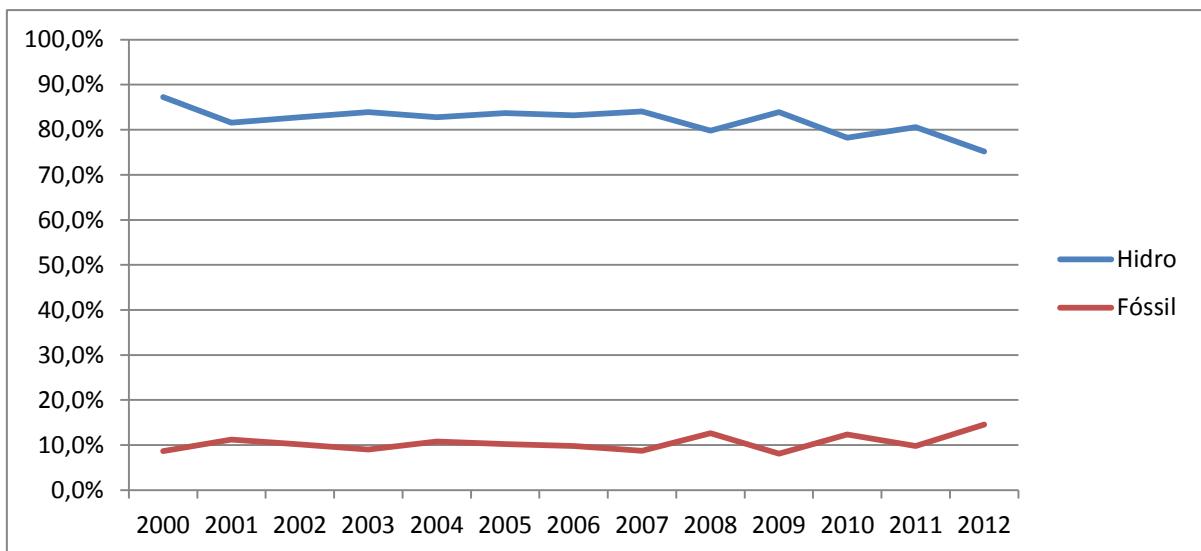
De acordo com o gráfico 2, percebe-se o emprego das fontes térmicas fósseis como um recurso para anos com baixa geração de eletricidade via usinas hidroelétricas. O coeficiente de correlação entre a participação da fonte hidráulica em comparação com as térmicas fósseis para este período é de -0,9123, ou seja, apresenta uma correlação negativa muito forte<sup>2</sup>. Este indicador reafirma o objetivo do governo de aumentar a segurança energética via ampliação da capacidade

---

<sup>2</sup> O Coeficiente de Correlação mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,00 e +1,00, com um coeficiente de +1,00 indicando uma correlação linear positiva perfeita e -1,00 uma correlação linear negativa perfeita. Os sinais de positivo e negativo indicam a direção para a qual as variáveis se movem, sendo positivo quando se movem para a mesma direção e negativo caso contrário. Quando não houver um relacionamento linear entre as variáveis, o coeficiente de correlação é igual à zero. Em geral, interpreta-se o coeficiente como forte caso o mesmo esteja entre |0,70| e |1,00|, moderado entre |0,30| e |0,70| e fraco de zero a |0,30| (VIALI, 2013). Para efeito de comparação, o índice de correlação entre a participação da fonte hidráulica em comparação com as térmicas fósseis para os países da OCDE - para o mesmo período de análise - é de -0,6018 (IEA, 2014), ou seja, apresenta uma correlação negativa moderada, consideravelmente abaixo do índice brasileiro.

instalada das usinas térmicas. Mais além, demonstra a necessidade do emprego do gás na geração de eletricidade, corroborando para o desenvolvimento de novas fontes, tal como o biogás.

**Gráfico 2: Participação na Geração de Eletricidade por Fonte**



Fonte: IEA, 2014

Com relação às fontes ditas alternativas, tais como a biomassa e a eólica, houve uma preocupação especial. Em 2004, foi criado o PROINFA, um programa com objetivo claro de promover a diversificação da matriz elétrica através de incentivos às fontes alternativas, visando, em última instância, aumentar a segurança energética do país. De 2004 para 2012, a participação da biomassa na geração de eletricidade saltou de 3,22% para 6,38%. Neste mesmo período, a fonte eólica passou de apenas 0,02% para 0,91% da geração total do país (IEA, 2014). Apesar de apresentarem tal evolução, as fontes alternativas ainda apresentam um caráter subalterno no cenário energético atual.

## 1.2 Evolução do Marco Regulatório

Além do histórico do setor elétrico, é muito importante aprofundar-se na evolução do marco regulatório. Alterações na legislação ou na condução das políticas indicam para qual rumo o país pretende seguir. Em qualquer lugar do

mundo, todo marco institucional dura enquanto gera os resultados que se espera dele. Quando há um esgotamento, simplesmente troca-se de marco.

No caso brasileiro, os primeiros marcos regulatórios, que conduziram o setor elétrico, definiram que o fornecimento da eletricidade deveria ser um serviço público, entregue por meio de concessão ou permissão, sobretudo com a utilização de usinas hidrelétricas com grandes reservatórios. Ao longo da década de 1950, percebeu-se que o Estado deveria assumir também o papel de gestor da oferta de energia, ou seja, planejar e coordenar a expansão do setor no longo prazo. Essa atribuição foi consolidada com a criação da Eletrobrás e demais empresas estatais.

Este quadro institucional vigorou até o final dos anos 1980, enquanto o cenário econômico permaneceu estável. Com a deflagração de uma crise mundial, as empresas do setor passaram a atuar como instrumento de política econômica, afetando a expansão da oferta de energia elétrica. Desse modo, configurou-se uma crise na indústria elétrica brasileira e, como consequência, houve a necessidade de se reorganizar o setor e se formular um novo marco (Souza, 2002).

Movimentos neoliberais indicavam uma liberalização econômica, com uma menor atuação do Estado, como a solução mais adequada. Nesse sentido, a reestruturação institucional se baseou em introduzir novas legislações, tais como o fim do serviço pelo custo e remuneração garantida, a forma de financiamento dos investimentos, as mudanças no regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos com novas regras para outorga e prorrogação das concessões e permissões de serviços públicos (Queiroz, 2013a), além da implantação de um significante processo de privatização. Tal reforma se manteve ao longo da década de 1990 até o ano de 2002, quando, após a “Crise do Apagão” de 2001, percebeu-se o esgotamento do mesmo e a necessidade de se redesenhar o marco regulatório.

Com intuito de reformular o SEB e substituir o marco regulatório instituído em 1990, o Ministério de Minas e Energia apresentou, em 2003, uma nova “Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico”. A prioridade do Governo era aplicar um “choque de credibilidade” (Castro, 2004), trazendo a estabilidade necessária para atrair novos investimentos, permitindo, assim, a expansão do setor e tarifas mais baixas para o consumidor.

Neste novo marco regulatório, sustentado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15.3.2004, e regulamentado pelo Decreto 5.163, de 30.7.2004, passa-se a considerar as especificidades do setor elétrico nacional, em vez de incorporar modelos de países de base térmica. O objetivo central era garantir a segurança energética, promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente, e fortalecer a inserção social. Destacam-se, sobretudo, duas importantes medidas. A primeira refere-se à criação da Empresa de Pesquisa Energética, para a retomada - por parte do Estado - do planejamento de longo prazo. A segunda trata da implantação do sistema de leilões na expansão do parque gerador, visando à obtenção de uma tarifa mais baixa.

Uma década após tais reformulações, o marco legal enfrenta questionamentos. Um dos pilares do modelo, a modicidade tarifária, não estava sendo alcançada. Como resposta, o governo editou a Medida Provisória 579 de 2012, antecipando a renovação das concessões de energia elétrica, visando uma redução nas tarifas praticadas no país. Ocorre que, no âmbito da MP 579, a União incorre de importantes custos para sustentá-la. Além disso, a Medida Provisória acarretou em um forte impacto financeiro nas empresas do grupo Eletrobrás, prejudicando sua participação nos leilões de oferta de energia.

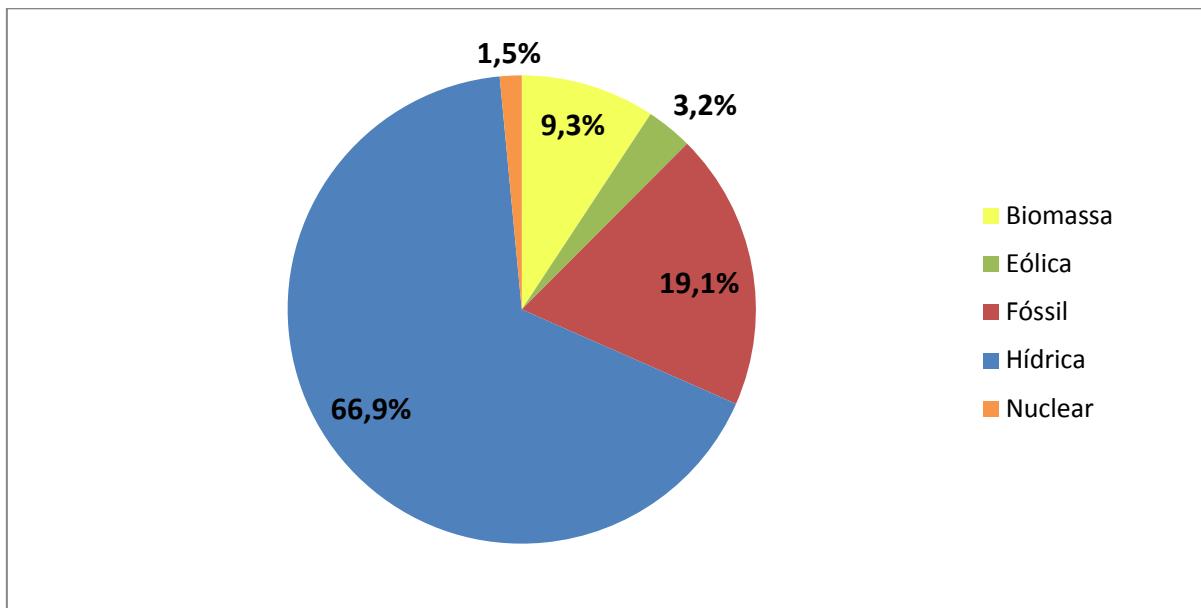
Outros fatores, como o aumento da demanda de energia elétrica, os baixos níveis dos reservatórios hídricos e a expansão do emprego das usinas térmicas, colocam o atual sistema numa difícil situação. Gerar energia a partir de fontes térmicas é mais caro do que com as hidrelétricas. De acordo com a atual regulação, as empresas distribuidoras são incumbidas de arcar com esses custos, que somente são repassados após 12 meses, quando há a revisão tarifária. Somando-se essas às demais contestações, há um sentimento comum de que uma nova reforma pode estar por vir (Queiroz, 2013a).

### **1.3 Composição da Matriz Elétrica Brasileira**

Contrastando com o cenário mundial, onde os recursos fósseis representam 65% da capacidade elétrica instalada (IEA, 2014), a matriz elétrica brasileira baseia-

se essencialmente na fonte hídrica, conforme se observa no gráfico 3. Mais de 65% da capacidade instalada nacional reside em usinas hidrelétricas, permitindo que o país possua, simultaneamente, custos competitivos e sustentabilidade ambiental (Castro, 2010).

**Gráfico 3: Participação na Capacidade Instalada por Fonte - 2014**



Fonte: BIG - ANEEL, 2014

Destaca-se em segundo plano, mas como enorme importância, a participação das térmicas derivadas de combustíveis fósseis, respondendo por 19,1% do total instalado. Enquanto a geração hídrica atua na base da oferta de eletricidade, as termoelétricas fósseis possuem o papel de atender a ponta do sistema, ou seja, são despachadas apenas quando necessário, sobretudo nos picos de demanda ou em períodos hidrológicos desfavoráveis (Castro, 2010). Esmiuçando a composição das térmicas fósseis, observa-se o gás natural como principal combustível, com 9,5% da capacidade instalada total. Os demais combustíveis de usinas térmicas fósseis relevantes são o petróleo, com uma participação de 6,8% e o carvão, com apenas 2,7% do total da matriz (ANEEL, 2014).

A utilização da biomassa como fonte de energia elétrica veio se expandindo nos últimos anos no Brasil, principalmente em sistemas de cogeração. Sua participação na capacidade instalada total já alcança 9,3% (ANEEL, 2014) no ano de 2014 e coloca o Brasil numa posição diferenciada em relação ao resto do mundo no

emprego dessa fonte. No ano de 2011 a participação da biomassa na matriz americana respondia por apenas 1,3%, enquanto nos países da OCDE o percentual era de 1,9% (IEA, 2014).

Cabe, no entanto, ressaltar a composição dos recursos inseridos na biomassa. De acordo com o Banco de Informações de Geração da ANEEL, 385 usinas de biomassa empregam o bagaço da cana de açúcar como recurso para geração de eletricidade, sobretudo em turbinas de contrapressão, totalizando 80% da capacidade instalada da biomassa ou 7,4% da matriz brasileira total. Apenas 24 usinas utilizam o biogás como combustível, seja este derivado da agroindústria, de resíduos animais ou resíduos urbanos. Ao todo, o biogás representa somente 1% da biomassa ou 0,1% da capacidade total do país, revelando toda a potencialidade a ser explorada dessa fonte.

Apesar de representar apenas 3,2% do total da capacidade instalada da matriz elétrica brasileira, a fonte eólica veio se destacando nos últimos anos, sobretudo a partir do PROINFA, de 2004, e dos leilões de comercialização de energia, desde 2009. Tais programas elevaram a capacidade instalada das usinas eólicas de 22 MW para os atuais 4.228 MW (ABEEólica, 2014). A energia nuclear, com apenas 2 usinas e 1.990 MW, detém 1,5% da capacidade instalada total. Já a fonte solar, apesar de possuir 248 usinas, possui 15 MW instalados, representando apenas 0,01% da capacidade instalada brasileira (ANEEL, 2014).

#### **1.4 Desafios do Mercado de Energia Elétrica**

Estimar com razoável precisão o crescimento de médio e longo prazo da demanda por energia elétrica e equalizá-la com a evolução da oferta é um grande desafio para os mais diversos países. O movimento de consumo depende diretamente de uma série de fatores, tais como os macroeconômicos e os demográficos, e entender suas trajetórias é essencial para projetar o futuro do setor elétrico (EPE, 2013b). Torna-se indispensável a confecção de um plano que enuncie as diretrizes e os programas a serem adotadas para alcançar o equilíbrio dinâmico entre oferta e demanda de forma economicamente competitiva e ambientalmente

sustentável a médio e longo prazo. Cabe ressaltar que o planejamento torna-se ainda mais importante em economias em desenvolvimento, pois estes apresentam taxas acentuadas de crescimento da demanda e, por consequência, necessitam de grandes investimentos para garantir uma adequada expansão da oferta (Castro et al, 2012).

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2022<sup>3</sup> (PDE 2022) sinaliza as opções e oportunidades que o setor elétrico dispõe no planejamento de médio prazo. Utiliza-se, para tanto, projeções de demanda debruçadas nos cenários macroeconômicos do mundo e do Brasil. No caso da economia brasileira, há uma expectativa de um crescimento médio do PIB de 4,8% a.a. para o decênio até 2022 (EPE, 2013b). Considera-se também uma variação positiva de 0,6% da população brasileira. Esses dados servem para projetar a variação na demanda de energia elétrica, orientado a necessidade de expansão da oferta.

O setor elétrico passa um período de dificuldades a partir de 2014 e a necessidade de se corrigir os problemas desde então é tema fundamental no planejamento do setor. No entanto, as soluções de crescimento de oferta apresentadas no PDE 2022 para suprir o aumento da demanda são cercadas de incertezas. Grande parte dos projetos hidrelétricos - que compõem importante fatia da capacidade futura de geração - situa-se no norte do país, enfrentando diversos questionamentos de cunho social e ambiental. A obtenção de licenças ambientais para tais projetos, principalmente os previstos para depois de 2018, está cada vez mais difícil. Além disso, nos últimos anos o governo veio aumentando a participação das usinas térmicas na matriz elétrica brasileira. Ocorre que o gás natural enfrenta problemas de garantia de disponibilidade e apresenta-se sem competitividade econômica. O quadro é agravado pela rejeição por parte da sociedade em relação às usinas a carvão e nucleares, limitando o potencial futuro de geração. Adicionalmente, o emprego das demais fontes, em detrimento à utilização da hidroeletricidade, aumenta consideravelmente os preços médios de expansão da capacidade instalada (Queiroz, 2014b).

---

<sup>3</sup> Como parte do Planejamento do Setor Elétrico, o Ministério das Minas e Energia, em parceria com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), elaboraram o Plano Decenal de Expansão de Energia. O Relatório apresenta grande quantidade de informações técnicas e indica os rumos do setor elétrico a serem tomados na década em questão (ABRADEE, 2014).

Reafirmando a vocação brasileira para fontes renováveis, o PDE 2022 atribui às usinas eólicas uma posição de destaque na expansão da oferta de eletricidade. Ao final de 2022, a expectativa é de que o recurso eólico responda por 10% da matriz brasileira, com capacidade instalada de 17 GW. Em 2012, essa fonte representava apenas 1,5%, ou seja, 2 GW (Queiroz, 2014b). O plano decenal prevê ainda uma expansão, em menor magnitude, para as demais fontes renováveis, como as usinas de biomassa e as pequenas centrais hidroelétricas.

Ocorre que, para o desenvolvimento efetivo das fontes alternativas, o Estado precisa criar programas coordenados focalizados em cada fonte, a fim de estimular adequadamente suas expansões. O PDE 2022 identifica a necessidade de aumento da oferta de médio prazo, inclusive das fontes alternativas, contudo, a promoção desses recursos abrange uma discussão de longuíssimo prazo. Programas como o PROINFA – primeira e segunda fase – são o meio pelo qual as metas estabelecidas nos planos estratégicos podem ser alcançadas. Através do PROINFA, buscou-se promover as energias renováveis, diversificando a matriz elétrica e garantindo a oferta de longo prazo de energia elétrica. Medidas como a criação de uma linha de financiamento específica para energias renováveis por parte do BNDES e a melhoria no arcabouço legal para a expansão das fontes alternativas permitiram que estas opções se tornassem mais competitivas e aumentassem sua participação (Prado, Oliveira e Camargo, 2008; Pereira, 2009; Dutra e Szklo, 2008).

Considerando o quadro atual e o planejamento de médio e longo prazo, percebe-se uma oportunidade para o crescimento das fontes alternativas. O planejamento indica uma obrigação de se expandir a oferta de eletricidade, principalmente por recursos renováveis. No entanto, é preciso respeitar a necessidade de complementariedade entre as fontes, com intuito de dirimir os riscos de sistema. Nos últimos anos, o governo alargou a participação das usinas térmicas para aumentar a segurança energética, aumentando a demanda pelo gás natural. Contudo, o Brasil atualmente não é autossuficiente na produção desse combustível, sendo necessária a importação do mesmo, por exemplo, da Bolívia.

Abre-se uma brecha para a evolução do biogás. Essa fonte é ao mesmo tempo duradoura, renovável e abundante. Seu emprego ajuda a aliviar o problema da dependência externa quanto ao gás natural e contribui para o aumento da

complementariedade do sistema, reduzindo o risco energético. Dois problemas precisam ser contornados para sua utilização em larga escala. O primeiro refere-se à regulação e legislação adequadas para a evolução do emprego do biogás. O segundo, diz respeito à viabilidade econômica.

Em suma, os planos estratégicos definem os gargalos e traçam as metas, contudo, o meio pelo qual se alcançam esses objetivos é através de programas específicos para o desenvolvimento de longo prazo das fontes de interesse. Observa-se no atual cenário um espaço importante para o desenvolvimento de fontes alternativas, inclusive do biogás. Porém, para que essa fonte se consolide como uma opção real no futuro e perca seu caráter subalterno, é necessário que se promova um programa robusto de longo prazo específico para ela, com metas e medidas bem definidas.

## CAPÍTULO 2 – BIOGÁS E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

### 2.1 Estudo sobre as Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída

A geração distribuída é definida como um arranjo tecnológico que possibilita a geração de eletricidade em pequena escala em local próximo ao consumidor final. É um método de geração capaz de atender à demanda de forma confiável e, sobretudo, de maneira econômica e ambientalmente sustentável (Hansen e Bower, 2003). A geração distribuída caracteriza-se por não ser abastecida pela rede de transmissão, apesar de poder estar ligada a ela, e por possuir mobilidade quanto à sua localização física (Dias, Bortoni e Haddad, 2005).

De modo geral, os sistemas elétricos têm atendido à demanda dos consumidores baseando-se na geração convencional centralizada. Ou seja, são utilizadas usinas de grande porte movidas por fontes primárias de energia (usinas hidroelétricas, por exemplo), conectadas a extensas linhas de transmissão e distribuição, com objetivo principal de atender à demanda de forma econômica e confiável. Contudo, regiões mais distantes, com baixa densidade populacional e/ou com baixo consumo não se enquadram nesse planejamento, pois integrá-lo à rede pode não ser vantajoso economicamente. Dessa forma, restringe-se o acesso à energia elétrica, violando o princípio da universalidade<sup>4</sup> (Rodriguez, 2002).

Nesse sentido, a geração distribuída, devido à suas características, pode ser empregada para corrigir uma série de problemas relacionados à localização da fonte geradora, tal como o da universalidade, citado acima. A proximidade entre o local de geração e o consumidor final possui uma série vantagens: (i) a redução nas perdas de transmissão e distribuição de energia elétrica, (ii) a promoção do desenvolvimento local através do uso de recursos próprios da região em que a instalação é inserida, além da dinamização das atividades econômicas e geração de

---

<sup>4</sup> No Brasil, a universalidade de acesso à energia elétrica é prevista pelo Decreto 4.873 de 11/11/2003. Criado por meio deste Decreto, o “Programa Luz para Todos” possui o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país. Porém, de acordo com o censo do IBGE, ainda em 2014 domicílios desprovidos de acesso à eletricidade (MME, 2014).

empregos, (iii) maior capacidade de expansão do sistema elétrico, devido ao alcance de localidades isoladas (Dias, Bortoni e Haddad, 2005).

Considerando o cenário energético brasileiro, outros benefícios oriundos de uma expansão do emprego da geração distribuída podem ser citados, tais como: (i) minimização dos impactos ambientais, seja pelo impacto reduzido da implantação do empreendimento ou pela redução no emprego de fontes baseadas em combustíveis fósseis, (ii) aumento da segurança energética pela diversificação das fontes geradoras, reduzindo a dependência externa (iii) aumento da qualidade e da confiabilidade do sistema (Severino, Camargo e Oliveira, 2008), (iv) postergação de investimentos para compra de novos equipamentos e construção de subestações por parte das concessionárias, (v) maior capacidade de ajustamento da oferta de energia em contraposição a variações de demanda no curto prazo, reduzindo o risco associado a erros de planejamento (Rodriguez, 2002).

Há ainda outro benefício obtido através da expansão da geração distribuída, denominado de agronegócio da energia ou, simplesmente, agroenergia. Além das tradicionais modalidades agropecuárias, o proprietário rural dispõe de um novo negócio, uma nova fonte de receitas. Trata-se da possibilidade de implantação de projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis, como a eólica, a solar e a biomassa residual convertida em biogás (Bley Jr. *et al*, 2009).

Com a geração distribuída, o produtor isolado pode se integrar à rede via linhas de transmissão. Essa solução é mais eficiente e econômica do que integrá-lo via gasoduto. Deste modo, grandes usinas de cana de açúcar poderiam aproveitar todo seu potencial de geração de energia elétrica através da biomassa residual, muitas vezes desperdiçada. A energia gerada pode ser utilizada para seu autoconsumo ou mesmo ser injetada na rede, caso o produtor esteja ligado a ela e tenha energia excedente.

Contudo, a plena utilização da geração distribuída ainda esbarra em barreiras de diversas naturezas, como regulatórias, técnicas e econômicas (Rodriguez, 2002). Conforme assinalam Dias, Bortoni e Haddad (2005), o principal desafio para o desenvolvimento da geração distribuída refere-se à questões regulatórias. Faltam normas e padronizações que regulamentem a conexão com a rede. Outra importante desvantagem está nos altos custos envolvidos no emprego dessa

tecnologia. Além das despesas com a aquisição e implantação das máquinas, os gastos com a manutenção são pesados, ocasionando em elevados custos de geração com este arranjo.

A geração distribuída enfrenta ainda outros empecilhos à sua ampliação, tais como: (i) dificuldades técnicas de operação e proteção do sistema; (ii) falta de regulação tarifária; (iii) poluição sonora (Dias, Bortoni e Haddad, 2005). Por último, conforme destaca Hachisuca *et al* (2010), a geração distribuída ainda sofre resistência por parte dos operadores e planejadores do setor elétrico brasileiro. Isto porque gerenciar a matriz torna-se mais complexa com a geração distribuída, pois inúmeras fontes de pequeno porte são inseridas no sistema, dificultando a garantia de fornecimento na qualidade e quantidade necessárias.

Em suma, a fim de maximizar o potencial energético brasileiro, deve-se criar uma agenda de incentivos à geração distribuída, sobretudo no que tange a avanços nos ambientes regulatórios, técnicos e econômicos. Esta evolução tornaria viável a expansão de fontes renováveis, como o biogás, permitindo a integração de novos produtores de eletricidade.

## **2.2 Estudo sobre o Biogás e suas Principais Características**

O pleno desenvolvimento da geração distribuída permite que fontes renováveis alternativas de energia aumentem sua participação na matriz elétrica brasileira. Conforme assinala Salomon (2007), a evolução do biogás no Brasil como fonte de energia elétrica passa justamente pela expansão e progresso da geração distribuída. Esta permite que a geração seja feita de forma descentralizada, na localidade dos pontos de carga ou muito próximo dela.

Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, seja esta de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. Existem várias rotas tecnológicas para o aproveitamento da biomassa para geração de energia elétrica. Todas utilizam a conversão da matéria-

prima em um produto intermediário que, no caso do processo denominado de digestão anaeróbica, resulta no biogás (ANEEL, 2008).

O biogás é uma mistura gasosa combustível e pode ser obtido a partir de diversos resíduos orgânicos, como estercos de animais, lodo de esgoto, lixos domésticos, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas (Pecora, 2006). No processo de transformação da biomassa realizado em digestores anaeróbicos, além da geração de biogás, obtém-se um lodo que atua como biofertilizante. Semelhante ao gás natural, o biogás pode ser convertido em energia elétrica, térmica ou mecânica.

No cenário brasileiro, alguns resíduos orgânicos se destacam por sua potencialidade de geração ou por seus benefícios relacionados. A utilização de resíduos urbanos na geração de biogás, sejam eles sólidos (lixo) ou líquidos (tratamento de esgoto), se destaca pelos benefícios indiretos obtidos, pois ajuda a solucionar um dos grandes problemas urbanos, o gerenciamento de resíduos. Do mesmo modo, o emprego da digestão anaeróbica para tratamento dos dejetos rurais, sejam estes bovinos ou suínos, contribui para a preservação do meio ambiente, pois reduz o potencial poluidor, além de promover a geração de biogás e, possivelmente, de biofertilizante. No entanto, o resíduo que apresenta maiores vantagens para geração de biogás em escala industrial é a vinhaça, devido à quantidade disponível no Brasil. A vinhaça é o principal resíduo do processamento da cana-de-açúcar para produção de etanol (Salomon, 2007).

Além do benefício da geração descentralizada já destacado, a geração de energia elétrica a partir do biogás possui outras vantagens, como destaca Salomon e Lora (2005):

São claras as vantagens da produção de energia elétrica a partir de biogás, entre elas: geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo; possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias; redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária; possibilidade de uso de processos de co-geração<sup>5</sup>; redução das emissões de metano para a

---

<sup>5</sup> A cogeração trata-se da produção de dois ou mais energéticos a partir de um único processo de geração de energia. De um modo geral, todas as tecnologias de aproveitamento da biomassa permitem o uso do processo de cogeração.

atmosfera, pois este também é um importante gás de efeito estufa; créditos de carbono; redução de odores etc. (p. 58-9).

Contudo, ainda existe uma série de desafios para se contornar, tanto de origem técnica e econômica, quanto social e política. As barreiras de ordem técnica são relacionadas à limpeza do biogás, a não disponibilidade de tecnologias nacionais de geração e a necessidade de uma planta de demonstração no Brasil. A limpeza é uma etapa necessária, pois a presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono, o torna menos eficiente. Referente às questões econômicas, pode-se citar o elevado investimento inicial para instalação de uma planta movida a biogás e a análise econômica tradicional, pois esta não incorpora em seus cálculos os ganhos ambientais envolvidos no processo (Salomon, 2007). Ainda com relação às questões econômicas, pode-se citar o problema de escala como uma importante barreira. Não necessariamente é interessante economicamente integrar um pequeno produtor isolado de biogás.

Apesar do crescimento das tecnologias e das fontes renováveis e alternativas pelo mundo recentemente, uma barreira se mostra potencialmente bastante poderosa para impedir sua evolução e o cumprimento das metas estabelecidas pelos governos: a aceitação social (Wüstenhagen, Wolsink e Bürer, 2007). A problemática da aceitação social engloba diversas áreas, como, por exemplo, a aceitação dos consumidores, dos investidores, da comunidade como um todo, dos formuladores da política e dos principais agentes do mercado. Quebrar essa barreira é fundamental para estimular o pleno desenvolvimento do biogás. Por fim, para que o Brasil possa aproveitar seu enorme potencial para produção de biogás, é necessário contornar a questão política. É muito importante que o Estado assuma uma postura ativa, estimulando o biogás e a geração distribuída através de subsídios e legislações específicas que permitam a expansão deste setor.

Especificamente no caso do aproveitamento do biogás da vinhaça da cana, a geração descentralizada é fundamental, pois permite o alcance do produtor isolado, incluindo as grandes usinas de cana-de-açúcar que se localizam distantes dos grandes centros geradores. Tais usinas possuem tamanho adequado para, a princípio, superar a barreira da escala de geração.

## 2.3 Experiências do Biogás no Mundo: Caso Chinês e Indiano<sup>6</sup>

Um estudo a respeito da experiência do biogás no mundo, sobretudo nos casos da China e da Índia - por suas similaridades com o Brasil - fornece informações relevantes de como o biogás foi implantado nesses países e oferece aprendizados que podem e devem ser adaptados e incorporados ao cenário brasileiro. A China e a Índia se assemelham ao Brasil em alguns aspectos, como territoriais, estruturais e econômicos. Os três países possuem dimensões continentais, com estrutura produtiva bastante diversificada e um setor rural (agrário e pecuário) muito importante. Além disso, estão em estágios similares quanto ao desenvolvimento econômico.

O fato de a China e a Índia possuírem uma dimensão territorial continental, com enorme produção pecuária dispersa ao longo do seu território em pequenas propriedades rurais, favoreceu o desenvolvimento do biogás em conjunto com a evolução da geração distribuída. Em razão disso, estes países dominam as melhores tecnologias de biodigestores. O modelo indiano de biodigestor é mais sofisticado e eficiente para a obtenção do biogás, contudo, apresenta maiores custos envolvidos em sua construção. Já o modelo chinês é mais simples e barato, porém, é menos eficiente e mais suscetível a problemas, não sendo indicado para instalações de grande porte. 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).

Conforme destaca Gaspar (2003), a China e a Índia divergem quanto ao objetivo principal na utilização dos biodigestores. Os Indianos buscam nessa

---

<sup>6</sup> Assim como ocorre na China e na Índia, a Europa possui uma presença bastante significativa da indústria do biogás, sobretudo no caso da Alemanha. Objetivando alcançar as metas estabelecidas para a área energética do plano “Europa 2020”, os países europeus vêm estimulando a utilização do biogás, dentre outras medidas. Tal como no resto do mundo, o desenvolvimento do biogás na Europa passa pela atuação marcante do Estado, através de diversas formas de subsídios, da elaboração de um marco regulatório adequado e da formulação de uma boa política tarifária. As principais fontes de matéria-prima empregadas para a produção de biogás na Europa são o aterro sanitário, tratamento de esgoto, resíduos urbanos (residencial e industrial) e estrume (Foreest, 2012). Considerando que o potencial brasileiro de geração de biogás reside principalmente em outras fontes, além de possuir características geográficas, territoriais, estruturais e econômicas bem distintas do caso europeu, o estudo da experiência mundial se limitará aos casos chinês e indiano.

tecnologia a produção do biogás para a geração de energia elétrica, a fim de cobrir seu imenso déficit de energia, tendo em vista que não possuem autossuficiência de combustíveis fósseis. Os chineses, por sua vez, visam à obtenção de biofertilizantes para aumentar sua produção de alimentos e atender às demandas alimentares de sua enorme população. Essa divergência de objetivos é a principal razão pela diferença nos modelos de biodigestores.

A biomassa é um recurso amplamente disponível na China e, por isso, o governo chinês apoia fortemente seu uso para a obtenção de energia, seja por meio do biogás, biodiesel, eletricidade ou aquecimento. Para tanto, uma série de programas e políticas foram criados com intuito de promover o desenvolvimento da energia da biomassa (Jiang, Sommer e Christensen, 2011). Como exemplo desse apoio, na década de 1970, o Estado chinês promoveu o uso do biogás em todas as propriedades familiares rurais e facilitou a instalação de mais de sete milhões de biodigestores. De 1986 a 1995, pelo menos três programas de estado colocaram as energias renováveis e a bioenergia em posição estratégica nos planos de desenvolvimento chinês. Em 2006, através da “Renewable Energy Law”, o governo chinês reiterou a necessidade de incentivar e apoiar o desenvolvimento de energias renováveis em áreas rurais, por meio de subsídios e regulações, inclusive para o biogás (Bond e Templeton, 2011). Como resultado, ao final de 2010, 38,5 milhões de biodigestores de pequena escala e 27 mil de grande e média escala foram construídos, permitindo a China a assumir o posto de maior produtor e maior consumidor de biogás no mundo (Chen *et al*, 2012).

De forma similar ao caso Chinês, o governo indiano também estimulou - por meio de programas - o emprego do biogás nas áreas rurais. Conforme destacam Rao *et al* (2011), o objetivo principal da Índia no desenvolvimento do biogás é aumentar a oferta de energia para reduzir seu déficit energético. A partir de 1981, através do programa “The National Project on Biogas Development (NPBD)”, o Estado indiano passou a promover apoio financeiro e treinamentos para a evolução dos digestores. Ao longo das décadas de 1980 e 1990, os subsídios para instalação de biodigestores familiares atingiram de 30 a 100% do valor total dos custos envolvidos. Ao final de 2007, o Estado indiano havia dado subsídio para a construção de cerca de quatro milhões de biodigestores familiares nas áreas rurais (Bond e Templeton, 2011).

Assim como a China e a Índia, o Brasil possui um enorme potencial para o emprego da biomassa na geração do biogás. O principal aprendizado derivado da experiência internacional para o desenvolvimento dessa tecnologia remete à atuação acentuada do Estado, principalmente no que se refere a subsídios, planejamento e regulação. É necessário um conjunto de políticas direcionadas ao biogás e aos biodigestores. Vale ressaltar a atuação específica da China e da Índia na disseminação de pequenas unidades geradoras de biogás nas áreas rurais. Além disso, conforme assinala Bond e Templeton (2011), os governos chinês e indiano atuaram ainda com enormes campanhas de popularização da tecnologia de biodigestores, ajudando a romper as barreiras de aceitação da sociedade.

Depreende-se, portanto, que o pleno desenvolvimento do biogás e da geração distribuída no Brasil passa pela maior atuação do Estado. Contudo, há uma série de barreiras de cunho político e regulatório que dificultam a evolução dessa tecnologia, corroborando com a necessidade de se abrir uma agenda governamental sobre o tema.

## CAPÍTULO 3 – APROVEITAMENTO DA VINHAÇA DA CANA

### 3.1 Características da Vinhaça da Cana e do Biogás da Vinhaça

A indústria da cana-de-açúcar no Brasil impacta de forma significativa o cenário energético e econômico do país. O Brasil não é apenas o maior produtor de cana-de-açúcar, mas também o primeiro do mundo na produção e exportação de açúcar e etanol (MAPA, 2014). Cerca de 650 milhões de toneladas foram produzidas na safra de 2013/2014, com pouco mais de 50% destinadas à produção de etanol (Conab, 2013).

A vinhaça é considerada o principal resíduo da agroindústria canavieira e é obtida a partir do processo de fabricação do etanol. Sua importância não se dá apenas pelo grande volume gerado, mas também por possuir elevado poder poluente e alto valor fertilizante (Szymanski, Balbinot e Schirmer, 2010). Seu potencial poluidor é tão grande que pode chegar a 100 vezes o do esgoto doméstico e decorre de características como baixo nível de pH, acidez e grande demanda bioquímica de oxigênio. Além disso, a vinhaça apresenta mau cheiro, uma coloração marrom escuro, alta temperatura e presença de metais pesados. Sua composição química depende de algumas variáveis, como propriedades do solo, tipo da cana, período da safra e do processo utilizado na produção do etanol.

De acordo com Peiter, Salomon e Amorim (2011), para a produção de apenas um litro de álcool, são gerados de 10 a 14 litros de vinhaça. Por esse elevado volume de geração e por seu alto potencial poluidor, a principal preocupação acerca da vinhaça refere-se ao seu descarte, pois, se feito de forma inadequada, pode acarretar na contaminação de solos e aquíferos.

Apesar do risco potencial ao meio-ambiente, a vinhaça é rica em matéria orgânica e em nutrientes minerais, como potássio, cálcio e enxofre (Moraes *et al.*, 2014). Por esta razão, a principal destinação da vinhaça tem sido a fertirrigação<sup>7</sup> de áreas cultivadas com cana. Deste modo, aumenta-se a produtividade da plantação,

---

<sup>7</sup> A fertirrigação é um processo conjunto e adubação e irrigação, ou seja, consiste na utilização da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo orgânico ou químico na lavoura (Salomon, 2007).

ao mesmo tempo em que se reduzem os gastos com adubação (Rodrigues *et al*, 2012). Do ponto de vista econômico, a fertirrigação representa a aplicação menos custosa e mais simples de utilização da vinhaça admitida pela legislação brasileira. Contudo, tal prática causa preocupação, pois a aplicação sem o devido controle pode levar a salinização e alteração da cana produzida, ao mesmo tempo em que pode contaminar lençóis freáticos por meio de infiltrações no solo (Peiter, Salomon e Amorim, 2011).

Como solução alternativa à fertirrigação sem prévio tratamento do resíduo, a digestão anaeróbica pode ser aplicada na vinhaça, reduzindo seu conteúdo orgânico ao passo em que mantém grande parte dos nutrientes. Desta forma, após este processo, a vinhaça tem seu potencial poluidor minimizado e ainda pode ser empregada na fertirrigação, pois um dos subprodutos gerados é o biofertilizante (Moraes *et al*, 2014). Ademais, a digestão anaeróbica da vinhaça permite a obtenção do biogás, que é uma fonte alternativa de energia. Este biogás é constituído basicamente de metano e dióxido de carbono, com a participação do metano variando entre 40 a 75% da composição total. Isso faz com que o biogás oriundo da vinhaça da cana possua considerável potencial energético, pois, de acordo com Rodrigues *et al* (2012), a qualidade do gás depende diretamente da concentração de metano no mesmo.

O biogás resultante da biodigestão corresponde a somente de 2 a 4% do peso da matéria orgânica empregada ao longo do processo. Além disso, é considerado um gás agressivo por seu poder corrosivo, exigindo, portanto, cuidados especiais nos equipamentos utilizados (Salomon e Lora, 2005). Como vantagem, em comparação com os combustíveis fósseis, o biogás não aumenta o teor de dióxido de carbono na atmosfera, já que o dióxido de carbono liberado durante a combustão é compensado pelo consumido ao longo da fotossíntese (Pompermayer e Paula Jr, 2000).

Apesar do poder energético contido no biogás oriundo da biodigestão da vinhaça da cana-de-açúcar, é necessário que se faça um estudo acerca de sua potencialidade e viabilidade econômica. Para Moraes *et al*, ao menos dois fatores complicam sua expansão: a baixa valorização do biogás como uma fonte alternativa

de energia e a difusão bem-sucedida da fertirrigação da vinhaça, a qual não recebe o devido controle ambiental.

### **3.2 Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica da Vinhaça**

Dentre as diferentes fontes com interessante potencial de geração de biogás, a vinhaça se destaca pelo volume produzido, decorrente da escala de produção apresentada nas usinas de etanol. A quantidade produzida, bem como o poder energético intrínseco à vinhaça, favorecem o emprego dessa fonte na matriz energética brasileira. Contudo, é necessário que se faça um estudo acerca do potencial de geração da vinhaça, a fim de se compreender sua capacidade de produção e sua importância no cenário brasileiro.

De acordo com a literatura, ao longo do processo de produção do álcool, gera-se de 10 a 14 m<sup>3</sup> de vinhaça para cada 1 m<sup>3</sup> de etanol (Moraes, 2014; Salomon, 2005; Rabelo, 2011; Lamonica, 2006). Para fins de cálculo, será utilizado o valor de 12 metros cúbicos de vinhaça por metro cúbico de álcool, respeitando a média aritmética dos valores fornecidos pelos autores. A variação de resultados encontrada pelos autores decorre da diferença observada em alguns fatores, tais como as matérias-primas empregadas, a escala e eficiência da produção e possíveis insumos adicionados ao longo do processo (Peiter, Salomon e Amorim, 2011).

Há, no entanto, uma maior divergência entre os trabalhos quanto à produtividade da vinhaça em termos de gás metano. De acordo com os dados de Johansson *et al.* (1993), 1 m<sup>3</sup> de vinhaça produz 14,23 m<sup>3</sup> de biometano. Esse é o valor utilizado por Rabelo (2011) e Salomon (2007) em suas estimativas de potencial de geração. Brasmetano (2007) trabalha com o valor de 14,60 m<sup>3</sup>, bem próximo ao supracitado. Já para Moraes *et al.* (2014) e Lamonica (2006) a estimativa de geração é um pouco menor. Segundo eles, para cada 1 m<sup>3</sup> de vinhaça gera-se 11,90 e 11,50 m<sup>3</sup> de biometano respectivamente. O trabalho que apresenta maior divergência é o de Salomon *et al.* (2011), com apenas 5 m<sup>3</sup> de gás metano por cada metro cúbico de vinhaça processada no biodigestor, sendo esta a menor estimativa.

Para Salomon *et al.* (2011), o volume potencial de biometano produzido na biodigestão da vinhaça pode ser calculado utilizando-se alguns parâmetros relacionados à propriedades do biogás e do metano através da seguinte fórmula:

$$\text{Biometano (m}^3\text{)} = (\text{Vol. Biogás} * \text{Densidade Biogás}) * \frac{\left(\frac{\text{Metano (kg)}}{\text{Biogás (kg)}}\right) (\%)}{\text{Densidade Metano}}$$

Aplicando-se a média aritmética nos valores empregados pela literatura, obtém-se um resultado aproximado de 11,50 m<sup>3</sup> de gás metano para cada metro cúbico de vinhaça. Este será o valor utilizado na estimativa do potencial de geração de biometano.

Considerando-se a safra de cana-de-açúcar de 2013/2014, com uma produção de 658.822.268 de toneladas, obteve-se um total de 27.956.711 m<sup>3</sup> de etanol (CONAB, 2014). Aplicando-se esse total de álcool às relações de produtividade já definidas anteriormente, estimasse o potencial de produção do biometano em 3.858 milhões de metros cúbicos na safra 2013/2014, conforme detalhado no quadro 1:

**Tabela 1: Estimativa do Potencial de Geração de Biometano no Brasil na Safra 2013/2014**

Produção de Cana-de-Açúcar	658.822.268 ton
Produção de Etanol Total	27.956.711 m <sup>3</sup>
Fator de Produtividade Etano/Vinhaça	12,00
Quantidade de Vinhaça Residual	335.480.532 m <sup>3</sup>
Fator de Produtividade Vinhaça/Biometano	11,50
Quantidade Potencial de Biometano	3.858.026.118 m <sup>3</sup>

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados extraídos da CONAB

De acordo com dados fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2014), no ano de 2013 o Brasil consumiu um total de 37.629,35 milhões de metros cúbicos de gás natural. Para garantir esta demanda pelo combustível, o país teve

que importar 16.513,47 milhões de metros cúbicos, ao custo de 6.961,41 milhões de dólares (FOB<sup>8</sup>), conforme explicitado no quadro 2.

**Tabela 2: Consumo e Importação de Gás Natural no Brasil - 2013 e Relações Biometano**

Consumo de Gás Natural (Milhões m <sup>3</sup> )	37.629,35
Importação de Gás Natural (Milhões m <sup>3</sup> )	16.513,47
Dispêndio com Importação de Gás Natural (Milhões US\$ FOB)	6.961,41
Potencial de Geração do Biometano da Vinhaça (Milhões m <sup>3</sup> )	3.858,00
Proporção Biometano/Importação Gás Natural	23,36%
Proporção Biometano/Consumo Gás Natural	10,25%
Economia Plena Utilização Biometano (US\$ Milhões)	1.626,38

Fonte: ANP (2014) e Elaboração Própria (2014)

Observa-se, portanto, que o potencial de geração do biometano oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar corresponderia 23,36% da importação do gás natural e 10,25% do total consumido no Brasil no ano de 2013. Caso fosse efetivamente aproveitado, esse potencial reduziria o dispêndio do país com importação de gás natural em aproximadamente 1,6 bilhões de dólares, além de reduzir a dependência de importação de gás natural da Bolívia.

Pode-se ainda realizar um estudo mais focalizado, tendo como objeto de pesquisa uma única usina de cana-de-açúcar, com produção exclusivamente voltada para o etanol. Considerando uma usina padrão, ou seja, com produção e produtividade similares às demais plantas nacionais, com safra de 167 dias e um volume de vinhaça de 10 m<sup>3</sup> por litro de etanol, estima-se uma produção de energia elétrica de aproximadamente 5.000 MWh por mês. Sabendo-se que o consumo médio residencial per capita brasileiro é de 0,038 MWh por mês, a geração elétrica advinda de uma única usina de etanol seria capaz de suprir a demanda de uma cidade de pouco mais de 130.000 habitantes (Moraes *et al.*, 2014).

Conclui-se, portanto, que o potencial de aproveitamento do biogás oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar é bastante significativo. De forma agregada, a produção de vinhaça pode ser importante para reduzir a dependência de gás natural externa, sobretudo da Bolívia. De forma específica, para uma única usina de etanol, a

---

<sup>8</sup> FOB: Free On Board. Denomina um contrato no qual o frete não está incluído no custo da mercadoria.

geração oriunda da vinhaça poderia suprir a necessidade elétrica de uma cidade de porte médio (IPEA, 2014), com 130.000 habitantes. De acordo com Salomon (2007), a geração de eletricidade a partir da vinhaça é adequada para suprir a demanda de energia em locais com altas taxas de produção da mesma, através da utilização da geração distribuída.

### **3.3 Barreiras e Desafios para Utilização da Vinhaça de Cana-de-Açúcar como Fonte de Energia Elétrica**

#### **3.3.1 Barreiras Técnicas, Econômicas, Sociais e Político-Regulatórias**

Depreende-se dos capítulos anteriores que a geração energia elétrica através do biogás obtido na biodigestão de resíduos orgânicos possui diversos benefícios. Dentre as diversas fontes de biomassa, a vinhaça da cana-de-açúcar se destaca pelo potencial de geração que possui, seja de forma isolada, em uma única usina de etanol, seja de forma agregada, avaliando-se a capacidade de geração do país como um todo. Por esta razão, é necessário entender os desafios que o biogás da vinhaça encontra para seu pleno desenvolvimento, sejam estes de cunho técnico, econômico, social ou político-regulatório.

Com relação à viabilidade técnica da vinhaça para produção de biogás, entende-se, de um modo geral, que os equipamentos e processos se encontram em um nível de evolução suficiente para não se tornarem barreiras ao desenvolvimento dessa fonte. Ademais, de acordo com a literatura, há viabilidade técnica para a geração de eletricidade a partir do biogás obtido pela digestão anaeróbica (Pompermayer e Paula Jr, 2000; Rego e Hernández, 2006; Rodrigues *et al.*, 2012).

Tendo em vista que a tecnologia não se mostra como uma barreira ao desenvolvimento do biogás, deve-se avaliar se as questões econômicas podem inviabilizar os projetos de geração de energia elétrica a partir dessa fonte. Neste sentido, diversos autores fizeram estudos a fim de analisar sua viabilidade econômica.

Moraes *et al.* (2014) realizaram uma avaliação econômica específica para considerar apenas os efeitos da construção e operação de uma planta de digestão anaeróbica. Adicionalmente, utilizaram uma avaliação global para comparar plantas com e sem a biodigestão da vinhaça. Incluíram em seus cálculos os créditos de carbono relativos às emissões evitadas pela aplicação do biogás da vinhaça para geração de energia elétrica. Os resultados foram obtidos em termos de Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e Custos de Produção e indicaram que os projetos são viáveis, tanto na perspectiva específica, quanto na global. Para a análise específica, concluiu-se que os valores monetários auferidos com a venda do crédito de carbono são suficientes para cobrir os custos de operação e manutenção anuais de uma planta de biodigestão. Para a análise global, a conclusão foi de que projetos que envolvem o emprego da biodigestão e biogás são mais rentáveis do que a aplicação tradicional da vinhaça para fertirrigação.

Entretanto, os autores ressaltam que o preço praticado para novas fontes de energia através dos leilões públicos de energia renovável no Brasil é baixo se comparado com fontes tradicionais de energia. Esse resultado dificulta a comercialização da energia elétrica oriunda do biogás, evidenciando uma das barreiras associadas à vinhaça. Em concordância com o exposto, Cruz *et al* (2013) ressaltam que a margem de lucro obtida nos empreendimentos de geração elétrica a partir da biomassa da vinhaça é menor do que de outras fontes de energia, ainda que economicamente viáveis. Em razão disso, os projetos de biomassa têm sido preferidos aos demais nos leilões públicos de energia.

Em seu estudo, Cruz *et al.* (2013) avaliam a viabilidade de um projeto de geração de eletricidade a partir do biogás da vinhaça para uma usina de dimensão padrão pelos métodos do VPL, TIR, Pay-Back e Análise Custo-Benefício. O resultado ficou condicionado ao valor de venda de energia estabelecido. Para as condições previstas no PROINFA e no Leilão A-3 2010 o projeto se mostrou viável. Contudo, quando aplicado o preço praticado no Leilão A-3 2011, o projeto foi recusado, tanto pelo VPL, quanto pela TIR. Salomon (2007) realiza um trabalho dividido em projetos e cenários distintos e chega a conclusões parecidas. Segundo a autora, os projetos que empregam motor de combustão interna são mais atrativos e normalmente viáveis. No caso do emprego de microturbinas a gás, a viabilidade fica

condicionada a valores de venda maiores do que os encontrados nos leilões públicos.

De acordo com Rego e Hernández (2006), a viabilidade dos projetos analisados deriva da escala da usina de cana-de-açúcar, ou seja, o tamanho da produção se torna uma barreira para a viabilidade. Numa avaliação de uma usina de pequeno porte, o projeto foi recusado. Em outro - de porte maior - ficou evidenciada a viabilidade econômica. Biodigestores de grande ou média escala podem processar um maior volume de vinhaça, reduzindo os custos de produção (devido à economia de escala) e gerando maiores quantidades de biogás. Como, de forma geral, as usinas de cana-de-açúcar produtoras de etanol no Brasil são de grande ou médio porte, conclui-se que essa barreira é superada com menor dificuldade.

Outro fator que pode ser superado através da escala de produção está relacionado à geografia do Brasil. A produção rural está dispersa pelo país de forma descentralizada. Contudo, no caso da biomassa da vinhaça, esse problema se minimiza devido à grandeza das usinas de etanol, combinado com o conceito de geração distribuída, onde a geração do biogás ocorre no local de disponibilidade do recurso. Em comparação com resíduos animais, onde a produção se dá prioritariamente em pequenas e médias propriedades rurais, a vinhaça possui essa vantagem.

Embora o processo de produção do biogás oriundo da biomassa seja dominado há mais de um século, os custos envolvidos em sua instalação, manutenção e operação ainda são muito elevados (Salomon, 2007; Moraes *et al.*, 2014). Além disso, se comparado a outros sistemas de bioenergia, o biogás apresenta maior complexidade, pois combina a participação de muitos agentes, como o Estado, fazendeiros e empresas de energia. Estes agentes influenciam o sistema de muitas maneiras, seja promovendo incentivos ou criando barreiras. Estes fatores levam o biogás a perder competitividade frente a outras fontes, como o gás natural. Por isso, apesar de muitas vezes viáveis, os projetos de geração elétrica a partir do biogás permanecem subutilizados e subalternos.

Sem dúvida os parâmetros econômicos são muito importantes nas decisões de investimento de uma nova planta de biogás, contudo, não se deve analisar somente o desempenho econômico. É necessário considerar outros aspectos que

possam influenciar o resultado econômico do projeto, direta ou indiretamente. Mesmo que as análises já apontem para a viabilidade de um projeto, este ainda pode melhorar se incorporar outros aspectos, como a redução dos impactos ambientais e o emprego de uma fonte renovável de energia. O investimento no biogás da vinhaça promove externalidades positivas que trazem benefícios de forma indireta para a sociedade.

Há, no entanto, uma grande dificuldade de se incorporar essas externalidades nas avaliações de projeto. Por esta razão, o Estado ganha um papel fundamental no desenvolvimento do biogás. Por mais importante que a análise econômica seja, ela não pode ser a única ferramenta de avaliação. Conforme aprendizado da experiência internacional – sobretudo nos casos chinês e indiano-, os parâmetros econômicos raramente são os mais decisivos (Mathias, 2014). Trata-se de uma escolha estratégica em que o Estado decide promover o biogás porque entende que suas externalidades compensam os custos mais elevados em comparação com fontes tradicionais. A presença do Estado torna-se fundamental para que os desafios e barreiras relacionadas ao desenvolvimento do biogás sejam rompidos.

Conforme já introduzido, os desafios do setor podem ser classificados em termos de sua natureza, como de ordem técnica, econômica, social ou político-regulatória. Em geral estes desafios se relacionam entre si, portanto, a atuação do Estado não pode ser restrita. Deve-se operar de forma coordenada, com objetivos e políticas bem definidos e focados, sobretudo relacionados ao marco legal e programas de apoio financeiro.

Conforme assinalam Mathias e Mathias (2013), o marco legal existente e a distribuição de funções das agências públicas brasileiras foram definidos de forma equivocada e sem considerar as especificidades da indústria dos biocombustíveis. Para os autores, os documentos legais sobrepõem funções, ao mesmo tempo em que deixam lacunas importantes. Uma das principais sobreposições de funções apontada refere-se à regulação de uso e comércio do biogás. Enquanto isso, a principal lacuna diz respeito à definição de biogás em si, pois esta não é fornecida por nenhum quadro normativo. Desse modo, evidencia-se a necessidade da criação de uma agenda governamental para definição das etapas a serem seguidas, objetivando o pleno desenvolvimento dos sistemas de biogás.

Em primeiro lugar, conforme sugere Mathias (2014), deve-se esclarecer e delimitar a função de cada agente governamental em relação à produção, circulação e utilização do biogás oriundo da vinhaça, através da criação de um novo arcabouço legal. Deste modo, questões legais, regulatórias e burocráticas deixam de ser uma barreira efetiva à construção de novas plantas de biogás, colaborando com o desenvolvimento dessa fonte e de empresas do setor.

Após esse primeiro passo, deve-se elaborar um plano estratégico que defina as diretrizes de programas específicos para o biogás da vinhaça e a geração de eletricidade a partir dele. Por exemplo, pode-se criar políticas voltadas ao desenvolvimento da geração distribuída aplicadas às usinas de etanol. Por fim, ainda no âmbito político-regulatório, deve-se estimular a interação entre os diferentes Ministérios brasileiros envolvidos na produção ou utilização do biogás, com intuito de facilitar a elaboração de programas voltados para a inclusão do biogás como fonte de energia, seja ela térmica ou elétrica. É o caso do Ministério da Agricultura (inserido nos temas de agroenergia e produção de etanol), do Ministério do Meio Ambiente (inserido na questão da redução dos impactos ambientais) e o Ministério de Minas e Energia.

A fim de superar as diversas dificuldades envolvidas no desenvolvimento da geração de eletricidade por meio do biogás da vinhaça, o esforço do Estado deve abranger vários segmentos. Um grande problema enfrentado por essa fonte origina-se no desconhecimento da sociedade. Conforme destaca Wüstenhagen, Wolsink e Bürer (2007), mesmo com o constante crescimento das fontes renováveis, a aceitação social dessas fontes ainda aparece como uma importante barreira. A problemática da aceitação social engloba áreas como a aceitação dos consumidores, dos investidores, da comunidade como um todo, dos formuladores da política e dos principais agentes do mercado. Cabe ao Estado promover políticas direcionadas às fontes renováveis para conseguir atrair todos os agentes para dentro do setor.

Outro campo em que o Estado deve atuar com maior presença é o de financiamento para as empresas de biogás. Conforme aprendizado da experiência internacional, este é um ponto vital para o pleno desenvolvimento da fonte. Para Mathias e Mathias (2013), o Brasil possui ao menos duas instituições adequadas

para essa tarefa: i) o Banco do Brasil, o qual possui linhas de crédito com baixas taxas de juros para empresas rurais de pequeno porte; ii) o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o qual atua com financiamentos para investimentos de empresas rurais de médio e grande porte.

Além do aumento de crédito para empresas do setor, outros subsídios por parte do Estado podem ser aplicados, como isenções tributárias, transferências de valores para construção de plantas de biodigestão e geração distribuída, longos prazos de resgate para os créditos, preços mínimos de compra para a produção, investimento no desenvolvimento de novas tecnologias e a apropriação por parte do governo de custos de difusão das diversas tecnologias.

Dentre as principais barreiras reveladas, a questão político-regulatória se destaca como um ponto fundamental a ser solucionado. A partir disso, as demais barreiras podem ser solucionadas com maior facilidade através de ações coordenadas das instituições do Estado. Por isso, a agenda governamental deve começar por este ponto de estrangulamento e depois seguir adiante para os próximos passos.

### **3.3.2 Barreiras à Geração Distribuída**

Considerando que a estrutura de produção rural brasileira ocorre de forma descentralizada, ou seja, está dispersa ao longo do território brasileiro, o potencial de biomassa encontra-se totalmente espalhado. Além disso, muitas das fazendas de produção rural são de pequeno e médio porte. Esses fatores dificultam a introdução e evolução do biogás das diversas fontes no Brasil e, portanto, torna-se imprescindível o emprego da geração distribuída para minimizar esses obstáculos. No entanto, apesar de sua importância, a geração distribuída ainda se encontra em um estágio incipiente de aproveitamento no Brasil.

A geração distribuída, assim como os sistemas de biogás, também enfrenta inúmeras barreiras à sua ampliação e identificá-las é muito importante no processo de correção dessas dificuldades.

Dias, Bortoni e Haddad (2005) identificaram em seu trabalho os principais obstáculos relacionados à geração distribuída, dentre os quais se encontram as questões regulatórias, o custo da tecnologia, questões técnicas e a baixa difusão da tecnologia. Outra barreira importante diz respeito à resistência por parte dos planejadores e operadores do sistema em impulsionar a geração distribuída. Tal resistência reside na complexidade de gerir a qualidade e a quantidade de energia necessária para suprir a elevada demanda recebida com um grande número de produtores de pequena escala dispersos pelo país.

De acordo com a literatura, o principal obstáculo à expansão dessa tecnologia tem sido a questão regulatória (Dias, Bortoni e Haddad, 2005; Trevisan, 2011; Farqui, 2011). No esforço de superar essa dificuldade, a ANEEL promoveu algumas ações, tal como elaboração da Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, que estabelece definições regulatórias para uma modalidade de incentivo tarifário denominado de *Net Metering*<sup>9</sup>. Esta resolução regula a conexão da mini (até 100 kW) e micro (100 kW a 1.000 kW) geradores aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica. Desse modo, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade em troca de créditos de energia que serão utilizados quando houver consumo (ANEEL, 2014).

Segundo dados da ANEEL (2014), até o final de 2014, 299 mini ou micro geradores receberam registro para operar por meio da geração distribuída, a grande maioria consumidores com potência de até 10 kW. Fatores como tributação, condições de financiamento e falta de conhecimento técnico por parte dos consumidores impossibilitaram um maior número de agentes adentrarem ao sistema.

Tendo em vista que a energia injetada por parte dos consumidores não tens fins comerciais, serve apenas para consumo futuro próprio, uma das medidas mais simples e racionais que poderia ser implantada para promover a geração distribuída seria reduzir a incidência de tributos sobre essa atividade. É reconhecido, pela

---

<sup>9</sup> A geração distribuída é normalmente desenvolvida a partir de políticas de incentivo, entre as quais se destacam as chamadas *Feed-In Tariffs* (FIT), uma política onde o consumidor recebe uma remuneração por parte da distribuidora pela energia que injeta na rede. O *Net Metering* é uma modalidade de FIT, porém, nesse caso, o consumidor não recebe remunerações pela energia injetada. No *Net Metering*, o consumidor recebe créditos de energia que serão utilizados quando houver consumo (Trevisan, 2011; Farqui, 2011).

experiência internacional, que subsídios precisam ser oferecidos por parte do Estado para a promoção dessa tecnologia. Portanto, não faz sentido tributar essa atividade e depois subsidiá-la.

Os custos relacionados ao investimento em sistemas de geração distribuída ainda são elevados, ocasionando em baixas taxas de retorno para esses projetos (Dias, Bortoni e Haddad, 2005). Assim, para contornar esse problema, uma medida de incentivo importante seria ofertar financiamento em condições atraentes para a instalação de unidades de mini ou microgeração. Tal como sugerido nos sistemas de biogás, o governo poderia assumir custos relacionados à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, bem como custos de difusão das mesmas, contribuindo para romper com as barreiras técnicas.

Cabe ressaltar que o primeiro passo dado pela ANEEL para tentar solucionar os diversos desafios enfrentados pela geração distribuída se deu através da Resolução Autorizativa nº 1.482/08 de junho de 2008. Nessa resolução, a ANEEL autorizou a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) a realizar a compra por chamada pública da energia gerada pelos protótipos do Programa Geração Distribuída, pertencente à Itaipu/Copel (ITAIPU, 2015). Outro passo importante se deu pela Resolução Normativa Aneel 390/2009, de 18 de dezembro de 2009, onde se definiu que qualquer distribuidora de energia elétrica pode fazer chamadas públicas para comprar eletricidade produzida por biodigestores, ou seja, os produtores passaram a poder enviar eletricidade para a linha de distribuição, em vez de somente consumir.

Conclui-se que, apesar de primeiros passos terem sido dados pela ANEEL em suas resoluções, ainda há um conjunto de iniciativas que precisam ser executadas por meio de políticas públicas bem coordenadas para que a geração distribuída ocupe um espaço relevante no Brasil.

## CONCLUSÃO

A questão energética é um dos maiores desafios enfrentados pelo mundo no século XXI. Planejar o setor adequadamente para que a oferta de energia seja capaz de suprir demandas maiores no futuro é vital para qualquer país. No Brasil, o tema ganhou muita importância após a “Crise do Apagão”, vivida em 2001. Reforça-se a necessidade de se diversificar a matriz elétrica por meio do aumento da participação das fontes alternativas, a fim de se elevar a segurança do abastecimento de eletricidade. A questão ambiental reforça esse objetivo. Por meio de fontes alternativas é possível reduzir as emissões de carbono, mitigando-se os efeitos da mudança climática. Surge, assim, uma brecha para uma maior aplicação do biogás.

De acordo com a experiência internacional, percebe-se que o biogás possui um potencial de geração interessante. O desenvolvimento dessa fonte em países como a China e Índia, tal como no continente Europeu – sobretudo na Alemanha-, comprova que o biogás se trata de um importante recurso. Aprofundando-se nos casos chinês e indiano, os quais se assemelham em diversos aspectos com a realidade brasileira, conclui-se que o Brasil deve aprofundar-se na utilização do biogás para maximizar a geração de energia, seja esta elétrica ou não. Os ensinamentos internacionais evidenciam a necessidade de uma forte presença do Estado na promoção das fontes alternativas.

Considerando a enorme presença da indústria do etanol no Brasil, a qual se consolida como a maior do mundo, e o poder de geração intrínseco à vinhaça, conclui-se que este é o resíduo com maior capacidade de geração de biogás no país. A partir daí, surge a necessidade de se estimar o potencial de geração da vinhaça em território nacional. Para tanto, utilizou-se os dados da produção de cana-de-açúcar da safra de 2013/2014, a geração de etanol associada a essa safra, a quantidade média de vinhaça obtida por cada litro de álcool e o poder energético (biometano) contido em cada metro cúbico da vinhaça. Como resultado obteve-se o valor de 3.858.026.118 metros cúbicos de gás metano.

Sabendo-se que o consumo total de gás natural para o ano de 2013 foi de 37.629,35 milhões de metros cúbicos e que para garantir esse consumo o Brasil teve que importar o equivalente a 16.513,47 milhões de metros cúbicos, o potencial de geração do biogás oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar seria capaz de suprir 10,25% do consumo total, ao mesmo em que representaria 23,36% da importação de gás natural. Caso todo esse potencial fosse utilizado, o Brasil poderia economizar cerca de 1,6 bilhões de dólares e diminuir a dependência de importação de gás natural da Bolívia, aumentando sua segurança energética e diminuindo seu nível de emissão de carbono na atmosfera.

De forma mais específica, restringindo o cálculo para apenas uma usina produtora de etanol, estimou-se uma produção de energia elétrica de aproximadamente 5.000 MWh por mês. Sabendo-se que o consumo médio residencial per capita brasileiro é de 0,038 MWh mensais, a geração elétrica advinda de uma única usina de etanol seria capaz de suprir a demanda de uma cidade de pouco mais de 130.000 habitantes.

Para que todo esse potencial seja de fato aproveitado, deve-se estimular os produtores de etanol a implantar um sistema de biodigestão anaeróbica em sua propriedade (ou próximo). Ocorre que a produção no Brasil caracteriza-se por ser realizada de forma descentralizada, ou seja, espalhada ao longo do território brasileiro. O conceito de geração distribuída está inserido nesse contexto. Através desse recurso, os produtores rurais podem gerar o biogás em suas propriedades e aproveitá-lo localmente, para seu próprio consumo energético e elétrico. Caso essas usinas estejam conectadas à rede, por meio de linhas de transmissão, o produtor tem a opção de vender o excedente da eletricidade gerada para as empresas concessionárias.

Contudo, o desenvolvimento dos sistemas de biogás e de geração distribuída esbarra em uma série de barreiras. De acordo com a literatura, as questões técnicas não se apresentam como barreira efetiva à expansão do biogás. Porém, obstáculos de cunho econômico, social e político-regulatório ainda precisam ser resolvidos. Associado às questões econômicas, sugere-se que o Estado aumente sua participação no setor por meio de subsídios, para que os retornos desses investimentos sejam maiores, atraindo mais agentes para esse mercado. Tais

subsídios podem ser concedidos através do aumento de crédito para as empresas do setor, bem como a redução de suas taxas de juros e o alongamento de seus prazos; isenções tributárias; transferências de valores para construção de plantas de biodigestão e sistemas de geração distribuída; preços mínimos de compra para a produção; investimento no desenvolvimento de novas tecnologias; e a apropriação por parte do governo de custos de difusão das diversas tecnologias.

A fim de superar as mais variadas dificuldades relacionadas ao desenvolvimento do biogás, a atuação do Estado deve abranger vários segmentos. Um grande problema enfrentado por essa fonte origina-se no desconhecimento da sociedade, e recebe o nome de barreira da aceitação social. A dificuldade de aceitação social engloba os principais agentes do mercado e cabe ao Estado promover políticas direcionadas às fontes renováveis a fim de atraí-los para dentro do setor.

Por fim, a problemática que se apresenta como a mais importante, tanto para o biogás, quanto para a geração distribuída, refere-se às questões de ordem político-regulatórias. O marco legal existente e a distribuição de funções das agências públicas brasileiras foram definidos de forma equivocada e sem considerar as especificidades da indústria dos biocombustíveis. Ao mesmo tempo em que há sobreposição de funções, existem lacunas que ainda não foram resolvidas. Desse modo, evidencia-se a necessidade da criação de uma agenda governamental para definição das etapas a serem seguidas, objetivando o pleno desenvolvimento dos sistemas de biogás e da geração distribuída. Em primeiro lugar, deve-se esclarecer e delimitar a função de cada agente governamental, através da criação de um novo arcabouço legal. Após, deve-se elaborar um plano estratégico que defina as diretrizes de programas específicos para o biogás e a geração distribuída. Por último, deve-se estimular a interação entre os diferentes Ministérios brasileiros envolvidos na produção ou utilização do biogás.

As perspectivas do biogás e do setor de biomassa melhoraram muito a partir da criação do PROINFA, em 2004. Contudo, ainda apresentam um caráter subalterno perante as fontes tradicionais, como a hidroeletricidade e as térmicas movidas a combustíveis fósseis. No esforço de promover a geração distribuída e, concomitantemente o biogás, a ANEEL promoveu algumas ações, tal como

elaboração da Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, que estabelece definições regulatórias para conexões de mini e microgeradores aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Desse modo, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade em troca de créditos de energia.

Os primeiros passos dados pela ANEEL para tentar solucionar os diversos desafios enfrentados pela geração distribuída se deram através da Resolução Autorizativa nº 1.482/08 de junho de 2008 e da Resolução Normativa Aneel 390/2009 de 18 de dezembro de 2009. Como resultado dessas resoluções, definiu-se que qualquer distribuidora de energia elétrica pode fazer chamadas públicas para comprar eletricidade produzida por biodigestores, ou seja, os produtores passaram a poder enviar eletricidade para a linha de distribuição, em vez de somente consumir.

Dentre as principais barreiras reveladas, a questão político-regulatória se destaca como um ponto fundamental a ser solucionado. A partir disso, as demais barreiras podem ser solucionadas com maior facilidade. Por isso, a agenda governamental deve começar por este ponto de estrangulamento e depois seguir adiante. Conclui-se que, apesar de algumas medidas iniciais terem sido adotadas pela ANEEL, ainda há um conjunto de iniciativas que precisam ser executadas por meio de políticas públicas bem coordenadas para que o biogás e a geração distribuída ocupem um espaço relevante no Brasil.

O biogás oriundo da vinhaça da cana-de-açúcar é apenas um dos diversos resíduos com interessante potencial de produção. Sendo assim, quando as diversas barreiras existentes ao desenvolvimento do biogás e da geração distribuída forem quebradas, todas as fontes poderão exercer sua potencialidade, como a geração a partir de dejetos animais (gado ou suíno) e resíduos urbanos (sólidos e líquidos). A soma desses potenciais representa um importante meio para maximizar a geração de energia elétrica do Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/>>. Acesso em 02 nov. 2014.

ABRADEE. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/plano-decenal>>. Acesso em 10 nov. 2014.

ALBUQUERQUE, A. *Fluxo de Caixa em Risco: Uma Nova Abordagem para o Setor de Distribuição de Energia Elétrica*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, PUC-Rio, Rio de Janeiro.

ALMEIDA, M. P. *Programa Nacional de Desestatização do Governo Collor: Uma Leitura Gramsciana*. Niterói: Texto de Discussão n. 10. POLIS/UFF, 2007.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Banco de Informações de Geração - BIG*. Brasília: ANEEL, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em 02 nov. 2014.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em 20 dez. 2014.

\_\_\_\_\_. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3a. Edição. Brasília, 2008

BLEY JR. C. et al. *Agroenergia da Biomassa Residual: Perspectivas Energéticas, Socioeconômicas e Ambientais*. 2<sup>a</sup> ed. rev. – Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.

BOND, T.; TEMPLETON, M. R. *History and Future of Biogas Plants in the Developing World*. Energy for Sustainable Development, n. 15, 2011, p. 347-354.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASMETANO - Brasmetano Industry and Trade Ltda. Personal Communication. 2007.

CASTRO, N. J. *O novo marco regulatório do setor elétrico do Brasil*. Rio de Janeiro: IFE 1298. GESEL/IE/UFRJ, 2004.

CASTRO, N. J.; DANTAS, G. *Fusões e Aquisições no Setor Sucroenergético e a Importância da Escala de Geração*. Rio de Janeiro: Texto de Discussão n. 14. GESEL/IE/UFRJ, 2009.

CASTRO, N. J.; FRANCESCHUTTI, F. G. *Algumas Considerações sobre as transformações recentes do Setor de Energia Elétrica no Brasil*. Encontro dos Economistas da Língua Portuguesa, III. Macau, junho de 1998.

CASTRO, N. J. et al. *Considerações sobre as Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira*. Rio de Janeiro: Texto de Discussão n. 19. GESEL/IE/UFRJ, 2010.

CASTRO, N. J. et al. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE: Análise do Método, Metas e Riscos*. Rio de Janeiro: Texto de Discussão n. 44. GESEL/IE/UFRJ, 2012.

CHEN, L. et al. *The Progress and Prospects of Rural Biogas Production in China*. Energy Policy, n. 51, 2012, p. 58-63.

COLLOR, F. *Brasil: Um Projeto de Reconstrução Nacional*. Brasília: Senado Federal, 2008.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013* - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2013.

CRUZ, L. F. L. S. et al. *Análise da Viabilidade Técnica , Econômica e Ambiental das Atuais Formas de Aproveitamento da Vinhaça: Fertirrigação , Concentração e Biodegradação*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, nº 29. Setembro de 2013.

DIAS, M.; BORTONI, E.; HADDAD, J. *Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras*. In: Revista Brasileira de Energia, Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, v. 11, n. 2, p. 137-156. Itajubá, 2005.

DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. *Incentive Policies for Promoting Wind Energy Production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) Under the New Brazilian Electric Power Sector Regulation*. Renewable Energy 33 (2008) 65 – 76.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional*. Rio de Janeiro: EPE, 2013a. Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2013\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf)>. Acesso em 20 ago. 2014.

\_\_\_\_\_. *Balanço Energético Nacional*. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2014&anoFimColeta=2013>>. Acesso em 06 out. 2014.

\_\_\_\_\_. *Plano Decenal de Expansão de Energia: PDE 2022*. Rio de Janeiro: EPE, 2013b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/default.aspx>>. Acesso em 15 nov. 2014.

GALDIERI, D. *Itaipu se Mantém Como Maior Geradora de Energia do Mundo*. Exame.com, 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/itaipu-se-mantem-como-maior-geradora-de-energia-do-mundo>>. Acesso em: 06 out 2014.

GASPAR, R. M. B. L. *Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-Pr*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção).

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GOMES, V. *O meio ambiente e o risco de apagão no Brasil*. In: II SEMINÁRIO INTERNACIONAL: REESTRUTURAÇÃO E REGULAÇÃO DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL. Rio de janeiro, 2007. Disponível em: <[http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2007/artigos/pdf/victorjose\\_omeioambiente.pdf](http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2007/artigos/pdf/victorjose_omeioambiente.pdf)>

HACHISUCA, A. M. M. et al. *Geração distribuída: biomassa residual utilizada como fonte de energia alternativa em unidades de demonstração*. Belém: III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, maio de 2010.

HADDAD, C. *Crescimento do Produto Real do Brasil, 1900-1947*. 1. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1978.

HANSEN, C. J.; BOWER J. *An Economic Evaluation of Small-Scale Distributed Electricity Generation Technology*. Oxford Institute for Energy Studies, EL nº 5. Oxford, outubro de 2003.

IBGE. Séries Históricas e Estatísticas. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/#sub\\_indicadores](http://www.ibge.gov.br/home/#sub_indicadores)>. Acesso em: 25 ago 2014.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics*. Paris: IEA, 2013. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>>. Acesso em 20 ago 2014.

\_\_\_\_\_. Statistics Search. Paris: IEA, 2014. Disponível em <<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=BRAZIL&product=electricityandheat&year=2012>>. Acesso em 20 out 2014.

FARQUI, K. R. *Modelo para Avaliação de Oportunidades de Oferta de Geração Distribuída*. Tese (Doutorado em Engenharia de Energia e Automação Elétrica), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/>>. Acesso em 23 dez. 2014.

ITAIPU. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/aneel-regulamenta-geracao-distribuida>>. Acesso em 4 jan. 2015.

JIANG, X.; SOMMER, S. G.; CHRISTENSEN, K. V. *A Review of the Biogas Industry in China*. Energy Policy, n. 39, 2011, p. 6073-6081

JOHANSSON, T. B. *et al. Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity*. Island Press, Washington. 1160p, 1993.

LAMONICA, H. M. *Potencial de Geração de Excedentes de Energia Elétrica com o Biogás Produzido a Partir da Biodigestão da Vinhaça na Indústria Sucro-Alcooleira Brasileira*. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas.

LEITE, A. D. *Considerações sobre Energia Elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro: Texto de Discussão n. 30. GESEL/IE/UFRJ, 2011.

LOUREIRO, P. *Custo Marginal Do Déficit De Energia Elétrica: Histórico, Avaliação e Proposta de uma Nova Metodologia*. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em 19 dez. 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, J. F. C. M.; MATHIAS, M. C. P. P. *Biogas in Brazil: a Governmental Agenda*. Paper apresentado na 4a ELAEE. Montevideo, 2013.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <[http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o\\_programa.asp](http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp)>. Acesso em 05 dez. 2014.

MORAES, B. S. et al. *Anaerobic Digestion of Vinasse From Sugarcane Biorefineries in Brazil From Energy, Environmental, and Economic Perspectives: Profit Or Expense?*. Applied Energy 113 (2014) 825–835.

PECORA, V. *Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da Usp: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PEITER, F. S.; SALOMON, K. R.; AMORIM, E.L.C. *Quantificação do Hidrogênio e Metano Resultantes da Digestão Anaeróbia da Vinhaça de Alagoas Visando à Geração de Energia*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

PEREIRA, O. L. S. *Renewable Energy as a Tool to Assure Continuity of a Low Emission Brazilian Electric Power Sector – Results of an Aggressive Renewable Energy Policy*. Power & Energy Society General Meeting, 2009. IEEE.

POMPERMAYER, R. S., PAULA JR, D. R. *Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Biogás Através da Biodigestão da Vinhaça e Comparação com Outros Energéticos*. Anais 3. Encontro de Energia no Meio Rural Setembro, 2000.

PRADO, T.G.F; OLIVEIRA, M.A.G; CAMARGO, I. M. T. *The Brazilian Renewable Energy Incentive Program - The Second Phase of the PROINFA: Assessing Policy Efficiency And Barriers in Long-term Scenarios*. Energy 2030 Conference, 2008. ENERGY 2008. IEEE.

QUEIROZ, R. *Setor Elétrico Brasileiro: Uma História de Reformas*. Rio de Janeiro: Blog Infopetro. Grupo de Economia da Energia/IE/UFRJ, 2013a.

\_\_\_\_\_. *PDE 2022: O Planejamento do Governo Brasileiro para a Próxima Expansão de Oferta de Energia Elétrica nos Próximos 10 Anos*. Rio de Janeiro: Blog Infopetro. Grupo de Economia da Energia/IE/UFRJ, 2013b.

RABELO, S. C. et al. *Production of Bioethanol, Methane and Heat From Sugarcane Bagasse in a Biorefinery Concept*. *Bioresource Technology*, 102, 2011, p. 7887–7895.

RAO, P. V. et al. *Biogas Generation Potential by Anaerobic Digestion for Sustainable Energy Development in India*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 15, 2011, p. 347-354.

REGO, E.E.; HERNÁNDEZ, F.M. *Eletricidade por Digestão Anaeróbia da Vinhaça de Cana-de-açúcar: Contornos Técnicos, Econômicos e Ambientais de uma Opção*. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural. São Paulo, 2006.

RODRÍGUEZ, C. *Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: o Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede*. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

RODRIGUES, A. et al. *Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica a Partir da Vinhaça*. Acta Iguazu, v.1, n.2, p. 80-93. Cascavel, 2012.

SALOMON, K. R. *Avaliação Técnico-econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007.

SALOMON, K. R., LORA, E. E. S. *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.

SALOMON, K. R. et al. *Cost Calculations for Biogas From Vinasse Biodigestion and its Energy Utilization*. *Cooperative Sugar*, v. 42, n. 9, p. 23-31, 2011.

SANTOS G. A. G. et al. *Por que as tarifas foram para os céus? Propostas para o setor elétrico brasileiro.* Rio de Janeiro: Revista do BNDES, v. 14, nº 29, p. 435-474, jun. 2008.

SEVERINO, M. M.; CAMARGO I. M. T.; OLIVEIRA M. A. G. *Geração Distribuída: Discussão Conceitual e Nova Definição.* Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 1. Brasília, 2008.

SOUZA, P. R. C. *Evolução da Indústria de Energia Elétrica Brasileira Sob Mudanças no Ambiente de Negócios: Um Enfoque Institucionalista.* 2002. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; NAGEL, W. *Biodigestão Anaeróbia da Vinhaça: Aproveitamento Energético do Biogás e Obtenção de Créditos de Carbono – Estudo de Caso.* Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 4, p. 901-912, out./dez. 2010.

TOLMASQUIM, M. *As origens da crise energética brasileira.* Ambiente & sociedade; volume 0, número 6-7, páginas 179-183, Junho/2000

TREVISAN, A. S. *Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão.* Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

VAN FOREEST, F. *Perspectives for Biogas in Europe.* Oxford Institute for Energy Studies, dezembro de 2012.

VEIGA, D.; FONSECA V. *Análise do Consumo de Energia Elétrica no Brasil.* Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

VIALI, L. *Texto V: Correlação e Regressão.* Porto Alegre: PUCRS, 2013

VIEIRA, J. P.; CASTRO, N. J.; GUERRA, S. M. *La Experiencia de los años 90 de la Industria de Energía Eléctrica Brasileña: Privatización y Expansión.* Rio de Janeiro: Texto de Discussão n. 26. GESEL/IE/UFRJ, 2010.

WÜSTENHAGEN, R.; WOLSINK, M.; BÜRER, M. J. *Social Acceptance of Renewable Energy Innovation - an Introduction to the Concept.* Energy Policy, 35, 2683–2691, 2007