



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL

UONIS RAASCH PAGEL

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E DE  
BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
AGROPECUÁRIOS NO BRASIL**

VITÓRIA  
2017

UONIS RAASCH PAGEL

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E DE  
BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
AGROPECUÁRIOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, na área de concentração Gestão Sustentável e Energia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Adriana Fiorotti Campos.

VITÓRIA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Tecnológica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P132a Pagel, Uonis Raasch, 1991-  
Análise da produção de energia elétrica e de biocombustíveis a partir de resíduos sólidos agropecuários no Brasil / Uonis Raasch Pagel. – 2017.  
165 f. : il.

Orientador: Adriana Fiorotti Campos.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Produção de energia elétrica. 2. Biocombustíveis. 3. Resíduos sólidos. 4. Sustentabilidade. I. Campos, Adriana Fiorotti. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---

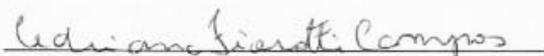
## UONIS RAASCH PAGEL

### ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROPECUÁRIOS NO BRASIL

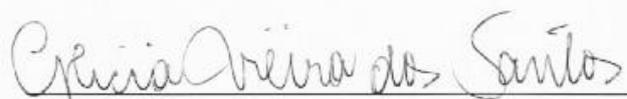
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Modalidade Profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de concentração Gestão Sustentável e Energia.

Aprovada em 13 de julho de 2017.

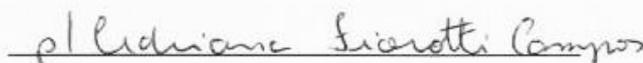
#### COMISSÃO EXAMINADORA



Prof<sup>a</sup>. D.Sc. Adriana Fiorotti Campos  
Orientadora – PPGES/CT/UFES



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Glícia Vieira dos Santos  
Examinadora Interna – PPGES/CT/UFES



Prof. D.Sc. Luciano Basto Oliveira  
Examinador Externo – COPPE/UFRJ

Dedico este trabalho à minha família, aos meus amigos, colegas de universidade, à minha orientadora e a todos aqueles que contribuíram diretamente para mais esta conquista acadêmica e profissional na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Adriana Fiorotti Campos, na condição de orientadora, pela acessibilidade e inúmeras vezes que me atendeu prontamente em diversas situações acadêmicas, e em especial, por sua amizade e companheirismo demonstrado no convívio diário dentro e fora da sala de aula ao longo de todo o mestrado.

Aos membros da banca, professores e demais integrantes do corpo técnico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (PPGES), agradeço por todo o conhecimento transmitido, pela troca de experiências e pelo apoio prestado em diversos momentos.

A todos os meus grandes amigos e colegas, que alguns mesmo distantes, me incentivaram e me deram apoio incondicional para a realização desta conquista.

À minha família, pelo suporte financeiro, emocional e pelo incentivo a não desistir.

Às professoras Leila Benitez e Jaqueline Carolino, por suas valiosas contribuições e pelo estímulo que me deram em alcançar mais uma fase nesta caminhada pelos trilhos da ciência.

A todos os integrantes do Grupo de Regulação do Setor Energético, pela sabedoria partilhada e pela participação na produção e publicação de trabalhos.

E por último, mas não menos importante, a Deus, por me abençoar todos os dias e por ter colocado todas essas pessoas acima no meu caminho.

*“Você é mais forte do que pensa e será mais feliz do que imagina”.*

Tati Bernardi.

## RESUMO

Esta pesquisa se insere num contexto de estímulo e utilização de fontes alternativas e limpas para a produção de energia elétrica ou na forma de biocombustíveis, a partir de insumos produzidos em larga escala e com tecnologias de aproveitamento no Brasil, quais sejam, os resíduos sólidos agropecuários, oriundos das atividades agrícola, florestal e pecuária. Se justifica, sobretudo, pela necessidade de um desenvolvimento pautado na participação de fontes renováveis na oferta interna de energia e na geração descentralizada de energia elétrica; pela diversificação da matriz energética; por ser uma fonte de caráter complementar à fonte hidráulica nas estações de seca e crise hídrica; pela redução do uso dos combustíveis fósseis e das emissões de gases de efeito estufa; além da possibilidade de desenvolvimento econômico e social, ao agregar valor às cadeias produtivas de base rural. Objetivou analisar quais fatores têm imputado obstáculos para que a produção de eletricidade e de biocombustíveis a partir de fontes residuais agropecuárias ainda não tenha sido suficientemente explorada até o momento no Brasil (com exceção do bagaço da cana-de-açúcar), tomando como base aspectos econômicos, ambientais, tecnológicos e regulatórios. Para tanto, busca embasamento em pesquisa bibliográfica e documental, principalmente, nas áreas de Economia Sustentável, Planejamento e Eficiência Energética, e Agropecuária Brasileira, visando responder o problema de pesquisa levantado. Os resultados apontam que os maiores obstáculos neste sentido, não são técnicos, mas econômicos e político-institucionais, incluindo diversos dispêndios e restrições logísticas que corroboram por tornar o aproveitamento energético destes resíduos um processo de complexa viabilidade econômica no Brasil, recorrendo à necessidade de se acelerar os trabalhos de PD&I para enfrentar esta situação atuando em duas frentes: eficiência energética e aumento da participação de fontes renováveis de energia, subsidiando assim a formulação de políticas públicas no setor energético. Somado a estes fatores, adiciona-se a necessidade de ações em termos de aumentar o conhecimento técnico no meio rural, políticas para superar a falta de acesso a capital e melhorias logísticas.

**Palavras-chave:** Energia elétrica. Biocombustíveis. Resíduos agropecuários. Fontes renováveis. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

This research is placed in a context of stimulus and use of alternative and clean sources for the production of electric energy and biofuels, the both produced from large scale inputs such as farming solid waste from agricultural, forestry and livestock activities. The study is justified by the need for a development based on the participation of renewable sources in the internal supply of energy and in the decentralized generation of electric energy; for the diversification of the energy matrix; the complementary to the hydraulic source in the seasons of drought and water crisis; the possibility of reducing the use of fossil fuels and greenhouse gas emissions; besides the resulting economic and social development, through adding value to the waste based productive chains. The objective of this study was to analyze which factors have implied obstacles for the exploration of the electricity and biofuels production from agricultural and livestock sources in Brazil (with the exception of sugarcane bagasse), based on economic, environmental, technological and regulatory aspects. In this view, the study was carried out from a bibliographical and documentary research, mainly in the areas of Sustainable Economy, Planning and Energy Efficiency, and Brazilian Farming, in order to answer the problem raised. The results pointed out that the greatest obstacles in this regard are not technical, but economic and political-institutional, including expenditures and logistical constraints that make the energy utilization of these wastes a process of complex economic viability in Brazil. It is needed to accelerate RD&I work to address this situation by working on two fronts: energy efficiency and increasing participation of renewable energy sources, thus subsidizing the formulation of public policies in the energy sector. Added to these factors is the need for an action in terms of increasing technical knowledge in rural areas, besides policies to overcome the lack of access to capital and logistical improvements.

**Keywords:** Electricity. Biofuels. Farming waste. Renewable sources. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de distribuição das principais fontes de biomassa por região no Brasil.....	39
Figura 2 – Aplicações de maior interesse do biogás e grau de refinamento necessário quanto ao uso.....	50
Figura 3 – Etapas da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.....	53
Figura 4 – Etapas da produção de bioetanol.....	56
Figura 5 – Rotas tecnológicas de conversão energética dos resíduos sólidos agropecuários.....	67
Figura 6 – Modelo de biodigestor e de produção do biogás.....	69
Figura 7 – Processo de produção do biodiesel por transesterificação.....	71
Figura 8 – Principais etapas de gaseificação e pirólise da biomassa residual.....	74
Figura 9 – Briquetes (a) e <i>pellets</i> (b) de resíduo florestal.....	75
Figura 10 – Etapas de transformação da matéria-prima em briquetes ou <i>pellets</i> .....	76
Figura 11 – Distribuição geográfica de UTE's à biomassa no Brasil.....	79
Figura 12 – Funcionamento de uma central termelétrica com uso do bagaço de cana-de-açúcar.....	83
Figura 13 – Funcionamento de centrais elétricas de mini e microgeração distribuída.....	100
Figura 14 – Processo de cogeração da indústria sucroalcooleira.....	101
Figura 15 – Distribuição da área de plantios florestais no Brasil.....	107
Figura 16 – Mapa agropecuário brasileiro.....	109
Figura 17 – Barreiras para o desenvolvimento de energias renováveis.....	117
Figura 18 – Etapas do processo de geração de eletricidade em UTE's a vapor.....	124

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Oferta interna de energia por fonte no Brasil (%), em 2015.....	36
Gráfico 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil (%), em 2015.....	37
Gráfico 3 – Série histórica da evolução da potência instalada elétrica no Brasil.....	37
Gráfico 4 – Emissões evitadas de CO <sub>2</sub> com uso dos biocombustíveis no Brasil, em 2016.....	48
Gráfico 5 – Potencial de produção de biogás de resíduos agropecuários no Brasil (l/kg <sub>sv</sub> ).....	51
Gráfico 6 – Evolução da produção nacional de etanol anidro e hidratado.....	54
Gráfico 7 – Distribuição percentual de etanol anidro e hidratado por região, em 2015.....	54
Gráfico 8 – Produção de biodiesel no Brasil (m <sup>3</sup> ).....	60
Gráfico 9 – Participação das regiões brasileiras na produção do biodiesel, em 2016.....	60
Gráfico 10 – Participação de matérias-primas na produção do biodiesel (%).....	61
Gráfico 11 – Fluxo de implantação, reativação e fechamento de UTE's à base de biomassa da cana no Brasil, 2005 a 2016.....	78
Gráfico 12 – Percentual da quantidade (a) e da potência instalada (b) de UTE's à biomassa no Brasil por UF.....	80
Gráfico 13 – Evolução da energia elétrica à biomassa injetada no SIN, 2010 a 2016.....	89
Gráfico 14 – Participação da biomassa na geração elétrica total, 2015/2016.....	93
Gráfico 15 – Biodiesel e diesel: preços médios de venda nos leilões, 2009 a 2016.....	94
Gráfico 16 – Potência instalada (kW) de geração distribuída por tipo de fonte, em 2016.....	98
Gráfico 17 – Geração distribuída: evolução anual.....	98
Gráfico 18 – Evolução da área plantada e da produção brasileira de grãos.....	104
Gráfico 19 – Percentual da produção de grãos no Brasil, em 2015.....	104
Gráfico 20 – Produção total de grãos por UF na safra 2014/2015.....	105

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos e fontes dos dados obtidos.....	30
Quadro 2 – Políticas públicas nacionais voltadas à eficiência energética.....	43
Quadro 3 – Emissões de biodiesel em comparação com o óleo diesel.....	58
Quadro 4 – Possibilidades de comercialização da energia elétrica produzida a partir de resíduos agropecuários no Brasil.....	86
Quadro 5 – Principais causas, impactos e medidas compensatórias ambientais na geração de eletricidade em UTE's no Brasil.....	125
Quadro 6 – Principais efeitos ambientais identificados e considerados na avaliação do ciclo de vida dos biocombustíveis.....	127
Quadro 7 – Arcabouço legal para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos agropecuários no Brasil.....	134
Quadro 8 – Síntese das principais políticas e órgãos inter-relacionados com energia e gestão de resíduos no Brasil.....	138
Quadro 9 – Síntese das análises econômica, ambiental, tecnológica e regulatória identificadas a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil.....	144

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil, em 2017.....	40
Tabela 2 – Síntese de indicadores de disponibilidade e poder calorífico de resíduos sólidos agrícolas selecionados.....	64
Tabela 3 – Energia primária disponível nos resíduos agropecuários distribuídos por região (ktep/a e %).....	64
Tabela 4 – UTE's à biomassa em operação no Brasil, em 2017.....	81
Tabela 5 – Potencial energético dos produtos e subprodutos da cana.....	85
Tabela 6 – Leilões de geração de energia elétrica à biomassa, 2005 a 2016.....	90
Tabela 7 – Unidades consumidoras com geração distribuída no Brasil, em 2016.....	97
Tabela 8 – UTE's à biomassa com cogeração de eletricidade em operação no Brasil, em 2017.....	102
Tabela 9 – Série histórica da produção pecuária brasileira (milhões de cabeças).....	108
Tabela 10 – Disponibilidade de resíduos agrícolas por região (Mt/a).....	111
Tabela 11 – Disponibilidade de resíduos florestais por região (Mt/a).....	113
Tabela 12 – Disponibilidade de resíduos pecuários por região (Mt/a).....	114
Tabela 13 – Faixas de custo nivelado da geração elétrica obtida a partir de fontes renováveis e outras não-renováveis.....	119

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

ABC	Agricultura de Baixa Emissão de Carbono
ABIB	Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável
ABIOGÁS	Associação Brasileira de Biogás e Biometano
ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APE	Autoprodutor de Energia
APROSOJA	Associação dos Produtores de Soja do Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCEAL	Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Livre
CCEAR	Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEET	Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CER	Certificados de Redução de Emissões
CFL	Clorofluorcarbono
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CH <sub>4</sub>	Metano
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COG	Centro de Operação da Geração
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento

COP	Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DOU	Diário Oficial da União
EAC	Etanol Anidro Combustível
EHC	Etanol Hidratado Combustível
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
HCl	Ácido Clorídrico
HFC	Hidrofluorcarbono
H <sub>2</sub> S	Sulfureto de Hidrogênio
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IRENA	International Renewable Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
kg/a	Quilograma por Ano
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por Metro Cúbico
kg/t	Quilograma por Tonelada
KOH	Hidróxido de Potássio
ktep/a	Quilotep por Ano
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
LA	Leilão de Ajuste
LER	Leilão de Energia de Reserva
LFA	Leilão de Fontes Alternativas
l/kg <sub>sv</sub>	Litro por Quilograma de Sólidos Voláteis
l/l	Litro por Litro

l/t	Litro por Tonelada
m	Metro
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia
Mbbl/dia	Mil Barris por Dia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MDSA	Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário
MJ	Megajoule
MJ/kg	Megajoule por Quilograma
MJ/l	Megajoule por Litro
Mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
Mt	Milhões de Toneladas
Mt/a	Milhões de Toneladas por Ano
Mtc	Milhões de Toneladas de Cana
Mtep	Megatep
MW	Megawatt
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NaOH	Hidróxido de Sódio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PEE	Programa de Eficiência Energética
PFC	Perfluorcarbono
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Produtor Independente de Energia Elétrica
P+L	Produção Mais Limpa
PNBB	Programa Nacional de Biogás e Biometano
PNE	Plano Nacional de Energia

PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNFP	Política Nacional de Florestas Plantadas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPT	Programa Prioritário de Termelétricidade
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCE	Redução Certificada de Emissões
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SCS	Selo Combustível Social
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de Enxofre
SIN	Sistema Interligado Nacional
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Enxofre
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
tBbs	Tonelada de Biomassa em Base Seca
tCO <sub>2</sub> eq	Tonelada de Dióxido de Carbono Equivalente
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
tep/a	Tonelada Equivalente de Petróleo por Ano
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão
TWh	Terawatt-hora
UF	Unidade Federativa
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar

UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
US\$	Dólar Americano
UTE	Usina Termelétrica de Energia
WBA	World Bioenergy Association
WEC	World Energy Council

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	23
1.2. OBJETIVOS .....	27
<b>1.2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>27</b>
1.3. METODOLOGIA .....	28
<b>1.3.1. Métodos da Pesquisa .....</b>	<b>28</b>
<b>1.3.2. Natureza e Fonte dos Dados .....</b>	<b>29</b>
<b>1.3.3. Análise dos Dados Obtidos .....</b>	<b>31</b>
<b>2. A IMPORTÂNCIA DO SETOR ENERGÉTICO .....</b>	<b>33</b>
2.1. PLANEJAMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	42
2.2. CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL .....	46
<b>2.2.1. Biogás e Biometano .....</b>	<b>48</b>
<b>2.2.2. Etanol e Bioetanol .....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.3. Biodiesel .....</b>	<b>57</b>
<b>3. ENERGIA PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS .....</b>	<b>63</b>
3.1. ROTAS TECNOLÓGICAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS .....	67
<b>3.1.1. Digestão Anaeróbica .....</b>	<b>68</b>
<b>3.1.2. Transesterificação .....</b>	<b>70</b>
<b>3.1.3. Pirólise .....</b>	<b>71</b>
<b>3.1.4. Gaseificação .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.5. Briquetagem e Peletização .....</b>	<b>74</b>
<b>3.1.6. Combustão Direta .....</b>	<b>77</b>
3.2. POSSIBILIDADES DE COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA A PARTIR DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS .....	85
<b>3.2.1. Mercado Livre .....</b>	<b>87</b>
<b>3.2.2. Mercado Regulado: Leilões .....</b>	<b>88</b>
<b>3.2.3. Autoprodução e Produção Independente .....</b>	<b>94</b>
<b>3.2.4. Geração Distribuída e Compensação .....</b>	<b>95</b>

<b>4. ATIVIDADE AGROPECUÁRIA NO BRASIL .....</b>	<b>103</b>
4.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO ATUAL .....	103
4.2. DIAGNÓSTICO DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS .....	110
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>115</b>
5.1. ANÁLISE DE FATORES ECONÔMICOS .....	118
5.2. ANÁLISE DE FATORES AMBIENTAIS .....	122
5.3. ANÁLISE DE FATORES TECNOLÓGICOS .....	130
5.4. ANÁLISE DE FATORES REGULATÓRIOS .....	131
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>141</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>149</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As discussões sobre as questões energéticas tornam-se cada vez mais importantes na agenda de planejamento tanto dos países desenvolvidos, como dos países em desenvolvimento, por se tratar de um pré-requisito para o progresso tecnológico e para o crescimento econômico (PAGEL; CAMPOS; SCARPATI, 2016).

O atual cenário mundial mostra que o mercado de energia ecoa fortemente na quase totalidade das atividades humanas e ainda se encontra extremamente dependente da geração e utilização de energia a base de combustíveis fósseis, e de empreendimentos que imputam grandes impactos ao ecossistema natural (SILVA, 2006), exigindo cada vez mais o desenvolvimento de fontes alternativas e sustentáveis. Nesse contexto, novas fontes, principalmente, renováveis, surgem como alternativa fundamental para superar a futura escassez de fontes de energia não-renovável e a poluição ambiental causada por estas. Todavia, a poluição ambiental não é um problema enfrentável somente através de alternativas tecnológicas mais brandas, limpas, ou menos impactantes, mas também de tecnologias com base no reaproveitamento (LINO; ISMAIL, 2011).

Segundo Sen e Ganguly (2017), independente do consenso de que as fontes renováveis de energia são as melhores alternativas à mitigação do problema das mudanças climáticas, elas também são alternativas locais e complementares que deverão, em longo prazo, melhorar a eficiência energética e reduzir custos de tarifas se forem acompanhadas de políticas fiscais mais igualitárias.

Para Aquila e outros (2017), as novas fontes alternativas energéticas, possuem altos nichos de mercado, visando suprimento local, regional e de atividades econômicas específicas, mas precisam de maiores investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Ainda segundo os autores, existe um campo de intervenção governamental muito amplo neste setor com o objetivo de promover a regulamentação, o financiamento e a comercialização.

No Brasil, o desenvolvimento das fontes alternativas tem um longo histórico. Segundo Campos e Moraes (2012), os eventos do aumento abrupto de preços do barril de petróleo, na década de 1970, denominados “Choques do Petróleo”, estimularam o investimento em novas tecnologias capazes de substituir o consumo de seus

derivados e prover o maior aproveitamento dos recursos renováveis disponíveis no país. Outro estímulo nesta direção foi o *déficit* de disponibilidade de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), conhecido como “Crise de Energia de 2001/2002”. Dentre as importantes repercussões deste acontecimento que teve grande impacto na economia brasileira e nos hábitos de consumo de energia da população, destaca-se o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o PROINFA, estabelecido através da Lei nº 10.438/2002, alterado pela Lei nº 10.762/2003 (BRASIL, 2002a; 2003) e regulamentado pelos Decretos nº 4.541/2002 e nº 5.025/2004 (BRASIL, 2002b; 2004b), que tem como objetivo incentivar a geração descentralizada de energia e a promoção da diversificação da matriz elétrica brasileira, através da utilização de fontes renováveis de suprimento no SIN.

De acordo com Abdullah; Agalgaonkar e Muttaqi (2014) e Sen e Ganguly (2017), o aumento das tecnologias de geração de energia renovável é uma das principais estratégias de mitigação para atingir as metas de redução de Gases de Efeito Estufa<sup>1</sup> (GEE).

A importância que o aspecto ambiental do setor energético adquiriu nos últimos anos, confirmada, por exemplo, pela posição do governo brasileiro na COP-15<sup>2</sup> (15ª Conferência das Partes da Conferência-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima), na COP-21<sup>3</sup> e no Pós-Kyoto<sup>4</sup>, mostra o real papel da manutenção de um percentual alto de fontes renováveis na matriz energética brasileira.

---

<sup>1</sup>Principais GEE e percentuais de contribuição para o aquecimento global: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 60%; Metano (CH<sub>4</sub>) 20%; Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) 6%; demais gases como Clorofluorcarbono (CFC), Hidrofluorcarbonetos (HFC's), Perfluorcarbono (PFC) e Hexanofluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>) 14% (CETESB, 2017).

<sup>2</sup>COP-15: também chamada de Conferência de Copenhague ou Acordo de Copenhague. Foi realizada pela ONU em 2009, em Copenhague, na Dinamarca, e reuniu líderes mundiais de 192 países para discutir sobre como reagir às mudanças climáticas. Nem todos os países signatários aderiram ao acordo ratificado, relutando em assumir as ações propostas. O Brasil se responsabilizou pela redução de suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9%, até 2020, estimando um volume de redução em torno de 1 bilhão de tCO<sub>2</sub>eq (MMA, 2017).

<sup>3</sup>COP-21: também chamada de Conferência de Paris ou Acordo de Paris. Foi realizada pela ONU em 2015, em Paris, na França, onde reuniu líderes mundiais de 195 nações e gerou um novo acordo aprovado por todos os países signatários para diminuir a emissão de GEE e limitar o aumento da temperatura global em 2°C, até 2100. O Brasil se responsabilizou pela redução de suas emissões de GEE em 37%, até 2025, e em 43%, até 2030 (MMA, 2017). Em junho de 2017, o governo dos Estados Unidos (2º maior emissor mundial de CO<sub>2</sub>) anunciou a saída do acordo, alegando que este tem trazido desvantagens econômicas para o país. A decisão tomada coloca o país ao lado de Síria e Nicarágua como as únicas nações mundiais a não participarem do acordo.

<sup>4</sup>Pós-Kyoto: novo acordo global iniciado em 2013, que envolve mitigação, adaptação, transferência de tecnologias e financiamentos necessários no combate às mudanças climáticas. O Brasil se compromete em reduzir suas emissões de GEE em 80%, até 2020, estimando um volume de redução em torno de

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015a), o Brasil é um dos países com maior participação das fontes renováveis em sua matriz e, conseqüentemente, com baixos níveis de emissões de GEE oriundas das usinas que compõem o SIN – despachadas de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Esta característica, segundo Lins e outros (2012) é mantida graças a incentivos do governo em produzir energia a partir de fontes alternativas, com especial ênfase em eólica, pequenas centrais hidrelétricas e bagaço de cana-de-açúcar.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007; 2012), a partir das últimas décadas, vários fatores têm contribuído para aumentar a importância das fontes alternativas e renováveis de energia no mundo, dentre os quais destacam-se: o questionamento dos efeitos do uso dos derivados do petróleo sobre o meio ambiente; o Protocolo de Kyoto<sup>5</sup> ao traçar a política dos países sobre o meio ambiente; a instabilidade dos países do Oriente Médio e a necessidade dos países de reduzir a dependência do petróleo; os baixos preços das *commodities* e a busca de alternativas agrícolas e as possibilidades de geração de empregos.

Isso tem aberto oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica como a proveniente a partir de resíduos sólidos, por exemplo, venham a ser implantados, promovendo a solução de alguns problemas, a destacar o destino dos resíduos para alguns fins controlados, a geração de emprego para pessoas de baixa renda, o estímulo à reciclagem, entre outros. Os resíduos configuram-se como matérias-primas/insumos potenciais para uma nova produção ou fonte de energia. Sob esta perspectiva, Castaldi (2014) afirma que o atual aumento da atenção para os impactos ambientais das atividades humanas e a crescente demanda por energia, resultaram em uma nova perspectiva sobre os fluxos de resíduos. Neste campo, o uso dos resíduos destinados à valorização energética como fonte alternativa, tem se tornado cada vez mais prevalente, especialmente nos países desenvolvidos.

---

5 bilhões de tCO<sub>2</sub>eq, bem como, a criação de indicadores que permitam medir a emissão e o sequestro de carbono (MMA, 2017).

<sup>5</sup>Protocolo de Kyoto: primeiro tratado internacional para redução das emissões de GEE, anunciado em 1997, na COP-3, realizada pela ONU em Kyoto, no Japão. Entrou em vigor em 2005, ratificado por 128 dos 192 países signatários, estabelecendo como meta a redução mundial das emissões de CO<sub>2</sub> em 5,2% a partir de 2008 (MMA, 2017).

## 1.1. JUSTIFICATIVA

É notória a importância do estímulo quanto ao uso de fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira, justificada pela larga utilização de fontes fósseis poluentes; pela possibilidade de desenvolvimento econômico e social de regiões desfavorecidas; pelos ganhos ambientais provenientes de sua utilização, entre outros fatores.

De acordo com Lino e Ismail (2011), os métodos convencionais de produção e utilização de energia, normalmente incorporam impactos ambientais nocivos, e, portanto, há o desafio para pesquisadores e cientistas em procurarem mecanismos de produção e utilização de energia que sejam menos prejudiciais, ou ainda, livre dos impactos ambientais indesejados. Sob este aspecto, evidencia-se o potencial energético de uma variedade de fontes, como: resíduos da agricultura, de culturas da pecuária, da silvicultura, e das indústrias de beneficiamento, como a indústria de alimentos e bebidas, papel e celulose, e madeireira e moveleira.

Analisada sob a ótica da economia sustentável, a inserção de novos modelos de geração de energia elétrica e biocombustíveis, como a proveniente a partir de resíduos sólidos agropecuários se configura, em princípio, como um ganho incontestável tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente, e é com base nesses ganhos que esta pesquisa se justifica. A saber, o aproveitamento energético destes resíduos disponibiliza uma fonte de energia primária<sup>6</sup>, renovável<sup>7</sup> e alternativa<sup>8</sup>. Além disso, a valorização e a minimização de resíduos são estratégias dos modelos de gestão em “Produção Mais Limpa” (P+L), que buscam a maior sustentabilidade nos sistemas produtivos, através da redução no consumo de energia, do uso racional dos recursos e da redução dos impactos ambientais negativos (ABIB, 2015).

Neste campo, estudos já realizados pela EPE (2014a; 2014b) mostram que os resíduos agropecuários, definidos pela Lei nº 12.305/2010 como aqueles gerados

---

<sup>6</sup>Energia primária: produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica, etc. (CAMPOS; MORAES, 2012).

<sup>7</sup>Energia renovável: é resultante de um fluxo contínuo, estoque repostado. Dependendo da forma de utilização pode ser considerada infinita (CAMPOS; MORAES, 2012).

<sup>8</sup>Energia alternativa: é uma alternativa de geração de energia através de fonte não convencional. A tecnologia utilizada na produção desta energia não é considerada o *mainstream* da área de energia, sendo que, encontra-se em estágio de desenvolvimento (CAMPOS; MORAES, 2012).

pelas atividades produtivas agrícolas, florestais e pecuárias (BRASIL, 2010a), têm um grande potencial energético. Os resíduos agrícolas são aqueles produzidos no campo, resultantes das atividades de colheita dos produtos agrícolas. Os resíduos florestais são aqueles gerados e deixados na floresta como resultado das atividades de extração madeireira. Os resíduos da pecuária são constituídos por estercos e outros produtos resultantes da atividade biológica de rebanhos. Junto a propriedades onde há intensa atividade agrícola, florestas e pecuarista, ocorre a disponibilidade destes resíduos, caracterizando-as como áreas potencialmente energéticas.

Do ponto de vista energético, esses resíduos podem ser utilizados pelo produtor rural ou agroindústria para a queima direta, visando à produção de calor (sob processos térmicos), eletricidade (sob processos mecânicos e térmicos) ou na forma de biocombustíveis (sob processos bioquímicos e termoquímicos), como o biogás e o bioetanol, por exemplo (GE et al., 2014).

A reutilização destes apresenta um mecanismo favorável para otimizar o uso de energia, incluindo como benefícios adicionais a não exploração e utilização de matérias-primas exauríveis para a geração de eletricidade (como petróleo, gás natural, urânio, etc.), bem como, emissões evitadas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Além disso, culmina na abertura de postos de trabalho para trabalhadores rurais não qualificados, contribuindo para um ciclo virtuoso de aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, geração de receitas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural (CALLÉ; BAJAY; ROTHMAN, 2005; SILVA et al., 2014b). Todavia, a implantação dependerá da disponibilidade dos recursos energéticos existentes em cada região.

No Brasil, a questão do aproveitamento energético dos resíduos agropecuários está condicionada à disponibilidade destes, decorrente da grande produção agrícola, florestal e pecuarista que o país detém. Menciona-se que estudos neste sentido começam a ser desenvolvidos de forma mais consistente, frente às expectativas da valorização destes resíduos para diversas aplicações sustentáveis.

Segundo Tolmasquim (2016), em 2015, o potencial estimado de Geração Centralizada<sup>9</sup> de eletricidade oriunda de resíduos agropecuários, foi da ordem de 136 TWh. Ainda segundo o autor, estima-se que esse mesmo potencial, aumente para 231

---

<sup>9</sup>Empreendimentos termelétricos com 5 MW ou mais de capacidade instalada.

TWh em 2030, e para 348 TWh em 2050. Porém, o que se depreende é que boa parte dos resíduos agropecuários ainda não são aproveitados, o que significa um desperdício considerável em termos energéticos.

Além disso, como resultado da “Crise de Energia de 2001/2002” que o Brasil enfrentou por falta de investimentos na geração de energia elétrica, desde então, medidas têm sido tomadas para incentivar a geração descentralizada de energia e também a geração de energia proveniente de fontes alternativas (PROINFA, Geração Distribuída, etc.). Vale ressaltar também, o caráter complementar à fonte hidráulica que este tipo de fonte adquire, quando utilizada em termelétricas, em períodos nos quais o nível dos reservatórios das grandes usinas hidrelétricas é baixo, tornando-se um suplemento ao SIN.

No entanto, todo o potencial energético disponível nos resíduos agropecuários ainda não tem sido suficientemente explorado. Dessa forma, questiona-se: **quais os principais fatores que imputam obstáculos para que a produção de eletricidade e biocombustíveis, a partir de fontes sólidas residuais agropecuárias, ainda não tenha sido suficientemente explorada no Brasil (exceto bagaço da cana-de-açúcar), tomando como base aspectos econômicos, ambientais, tecnológicos e regulatórios?**

Há diversas hipóteses que tentam explicar por que essa fonte energética ainda não conseguiu alcançar notório nicho de mercado, apesar do grande potencial apontado pela EPE. Todavia, até o momento, não houve um levantamento e uma sistematização de informações sobre as razões que contribuem para que o seu uso não fosse difundido.

Visando responder a este questionamento, este trabalho encontra-se estruturado em quatro capítulos. Na seção 1, Introdução, uma abordagem acerca da temática é realizada e a justificativa apresentada. O objeto de estudo investigado é levantado e os objetivos geral e específicos são delimitados, visando responder ao problema de pesquisa surgido. São especificados no item metodologia, os materiais coletados e os métodos utilizados no decorrer de toda a pesquisa e para o desenvolvimento deste trabalho.

No Capítulo 2, reflexões iniciais acerca da importância do setor energético são evidenciadas. Elucidam-se os conceitos de bioenergia e agroenergia. Questões voltadas ao planejamento do setor energético – custo mínimo de geração, máxima

eficiência da fonte disponível, mínimo custo ambiental, disposição adequada de material e políticas públicas –, ambas ligadas à biomassa residual, são debatidas nos subitens que integram este capítulo. Além disso, um panorama atual da produção de biocombustíveis no Brasil é apresentado neste capítulo.

No Capítulo 3, considerações sobre o aproveitamento energético dos resíduos sólidos agropecuários são apresentadas, incluindo o Estado da Arte da tecnologia disponível no mercado, bem como as possibilidades de comercialização da energia produzida a partir de fontes residuais. Além disso, duas importantes formas inovadoras de geração de energia são caracterizadas: as modalidades de mini e microgeração distribuída.

No Capítulo 4, um panorama acerca do setor agropecuário brasileiro é realizado, visando evidenciar o enorme potencial agrícola, florestal e pecuário que o país detém na atualidade. Analisa-se, também, a disponibilidade dos resíduos sólidos gerados por este setor.

Em seguida, no Capítulo 5, são apresentados os resultados e a discussão dos assuntos evidenciados no trabalho. Caracterizam-se neste capítulo, os cenários econômico, ambiental, tecnológico e regulatório da indústria de energia elétrica e de biocombustíveis. Para tanto, foram realizadas as seguintes análises: principais dispêndios, entraves e/ou barreiras econômicas encontrados no atual estágio produtivo; os impactos ambientais positivos e negativos gerados pelo setor energético em sua cadeia de processamento e transformação; as principais tecnologias empregadas até o momento e daquelas que fazem parte da esfera de inovações tecnológicas propostas para viabilizar a melhora do aproveitamento; e o levantamento da legislação existente para o setor, identificando políticas governamentais de incentivo e eventuais conflitos regulatórios que obstaculizam a produção e a comercialização da agroenergia produzida no Brasil, resultantes da adoção de fontes sólidas residuais agropecuárias como combustível energético.

Por fim, são elencadas na seção 6, Considerações Finais, as conclusões obtidas e a contribuição esperada a partir da realização deste estudo, bem como, sugestões de pesquisas futuras.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Analisar quais fatores têm imputado obstáculos aos resíduos sólidos agropecuários de serem fontes promissoras e altamente potenciais na produção de energia elétrica e de biocombustíveis no Brasil, tomando como base aspectos econômicos, ambientais, tecnológicos e regulatórios.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral supramencionado, foram adotados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e quantificar o potencial energético dos resíduos da atividade agropecuária no Brasil;
- Identificar os principais aspectos econômicos envolvidos na produção de energia a partir de fontes residuais agropecuárias no Brasil;
- Identificar os impactos ambientais positivos e negativos resultantes do uso dessa fonte energética;
- Identificar o Estado da Arte das tecnologias de aproveitamento energético de resíduos, e daquelas com destaque na área de P&D;
- Levantar o arcabouço legal brasileiro e avaliar os aspectos regulatórios da produção e comercialização da energia a partir de resíduos no Brasil;
- Analisar os desafios e oportunidades da produção de energia elétrica e biocombustíveis a partir de resíduos sólidos agropecuários brasileiros.

## 1.3. METODOLOGIA

### 1.3.1. Métodos da Pesquisa

Ao se desenvolver uma pesquisa, é indispensável selecionar o(s) método(s) ou procedimento(s) de investigação da pesquisa a se utilizar (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), tais como: pesquisa de campo, *ex post facto*<sup>10</sup>, bibliográfica, documental, participante, pesquisa-ação, dentre outras. Para a realização desta pesquisa, foram utilizados como métodos os tipos: bibliográfica e documental.

A pesquisa bibliográfica, que fornece instrumento analítico para qualquer outro tipo de pesquisa e permite a investigação em materiais já identificados (RODRIGUES, 2007), apoiou esta pesquisa com base em material secundário acessível ao público em geral, organizados em livros, jornais, relatórios, artigos e revistas científicas especializadas, redes eletrônicas (*Internet*), teses, dissertações e outros meios de comunicação, contribuindo, assim, para o desenvolvimento da fundamentação teórica da dissertação, com a finalidade de revisar a literatura nacional e internacional produzida no campo disciplinar relativo à problemática em estudo, especialmente no que tange à temática de produção de eletricidade e biocombustíveis a partir de fontes primárias, alternativas e renováveis, visando a diversificação sustentável da matriz elétrica brasileira e, evidenciando neste caso, a utilização dos resíduos sólidos agropecuários para tal fim.

O segundo tipo de pesquisa utilizada, documental, definida por Farias Filho e Arruda Filho (2013) como a investigação realizada com pessoas ou em documentos de qualquer natureza, contemporâneos ou retrospectivos, de caráter público ou privado, e considerados cientificamente autênticos (não-fraudados), tais como: registros, regulamentos, portarias, decretos, circulares, ofícios, memorandos, relatórios de empresas, manuais internos de procedimento, comunicações informais, etc., contribuíram para a realização da investigação proposta, complementando e comparando informações e dados advindos de outras fontes. A análise documental, segundo Lüdke e André (1986, p. 38), “constitui uma técnica valiosa de abordagem dos dados qualitativos, seja complementando informações obtidas por outras

---

<sup>10</sup>Investiga relações de causa e efeito de um determinado fato já ocorrido.

técnicas, seja desvelando aspectos novos de um tema ou problema”. Esse método de pesquisa teve fundamental importância para a caracterização do estudo, através da análise das políticas, planos e programas nacionais de incentivo e estímulo à utilização de fontes renováveis e alternativas, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável do setor energético no país.

### **1.3.2. Natureza e Fonte dos Dados**

De acordo com Martins (2006), quanto à sua natureza, os dados de uma pesquisa podem ser classificados como primários ou secundários. Os dados primários se referem àqueles colhidos diretamente na fonte, ou seja, coletados em campo pelo próprio pesquisador para responder ao problema de pesquisa; enquanto os dados secundários são aqueles já coletados ou tratados para determinado fim, organizados em livros, jornais, relatórios, *Internet*, bancos de dados, entre outros (MARTINS, 2006). Para tanto, optou-se por serem utilizados no desenvolvimento desta pesquisa os dados classificados como secundários, provenientes de meios físicos ou eletrônicos.

Quanto aos tipos dos dados e procedimento de levantamento de materiais, obras de referência no assunto, tais como livros, teses, dissertações, relatórios, atlas, anuários, manuais, artigos de periódicos, de jornais, de revistas científicas, etc., de natureza públicas ou privadas, classificadas em bibliotecas convencionais, impressas em editoras e/ou extraídas de endereços eletrônicos, disponibilizados em *home pages* e sítios, foram os principais instrumentos de coleta de informações no que concerne à pesquisa bibliográfica.

No Brasil, diversos estudos e pesquisas evidenciam o potencial energético de uma variedade de fontes. Podem ser citados os seguintes: Plano Nacional da Agroenergia, Anuário Estatístico da Agroenergia, Planos Agrícolas e Pecuários, ambos desenvolvidos pelo MAPA (2006; 2015a; 2015b; 2016); Atlas de Bioenergia do Brasil, desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2012); Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA, 2012); Inventário Energético de Resíduos Rurais, elaborado pela EPE (2014b), dentre outros. É com base nestes estudos e em demais publicações provenientes de

instituições referenciadas na área de pesquisa e regulação da energia que esta pesquisa foi realizada.

Arquivos e documentos oficiais de natureza pública, tais como leis e decretos da Presidência da República publicados no Diário Oficial da União (DOU), a Constituição Federal, resoluções, portarias, planos nacionais, etc., disponibilizados pelas esferas municipal, estadual ou federal em meios físicos e/ou eletrônicos, foram os principais instrumentos de coleta de informações no que concerne à pesquisa documental.

Assim, os materiais levantados pelos métodos de pesquisa bibliográfica e documental, provenientes de bancos de dados de associações nacionais e internacionais, ministérios, centros especializados, empresas privadas, e instituições de pesquisa e regulação, dos setores energético (EPE; ANEEL; ANP; IPEA; MME), ambiental (MMA; IRENA; ABRELPE) e agropecuário (MAPA; EMBRAPA; CEMIG; CONAB), serviram de apoio para a etapa de obtenção dos dados necessários ao estudo, a qual é definida por Gerhardt e Silveira (2009, p. 68) como “a busca por informações para a elucidação do fenômeno ou fato que o pesquisador quer revelar”.

Dessa forma, são discriminados no Quadro 1 os métodos e as principais fontes dos dados utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Por conseguinte, os dados obtidos foram analisados, processados e tratados com vistas a responder o problema de pesquisa levantado.

### Quadro 1 – Métodos e fontes dos dados obtidos

(continua)

Objetivo Específico	Obtenção dos dados	
	Método(s)	Dados e Instituições/Legislações
Identificar e quantificar o potencial energético dos resíduos da atividade agropecuária no Brasil.	- Pesquisa bibliográfica.	- Estimativas da produção agropecuária atual e perspectivas de crescimento do setor (MAPA; IPEA; CONAB; APROSOJA; ABIB; UNICA); - Perfil da distribuição geográfica agropecuária ao longo do território nacional (IBGE); - Percentuais da energia primária mapeada oriunda de resíduos (EPE).
Identificar os principais aspectos econômicos envolvidos na produção de energia a partir de fontes residuais agropecuárias no Brasil.	- Pesquisa bibliográfica.	- Principais custos associados ao longo da cadeia de produção energética a partir de fontes residuais agropecuárias (EPE; EMBRAPA; MME, CEMIG).
Identificar os impactos ambientais positivos e negativos resultantes do uso dessa fonte energética.	- Pesquisa bibliográfica; - Pesquisa documental.	- Impactos positivos (diminuição das emissões de GEE; destinação final controlada dos resíduos; etc.) e impactos negativos (necessidade de armazenamento dos resíduos, culminando na proliferação de vetores, patógenos, odores, etc.) (ABRELPE; CENBIO; IRENA; MMA; Lei nº 12.305/2010).

### Quadro 1 – Métodos e fontes dos dados obtidos

(conclusão)

Objetivo Específico	Obtenção dos dados	
	Método(s)	Dados e Instituições/Legislações
Identificar o Estado da Arte das tecnologias de aproveitamento energético de resíduos, e daquelas com destaque na área de P&D.	- Pesquisa bibliográfica.	- Processos com alta maturidade tecnológica de conversão energética de resíduos disponíveis no Brasil atualmente, bem como, aqueles que se encontram em estágio de desenvolvimento (EPE; CEMIG; UNIDO; ANP).
Levantar o arcabouço legal brasileiro e avaliar os aspectos regulatórios da produção e comercialização da energia a partir de resíduos no Brasil.	- Pesquisa bibliográfica;  - Pesquisa documental.	- Medidas e ações de fomento à produção da agroenergia, contidas nos Planos Nacionais de Agroenergia (MAPA) e de Eficiência Energética (MME); - Critérios estabelecidos sobre as especificações de produtos energéticos e suas formas de comercialização no país (ABRACEEL; CGEE; CNPE; ANP; ANEEL; ABNT; Leis nºs 11.295/2000, 10.762/2002, 10.848/2004, 11.097/2005, 13.033/2014, 13.263/2016; Resoluções Normativas nºs 482/2012 e 687/2015; etc.).
Analisar os desafios e oportunidades da produção de elétrica e biocombustíveis a partir de resíduos sólidos agropecuários brasileiros.	- Pesquisa bibliográfica;  - Pesquisa documental.	EPE; CEMIG; CGEE; ABRELPE; ABIOGÁS; AMBIENTE ENERGIA; Tolmasquim, 2016; Caputo et al., 2005; Rentizelas, Tolis e Tatsiopoulos, 2009; Felfli et al., 2011; Sultana, Kumar e Harfiel, 2010; Castro, Brandão e Dantas, 2010; Gold e Seuring, 2011; Oliveira, 2011; Palácio et al., 2012; Farias, 2010; Wahlen, Willis e Seefeldt, 2011; Wiecheteck, 2009; Oliveira e Rosa, 2003; Oliveira, Henriques e Pereira Jr., 2010; Anastácio, 2010; Batista, 2014; Bley Jr. et al., 2009; Callé, Bajay e Rothman, 2005; Carvalho, 2009; Cheng e Timilsina, 2011; Cremones et al., 2015; Farret, 2014; Ge et al., 2014; Gog et al., 2012; Li, Park e Zhu, 2011; Liu, Liao e Liu, 2016; Nogueira, 2012; Paula et al., 2011; Rosa et al., 2011; Sarkar et al., 2012; Suarez et al., 2009; Wang et al., 2008; etc.

Fonte: Elaboração própria.

#### 1.3.3. Análise dos Dados Obtidos

Segundo Gerhardt e Silveira (2009), uma vez que os dados foram obtidos pelo pesquisador, faz-se necessário analisar/verificar se estes respondem aos resultados esperados pelas questões da pesquisa. Esta etapa de análise, de acordo com as autoras, consiste em uma técnica de pesquisa e, como tal, tem determinadas características metodológicas: objetividade, sistematização e inferência. Objetiva a verificação empírica das informações e a interpretação dos fatos não cogitados

inicialmente, revendo ou afinando as questões do estudo, para que, ao final, o pesquisador seja capaz de propor modificações e sugerir pesquisas futuras.

Sendo assim, nesta etapa, os dados obtidos foram analisados a partir de leituras exploratória, analítica e interpretativa (GIL, 2002). Num primeiro momento, entre os materiais disponíveis, foram selecionadas as informações mais relevantes para a pesquisa, mediante a leitura exploratória de diversos materiais e documentos sobre a temática. A leitura analítica e interpretativa possibilitou, num segundo momento, a organização das informações (estruturação e formulação de respostas).

Por conseguinte, as etapas finais de processamento e de tratamento dos dados foram realizadas, a fim de que se pudesse refinar as informações coletadas pertinentes ao alcance dos objetivos da pesquisa, com vistas a responder o problema levantado. Na etapa de processamento foi feito um estudo sistemático dos dados analisados, com o objetivo de ordená-los e classificá-los em uma sequência lógica. Na etapa de tratamento, os dados já processados foram trabalhados, permitindo que suas informações fossem interpretadas à luz do estudo.

Neste campo, Gil (2002) ressalta que as etapas de análise, processamento e tratamento dos dados são fundamentalmente interativas, pois o pesquisador elabora pouco a pouco uma explicação lógica do fenômeno ou situação estudados. Ainda segundo o autor, essas etapas possuem um caráter pragmático constituído de um processo formal e sistemático, mediante o emprego de métodos científicos, que tem por objetivo fundamental, descobrir respostas para problemas.

Isto posto, são evidenciadas no Capítulo 2, reflexões iniciais acerca da importância do setor energético, enquanto setor estratégico que estimula o crescimento econômico de um país, gerando emprego e renda e fornecendo insumo básico (energia) para inúmeras atividades produtivas. Elucidam-se os conceitos de bioenergia e agroenergia. Questões voltadas ao planejamento do setor energético são debatidas nos subitens que integram este capítulo. Além disso, um panorama atual da produção de biocombustíveis no Brasil é apresentado.

## 2. A IMPORTÂNCIA DO SETOR ENERGÉTICO

A questão energética tem um significado bastante relevante no contexto ambiental e na busca pelo Desenvolvimento Sustentável. Na verdade, ela tem influenciado muito as mudanças de paradigma que ocorrem na humanidade, principalmente por dois motivos. O primeiro deles, porque o suprimento eficiente e confiável de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico. Portanto, deveria ser natural que a questão energética – juntamente de outros serviços que integram a infraestrutura, como transporte, telecomunicações e saneamento – fizesse parte da agenda estratégica de todos e qualquer país. Segundo, porque vários problemas e desastres ecológicos e humanos das últimas décadas têm relação direta com o suprimento de energia, oferecendo assim motivação e argumentos em favor do Desenvolvimento Sustentável (REIS, 2011; RAY et al., 2016).

A questão energética tem ocupado uma posição central na agenda ambiental global. Isso porque a matriz energética mundial ainda é altamente dependente de combustíveis fósseis, cuja queima contribui para aumentar rapidamente a concentração de GEE na atmosfera. Paralelamente, porém, pode-se dizer que a importância da busca de maior eficiência energética e da transição para o uso de recursos primários renováveis tem sido ressaltada em qualquer avaliação sobre o setor energético, em um cenário muito mais amplo, no qual obviamente se insere o aquecimento global.

Embora tenha se transformado rapidamente durante os últimos anos, o setor elétrico, segundo Reis (2011), deverá ainda sofrer grandes mudanças no futuro, não só devido a mudanças ambientais e modificações dos mercados, mas também devido a políticas energéticas que já estão redirecionando o desenvolvimento tecnológico do setor. Isso, por sua vez, gera novas transformações internas de caráter competitivo e gerencial.

De forma geral, as políticas energéticas voltadas ao Desenvolvimento Sustentável hoje defendidas, seguem determinadas linhas de referência básica (REIS, 2011):

- Almeja-se diminuir o uso de combustíveis fósseis e aumentar a utilização de tecnologias e combustíveis renováveis. O objetivo é alcançar uma matriz energética renovável a longo prazo;

- Necessita-se aumentar a eficiência do setor energético, desde a produção até o consumo;
- O desenvolvimento de tecnologias alternativas e ambientalmente benéficas para o setor energético, incluindo melhorias nas atividades de produção e de materiais para o setor e exploração de combustíveis;
- Políticas energéticas precisam ser redefinidas de forma a favorecer a formação de mercados para tecnologias ambientalmente benéficas e a cobrar os custos ambientais de alternativas não sustentáveis;
- Incentiva-se o uso de combustíveis menos poluentes.

Na organização mundial atual, a energia pode ser considerada um bem de necessidade básica. Neste campo, segundo Reis (2011, p. 76):

Sem uma fonte de energia de custo aceitável e de credibilidade garantida, a economia de uma região não pode desenvolver-se plenamente, tampouco o indivíduo e a comunidade podem ter acesso apropriado a diversos serviços essenciais ao aumento da qualidade de vida, tais como educação, saneamento e saúde.

Segundo Gianetti e outros (2013), as reflexões acerca do Desenvolvimento Sustentável no Brasil, como forma alternativa de desenvolvimento, são apresentadas e discutidas com base em avaliações publicadas desde 1987. Desde então, ao longo dos anos, este tem passado por processos de refinamento, rediscussão e evolução conceitual e o debate ainda se intensifica em diferentes fóruns, com o objetivo de provocar reflexão que privilegie a construção de novas visões.

Sob a institucionalizada ideia de Desenvolvimento Sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), em junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro, mais conhecida como a “Cúpula da Terra” ou “Rio 92”. A CNUMAD gerou os seguintes documentos: Convenções sobre a Biodiversidade, Desertificação e Mudanças Climáticas, uma declaração sobre as florestas, a Declaração do Rio sobre Ambiente e Desenvolvimento e, por último, a Agenda 21. Vinte anos após, na Rio+20, conferência realizada pela ONU novamente na cidade do Rio de Janeiro, os compromissos assumidos passariam a incluir também o aumento do acesso à energia limpa; a melhoria da eficiência energética; e a ampliação do uso de energias renováveis (CAROLINO; CAMPOS, 2014).

Tomando por base os compromissos assumidos na Rio+20 e a configuração do atual cenário energético brasileiro, algumas visões neste sentido podem ser reportadas: Strantzali e Aravossis (2016) argumentam que num contexto de crise ambiental, a exploração eficiente de energia “limpa”, pode efetivamente aliviar a crise energética e contribuir para a redução de emissões de gases poluentes e, conseqüentemente, mitigar impactos ambientais, promovendo assim o Desenvolvimento Sustentável. Becker e Raza (1999); Alves e Urtubey (2010) afirmam que a expansão acentuada do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, remete a aspectos negativos. O primeiro deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia. Outro, é o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade. Finalmente, como terceiro, são os elevados investimentos exigidos na construção de novas usinas.

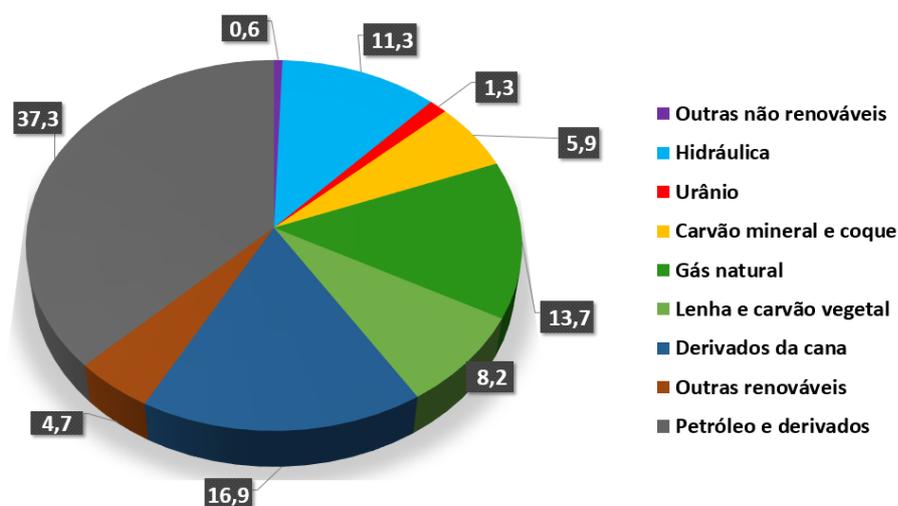
Ainda neste campo, a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO, 2016, p. 4) descreve que:

Provavelmente o problema mais grave de conservação com o que se enfrentam os países em desenvolvimento é o atraso do desenvolvimento rural. Na luta por alimentos e combustível foram cortadas grandes áreas de vegetação, árvores e arbustos. A consequência é a alteração dos processos ecológicos nestes países e a destruição permanente dos recursos normalmente renováveis. Há uma necessidade urgente do desenvolvimento rural, que combina medidas de curto prazo para a sobrevivência das medidas a longo prazo, a fim de proteger a base dos recursos e melhorar a qualidade de vida, ao mesmo tempo em que garante o futuro. Muitas comunidades rurais não tem uma flexibilidade econômica que permita postergar o consumo de recursos que precisam de restauração. Assim, necessitam-se medidas de conservação para manter o nível de vida destas comunidades ou melhorá-lo, considerando seu próprio conhecimento do ecossistema, e a busca de formas eficazes de garantir que esses recursos sejam utilizados de forma sustentável.

Em controvérsia a essas externalidades, cujos efeitos são negativos, surgem as fontes ditas como renováveis, que em pesquisas realizadas desde 2001, pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2001), já se destacavam em sua crescente utilização no mundo como insumo energético. Segundo a *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2016), a capacidade instalada de produção de energia renovável global era de 1,348 GW em 2010 e passou para 1,985 GW em 2015. Um aumento de 47% em cinco anos. Ainda segundo as projeções da Agência, essa capacidade deverá ultrapassar 6 mil GW em 2030.

No Brasil, o boletim *Ranking* Mundial de Energia e Socioeconomia, uma publicação do Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia, órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME, 2015), mostra que as fontes renováveis têm se tornado uma alternativa energética bastante eficiente nos últimos anos, sendo responsáveis pela produção de 121 Mtep, o que levou o país à quarta posição no *ranking* mundial dos maiores países em produção de energia por fontes renováveis, atrás somente da China (311 Mtep), Índia (199 Mtep) e Estados Unidos (129 Mtep) em 2014. Contudo, muito embora existam incentivos governamentais cujos objetivos visam à diversificação da matriz energética brasileira, e nesta inclui-se a produção e utilização de fontes energéticas renováveis, ainda é notória a participação de destaque que o petróleo ocupa na matriz, respondendo por 37,3% da oferta interna de energia (EPE, 2016a) (Gráfico 1).

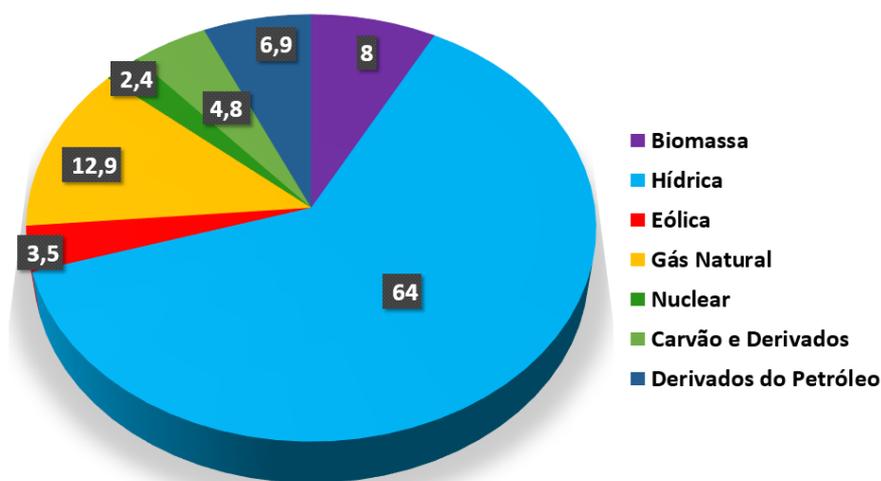
**Gráfico 1 – Oferta interna de energia por fonte no Brasil (%), em 2015**



Fonte: EPE (2016a).

Com relação ao setor elétrico brasileiro, dados disponibilizados pela EPE (2016a), mostram que em 2015, o país dispunha de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica (64%), biomassa (8%) e eólica (3,5%) (Gráfico 2). Em função do alto potencial hidrelétrico, o Brasil historicamente investiu nesta forma de geração de eletricidade, permitindo ao país ter hoje uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo.

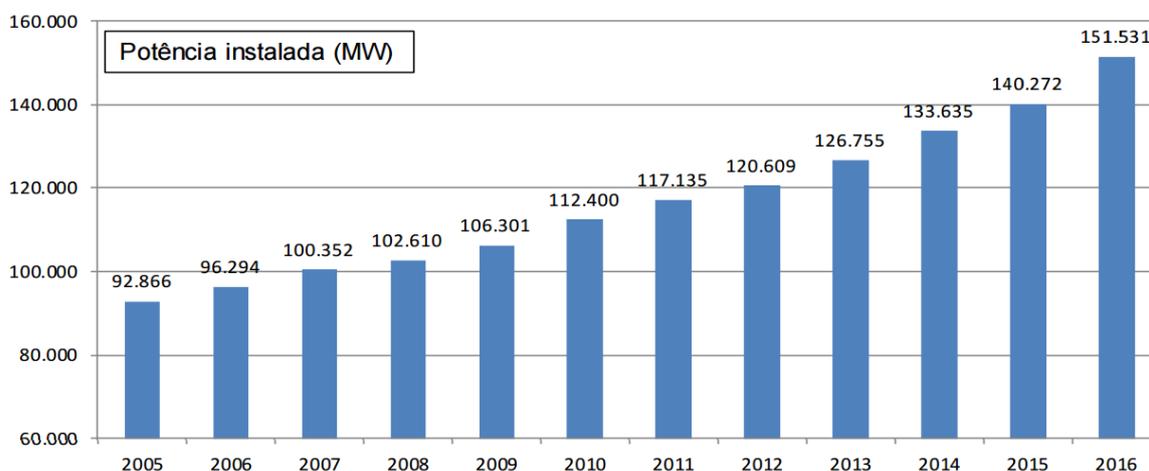
**Gráfico 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil (%), em 2015**



Fonte: EPE (2016a).

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2016a), quanto à potência instalada de geração de energia elétrica, o Brasil tem se mantido crescente ao longo dos últimos anos, conforme visualizado no Gráfico 3. Em 2016 foram produzidos mais de 151.531 MW, correspondendo a um aumento aproximado de 58.665 MW, se comparado ao montante gerado há 11 anos atrás, de 92.866 MW, em 2005. Ao longo desse período, a geração hidrelétrica apresentou um declínio, em decorrência de estiagens prolongadas. Esta queda foi compensada por um aumento nas gerações eólica e termelétrica, esta última, proveniente sobretudo de derivados de combustíveis fósseis, como o diesel, carvão e gás natural. E como consequência das condições hidrológicas desfavoráveis, houve o aumento nas emissões de GEE.

**Gráfico 3 – Série histórica da evolução da potência instalada elétrica no Brasil**



Fonte: ANEEL (2016a).

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2016, p. 29), apesar do Brasil se destacar por possuir uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, “o país apresenta potencialidades econômicas ‘verdes’ ainda pouco exploradas, como o uso econômico da biodiversidade, a reciclagem e a geração de energia a partir de resíduos”. Muitas dessas potencialidades são capazes de conciliar os interesses brasileiros de curto e de longo prazos, devendo ser vistas como uma oportunidade que a conjuntura atual oferece. Tais potencialidades merecem, portanto, especial atenção e estímulo no caminho para uma economia ambientalmente mais aceitável. Todavia, há de se deixar claro que a integração da sustentabilidade ambiental no contexto econômico não é tarefa fácil. E que a construção de um modelo de Desenvolvimento Sustentável é um processo de longo prazo não apenas nas análises de alternativas, mas também com relação à sua disseminação entre todos os atores do setor energético e na sociedade em geral.

Definida por Saidur e outros (2011) como uma das maiores fontes de energia primária e renovável disponível nas áreas rurais, a biomassa<sup>11</sup>, por exemplo (que aparece na forma de matéria orgânica, tais como restos de colheita, esterco animal, florestas energéticas<sup>12</sup> e efluentes agroindustriais), podendo ser utilizada pelo produtor rural ou agroindústria para a queima direta visando gerar eletricidade, é considerada uma das primeiras fontes de energia com propriedades muito específicas e de alto potencial energético, se caracterizando, portanto, como uma dessas potencialidades.

Dados do IPEA (2012) revelam que os materiais de biomassa com alto potencial energético incluem os resíduos das culturas florestais e agrícolas. Os florestais representam aproximadamente 65% desse potencial, enquanto os agrícolas, aproximadamente 33%. Na Figura 1, apresenta-se o perfil de distribuição das principais fontes de biomassa disponíveis por região no Brasil.

---

<sup>11</sup>Biomassa: é qualquer material orgânico, oriundo do processo de desbaste florestal (madeira, celulose, podas, etc. colhidas de acordo com as leis de manejo florestal), industrial ou agrícola; de resíduos animais e subprodutos (incluindo gorduras, óleos, graxas e esterco); da fração de materiais biogênicos (incluindo todos os resíduos segregados – alimentares, de jardinagem e de águas residuais, como biossólidos das estações de tratamento); ou de outros materiais vegetais (algas, plantas aquáticas e derivados, como óleos) (ABIB, 2017). Podem ser encontradas em estado sólido, como nas madeiras e palhas; estado líquido, como nos biocombustíveis e, ainda, em estado gasoso, como no biogás (BLEY JR., 2015).

<sup>12</sup>Florestas energéticas: florestas plantadas para fins energéticos, como o cultivo majoritário do *Eucalyptus* (eucalipto) e do *Pinus* (espécie de pinheiro), destinados à produção de madeira para a geração de energia (ABRAF, 2013).

**Figura 1 – Perfil de distribuição das principais fontes de biomassa por região no Brasil**



Fonte: EMBRAPA (2014).

Nota: RSU: Resíduos Sólidos Urbanos.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2007), a utilização de biomassa como recurso energético no Brasil é resultado de uma combinação de fatores, incluindo a disponibilidade de recursos e mão-de-obra baratas, rápida industrialização e urbanização, e a experiência histórica com aplicações industriais dessa fonte em grande escala.

Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (autoprodução), atingindo o percentual de 8% da oferta interna total de energia elétrica brasileira em 2015, o que corresponde à 12,3 GW dos 133,9 GW de energia elétrica gerada no Brasil no referido ano (SOUZA et al., 2015). A nível mundial, entre os anos 2000 e 2012, a geração

elétrica à biomassa cresceu 140%, chegando a 439 TWh, de acordo com os dados da *World Bioenergy Association* (WBA, 2015).

No caso brasileiro, a geração de eletricidade a partir de biomassa conta com significativos atrativos: país de clima tropical, com elevada taxa de insolação ao longo de todo o ano; grandes extensões territoriais, permitindo a existência de culturas energéticas sem exercer pressão sobre a área de plantio alimentar; potencial de produção alimentar com significativa presença de resíduos vegetais; manutenção do perfil renovável da geração elétrica brasileira; a exaustão dos potenciais hidrelétricos das bacias hídricas mais próximas dos grandes centros consumidores, elevando os custos de geração e transmissão da energia elétrica; incremento da participação de unidades termelétricas na matriz de geração, aumentando a flexibilidade do sistema e reduzindo sua incerteza hidrológica (TOLMASQUIM, 2004).

No decorrer dos últimos anos, o potencial brasileiro de geração de eletricidade à base de biomassa oriunda do meio rural se distribuiu conforme apresentado na Tabela 1. É notória a capacidade instalada de geração elétrica que o país detém na atualidade advinda de tal fonte, totalizando aproximadamente 14,1 GW.

**Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil, em 2017**

(continua)

Fontes			Capacidade Total		
Origem	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Nº de usinas	(kW)	%
<b>Biomassa</b>	Agroindustriais	Bagaço da cana-de-açúcar; Biogás; Capim elefante; Casca de arroz	416	10.986.759	6,8755
	Biocombustíveis líquidos	Óleos vegetais	3	4.670	0,0029
	Floresta	Carvão vegetal; Gás de alto forno; Lenha; Licor negro; Resíduos florestais	87	3.048.248	1,9076
	Resíduos animais	Biogás	11	2.099	0,0013
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás	16	117.380	0,0734
<b>Eólica</b>	Cinética do vento	Cinética do vento	417	10.479.642	6,5582
<b>Fóssil</b>	Carvão mineral	Calor de processo; Carvão mineral; Gás de alto forno	23	3.612.995	2,2610
	Gás natural	Calor de processo; Gás natural	160	13.008.860	8,1410
	Outros fósseis	Calor de processo	1	147.300	0,0921
	Petróleo	Gás de refinaria; Óleo diesel; Óleo combustível; Outros energéticos de petróleo	2228	10.169.139	6,3639
<b>Hídrica</b>		Potencial hidráulico	1246	98.033.737	61,350

**Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil, em 2017**

(conclusão)

Origem	Fontes		Capacidade Total		
	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Nº de usinas	(kW)	%
<b>Nuclear</b>		Urânio	2	1.990.000	1,2453
<b>Solar</b>		Radiação solar	42	23.008	0,0143
<b>Importação</b>		Paraguai	-	-	5,1128
		Argentina			
		Venezuela			
		Uruguai			
<b>Total</b>			4.653	150.549.381	100

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2017).

A fonte mais importante de geração de energia à biomassa é de longe a cana-de-açúcar. Só essa fonte representa cerca de 80% das usinas termelétricas a biomassa no Brasil, tanto em termos de quantidade de usinas (correspondendo a 398 das 51 usinas à biomassa em operação em 2017), como em termos de potência instalada (correspondendo a 10,9 GW dos 14,1 GW gerados pelas usinas à biomassa em 2017) (AMBIENTE ENERGIA, 2015; ANEEL, 2017). O setor sucroalcooleiro, em especial, apresenta vantagens potenciais que devem ser consideradas, como: a baixíssima eficiência com que é aproveitado o bagaço de cana atualmente; unidades de refino de açúcar e produção do álcool com possibilidade de redução significativa do consumo de calor; e unidades de geração elétrica sem nenhuma sofisticação. Condições estas que indicam a possibilidade de aumento considerável da quantidade de bagaço de cana que pode ser disponibilizado para a geração de excedentes de energia elétrica.

Outra condição vantajosa para o setor é a modificação do processo de colheita da cana, que até décadas atrás, era efetuada através da queima prévia do canavial e que, atualmente, passou para processos manuais e mecanizados, devido às pressões ambientais para redução da poluição atmosférica, o que coloca à disposição uma quantidade de biomassa proveniente de palhas e pontas da cana, próximo de 42% da quantidade de bagaço hoje disponível (TOLMASQUIM, 2016).

Dados do Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2006) revelam que a demanda projetada de energia no mundo cresce 1,7% ao ano. Nesse cenário, as projeções

estimam, que entre 2000 a 2030, o consumo mundial será de 15,3 bilhões de tep<sup>13</sup> por ano. Logo, se não houver alterações na matriz energética mundial, os combustíveis fósseis responderão por 90% do aumento projetado na demanda mundial. Verifica-se ainda que, a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico tem aumentado significativamente (31% nos últimos 250 anos), atingindo, provavelmente, o nível mais alto observado nos últimos 20 milhões de anos. Assim, se as fontes emissoras de GEE não forem controladas, o efeito estufa e suas consequências sobre o meio ambiente (como as mudanças climáticas) serão imprevisíveis (MAPA, 2006).

Neste sentido, remete-se, sob a ótica da sustentabilidade, ao proposto pela ANEEL (2008a) e por Terrapon-Pfaff e outros (2014), de que uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo, sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico, é o estímulo ao planejamento e uso energético eficiente, cujo tema é evidenciado no item 2.1.

## 2.1. PLANEJAMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Goldemberg e Lucon (2007, p. 18) consideram que a “eficiência energética é, sem dúvida, a maneira mais efetiva de, ao mesmo tempo, reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais”. Neste sentido, D’Ecclesia (2016) afirma que há trajetórias tecnológicas de emissões de GEE e de poluentes que merecem especial atenção das políticas de eficiência energética. Do ponto de vista ambiental, os setores econômicos para os quais devem direcionar-se as ações de eficiência energética, são aqueles causadores de maior impacto direto no meio ambiente e aqueles de maior ineficiência energética.

Eficiência energética é definida pelo *World Energy Council* (WEC) como:

O alcance e a continuidade de uma redução na quantidade de energia utilizada para se obter um mesmo serviço ou nível de atividade. Em termos econômicos é toda mudança que resulta em decréscimo na quantidade de energia utilizada para produzir uma unidade da atividade econômica. É associada com eficiência econômica e inclui tecnologia, comportamento e mudanças na economia (WEC apud IPEA, 2010, p. 166).

---

<sup>13</sup>Tonelada equivalente de petróleo (tep): unidade de energia utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão (ANEEL, 2008a).

Sustentados por este conceito, verifica-se que, os padrões atuais de consumo vêm sendo melhorados, havendo maior estímulo no uso eficiente de energia com incentivo à inovação tecnológica e com a transição gradual de fontes de energia fósseis para fontes renováveis. No Brasil há programas de incentivo à inovação tecnológica, e em todos estes, a questão energética é base norteadora principal.

Suganthi e Samuel (2012) afirmam que o consumo de energia, nas últimas décadas, tem aumentado exponencialmente em todo o mundo por se tratar de um bem de necessidade para a dinâmica evolutiva da sociedade. Com isso, novas técnicas de gestão, planejamento e eficiência energética tendem a ser criadas, visando com precisão, o provimento energético das necessidades atuais e futuras. Ainda segundo os autores, a energia é vital para o Desenvolvimento Sustentável de qualquer nação – seja no âmbito social, econômico ou ambiental.

No Brasil, segundo Stattman; Hospes e Mol (2013), a questão de como ampliar a matriz energética com menor dependência de combustíveis fósseis foi o marco orientador para discussões e busca de soluções em vários programas do governo. O planejamento energético de longo prazo, ao estabelecer estratégias para o futuro, traz consigo uma forte ligação com políticas energéticas. Neste campo, como arcabouço legal, menciona-se a criação de políticas públicas brasileiras voltadas à eficiência energética, tais como a elaboração de planos nacionais e a sanção de leis (Quadro 2), e cujas diretrizes estabelecem o aproveitamento racional dos recursos energéticos existentes no país.

## Quadro 2 – Políticas públicas nacionais voltadas à eficiência energética

(continua)

Políticas Públicas	Diretrizes
Sanção da Lei nº 9.478/1997.	A Lei dispõe sobre a política energética, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, e a instituição do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) de âmbito nacional, com o objetivo de promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país, e rever periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do País, considerando as fontes convencionais, alternativas e as tecnologias disponíveis (BRASIL, 1997).
Sanção da Lei nº 10.295/2001.	Conhecida como a “Lei de Eficiência Energética”, dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional da energia, visando a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente (BRASIL, 2001).
Criação do Plano Nacional de Agroenergia, pelo MAPA, em 2005.	O Plano objetiva a elaboração de um conjunto de diretrizes nacionais para o aproveitamento energético oriundo de fontes agropecuárias. Estabeleceu um marco e um rumo para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e tecnologias, voltadas para o setor agroenergético, e tem

**Quadro 2 – Políticas públicas nacionais voltadas à eficiência energética**

(conclusão)

<b>Políticas Públicas</b>	<b>Diretrizes</b>
	por meta prioritária, desde sua primeira versão elaborada em 2005, tornar competitivo o agronegócio brasileiro e dar suporte às políticas públicas voltadas à inclusão social, à regionalização do desenvolvimento e à sustentabilidade ambiental (MAPA, 2006).
Criação do Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, pela EPE e o MME, em 2007.	O PNE tem por objetivo o planejamento de longo prazo do setor energético no país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas. É composto de uma série de estudos que buscam fornecer insumos para a formulação de políticas energéticas segundo uma perspectiva integrada dos recursos disponíveis. Tem na eficiência energética um fator fundamental para equacionamento do suprimento (EPE; MME, 2007).
Criação do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, pela ANEEL, em 2008.	O Programa, regulado pela ANEEL, objetiva alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos de P&D que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais da energia. Busca-se promover a inovação, estimulando a P&D no setor elétrico brasileiro, criando novos equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a modicidade tarifária, a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país. O Programa teve como resultado inicial o “Manual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica”, que estabeleceu as diretrizes e orientações para a elaboração dos projetos (ANEEL, 2008b).
Criação do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), pelo MME, em 2010.	O documento tem como base o PNE 2030. Seu principal objetivo, o de identificação de instrumentos e ações que possam mobilizar a sociedade “no combate ao desperdício de energia”, está estritamente relacionado à eficiência energética (CAMPOS; MORAES, 2012).
Publicação da NBR ISO 50.001, pela ABNT, em 2011.	Esta Norma especifica requisitos para o estabelecimento, implementação, manutenção e melhoria de um sistema de geração da energia, cujo propósito é habilitar uma organização a seguir uma abordagem sistemática para o atendimento da melhoria contínua de seu desempenho energético, incluindo eficiência energética, uso e consumo de energia (ABNT, 2011).
Criação do Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), pelo MAPA, em 2012.	O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado de Plano ABC, é uma política pública que apresenta o detalhamento das ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima para o setor agropecuário, e aponta de que forma o Brasil pretende cumprir os compromissos assumidos na COP-15 de redução de emissão de GEE neste setor (MAPA, 2012).
Criação do Programa de Eficiência Energética (PEE), pela ANEEL, em 2013.	O Programa objetiva a promoção do uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica. O Programa teve como resultado inicial o documento “Procedimentos do Programa de Eficiência Energética” (PROPEE), que trouxe as regras técnicas para geração descentralizada com fontes incentivadas e integradas a programas de eficiência (ANEEL, 2013).

Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, ao se identificar alguns desses estímulos governamentais brasileiros no que concerne à eficiência energética, é possível afirmar que o planejamento e a eficiência estão diretamente vinculados às necessidades da sociedade no que tange à sua relação com as produções de energia, ou ainda, que eficiência é sinônimo de desenvolvimento.

Adicional a esta análise, está a comprovação feita por Ahmed; Uddin e Sohag (2016), de que o crescimento econômico, a eficiência energética e a garantia de qualidade ambiental, podem ser atingidos simultaneamente. Tal comprovação está baseada numa pesquisa realizada pelos autores em questão, em que foi examinada a relação causal existente entre crescimento econômico e a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>, em um cenário selecionado composto por 24 países da Europa, no período de 1980 a 2010. Os resultados obtidos com a pesquisa revelaram que inovações em equipamentos tecnológicos facilitam significativamente a redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Isto, segundo os autores, permite a abertura de novas perspectivas de decisões políticas voltadas para o Desenvolvimento Sustentável, através da implementação do consumo de energias renováveis e investimentos em inovação tecnológica.

Uma atividade pode ser considerada eficiente dependendo da forma como utiliza a energia que necessita. Ainda mais se produzir a própria energia e reduzir a dependência de qualquer outra fonte externa. A eficiência leva também ao aumento da intensidade de seu uso, pois a energia poupada permite novas aplicações, sem necessariamente gerar mais custos (BLEY JR., 2015).

Menciona-se ainda neste íterim, dois novos conceitos ligados ao setor energético que têm ganhado cada vez mais escopo na atualidade: o de agroenergia e o de bioenergia, que surgem visando solucionar, principalmente, o problema da dependência de combustíveis não-renováveis e de seus impactos ambientais, de inovação em tecnologia, e de estímulo ao planejamento e eficiência energética. Ambos os conceitos, remetem à produção de energia e à fabricação e uso de diversos tipos de biocombustíveis que têm suas origens nas atividades dos meios rural e urbano (CENBIO, 2012). Sustentado por estes conceitos, o item 2.2 objetiva caracterizar o cenário da produção de biocombustíveis no Brasil.

## 2.2. CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Os biocombustíveis são renováveis, uma vez que são produzidos a partir de produtos agrícolas (como cana-de-açúcar e plantas oleaginosas); de biomassa florestal ou outras fontes de matéria orgânica; de gorduras animais (como óleo de baleia); de efluentes agropecuários/agroindustriais (como lamas de estações de tratamento); e ainda, de aterros sanitários (como gases energéticos). Constituem-se, portanto, como combustíveis líquidos ou gasosos.

Alguns fatores positivos podem ser elencados para a promoção de biocombustíveis no Brasil, a saber (FARIAS, 2010):

- Pressupostos de natureza ambiental (se comparados aos combustíveis fósseis, os biocombustíveis liberam uma quantidade menor de poluentes atmosféricos quando queimados);
- Há grande área para cultivo de plantas no país, que podem ser usadas para a produção de biocombustíveis;
- Geração de emprego e renda no campo (o que evita o inchaço das cidades);
- Introdução de cotas mínimas de adição de biocombustíveis no diesel convencional;
- Inclusão social de agricultores familiares.

Todavia, alguns fatores negativos também podem ser elencados na obstacularização da promoção dos biocombustíveis no Brasil, a saber (GOLDEMBERG, 2010; CHENG, TIMILSINA, 2011):

- Consomem grande quantidade de energia para a produção;
- Aumento do consumo de água (para irrigação das culturas);
- Redução da biodiversidade advinda do desflorestamento de grandes áreas;
- Possibilidade de redução da produção de alimentos em detrimento do aumento da demanda;
- Destruição de florestas tropicais;
- Aumento na oferta dos preços das *commodities* agrícolas.

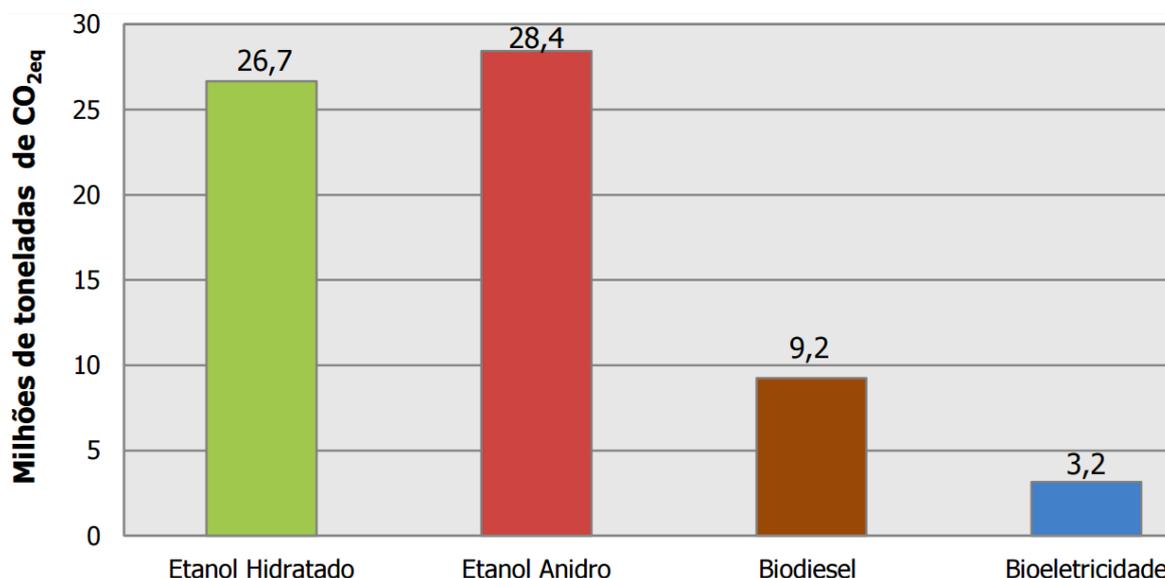
Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2016), em 2014, a produção mundial estimada de biocombustíveis totalizou o montante de 1.413.060 Mtep. Neste mercado

produtivo, o Brasil, em função de políticas públicas específicas criadas pelo governo federal, vem constituindo-se atualmente num líder mundial na área de biocombustíveis e tem desenvolvido tecnologias inovadoras. A criação de dois programas pode ser mencionada neste campo de destaque. São eles: o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), lançado em 1975, em que se buscava reduzir a dependência externa do petróleo, principalmente no setor de transportes; e o Programa Nacional da Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), lançado em 2004, com vistas à promoção da inclusão social e do desenvolvimento rural no país. Programas governamentais estes, que apesar de enfrentarem problemas político-institucionais, como redução de subsídios e com políticas totalmente dependentes das decisões tomadas pelos setores de energia e agricultura (STATTMAN; HOSPES; MOL, 2013), têm sido fonte de inspiração para outros países, como os Estados Unidos, por exemplo (PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2017).

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016), os dois principais biocombustíveis líquidos produzidos e comercializados atualmente no Brasil são o etanol do caldo da cana e o biodiesel de óleo de soja, e figuram-se como misturas complementares e substitutos naturais dos dois mais importantes derivados do petróleo, respectivamente a gasolina e o óleo diesel, que abastecem a maior parte da frota brasileira de veículos leves e pesados. Nota-se que essa substituição já vem se processando gradativamente, a partir principalmente, de normas legislativas, com ganhos sociais e ambientais.

Eles possuem como vantagem sobre os combustíveis fósseis o fato de serem renováveis e mais limpos, em termos de emissões de gases poluentes na atmosfera, como o CO<sub>2</sub>. Como desvantagens, entretanto, alguns autores como Forest e outros (2014) defendem que há a necessidade de grande área para o plantio da matéria-prima e a sobreposição, em alguns casos, com a cadeia produtiva de alimentos. No Gráfico 4, ilustram-se as emissões evitadas decorrentes do uso dos biocombustíveis líquidos e da bioeletricidade da cana no Brasil em comparação aos equivalentes fósseis, que juntos somaram 64,3 Mt de CO<sub>2</sub>eq, em 2016.

**Gráfico 4 – Emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com uso dos biocombustíveis no Brasil, em 2016**



Fonte: EPE (2017).

Mas além dos biocombustíveis líquidos etanol e biodiesel, considerados de “primeira geração”<sup>14</sup>, outro biocombustível gasoso também tem ganhado cada vez escopo na agenda de planejamento energético brasileira, o biogás. Um panorama acerca da produção destes biocombustíveis no Brasil e de seus subprodutos, como o biometano (do biogás) e o bioetanol (do etanol), considerados de “segunda geração”<sup>15</sup>, é apresentado nos próximos itens.

### 2.2.1. Biogás e Biometano

O biogás é um composto gasoso combustível com alta capacidade energética, semelhante ao gás natural. Possui composição típica de cerca de 60% de CH<sub>4</sub>, 35%

<sup>14</sup>Biocombustível de “primeira geração”: caracteriza-se por ser produzido a partir de açúcares, amidos, óleos vegetais ou biomassa residual e possui baixa complexidade tecnológica para sua conversão (BIODIESELBR, 2017). Biocombustível de “segunda geração”: envolve uma mudança na sua conversão, com alta complexidade tecnológica.

<sup>15</sup>Em vez de usar apenas açúcares ou gases facilmente extraíveis, amidos e óleos como na geração anterior, a segunda geração permite o uso de todas as formas de biomassa lignocelulósica e de gases purificados. Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas no intuito de aumentar o leque de possibilidades de matérias-primas, tornando viável também a exploração de espécies de gramíneas, árvores, resíduos agrícolas e industriais, que podem ser convertidos em biocombustível por meio de rotas bioquímicas ou termoquímicas (BIODIESELBR, 2017).

de CO<sub>2</sub> e 5% de outros gases, como O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, vapor d'água, etc. (LI; PARK; ZHU, 2011). A matéria-prima para sua produção é oriunda de produtos e resíduos da agricultura; da pecuária, constituídos por esterco resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino, bubalino; e outros concentrados em aterros ou biodigestores e cuja relevância local justifica seu aproveitamento como fonte para geração de energia elétrica, térmica ou automotiva em uma propriedade rural.

De modo geral, segundo a UNIDO (2016), sua utilização contempla formas como: combustão direta para a produção de calor (aquecimento de caldeiras, fogões, etc.) e de geração de eletricidade com motores de cogeração e turbinas a gás; integração em linhas de gás natural; combustível para veículos motorizados; pilhas de combustível<sup>16</sup>, entre outras. No setor elétrico, em especial, o biogás pode atuar em dois mercados: nas grandes gerações, como em leilões de energia renovável e nas pequenas gerações, permitindo o abastecimento de carga a empreendimentos menores, o acesso facilitado à eletricidade em pequenas comunidades e na economia de gastos com redes de distribuição (CANAL BIOENERGIA, 2016). Uma análise mais aprofundada sobre as possibilidades da comercialização da energia elétrica avinda de tal fonte pode ser verificada no item 3.2 deste trabalho.

Todavia, o biogás deve ser refinado/depurado previamente para qualquer aplicação energética, em função do seu alto conteúdo de umidade e da presença de outros gases indesejados associados, como o sulfureto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), o CO<sub>2</sub> e os siloxanos<sup>17</sup>. Esses contaminantes podem ser prejudiciais à saúde e danificar os equipamentos de produção de energia, levando a dispendiosos custos de manutenção e interrupções na operação. Nesse caso, ressalta-se que diferentes métodos de limpeza podem ser utilizados, os quais variam em função da qualidade do gás

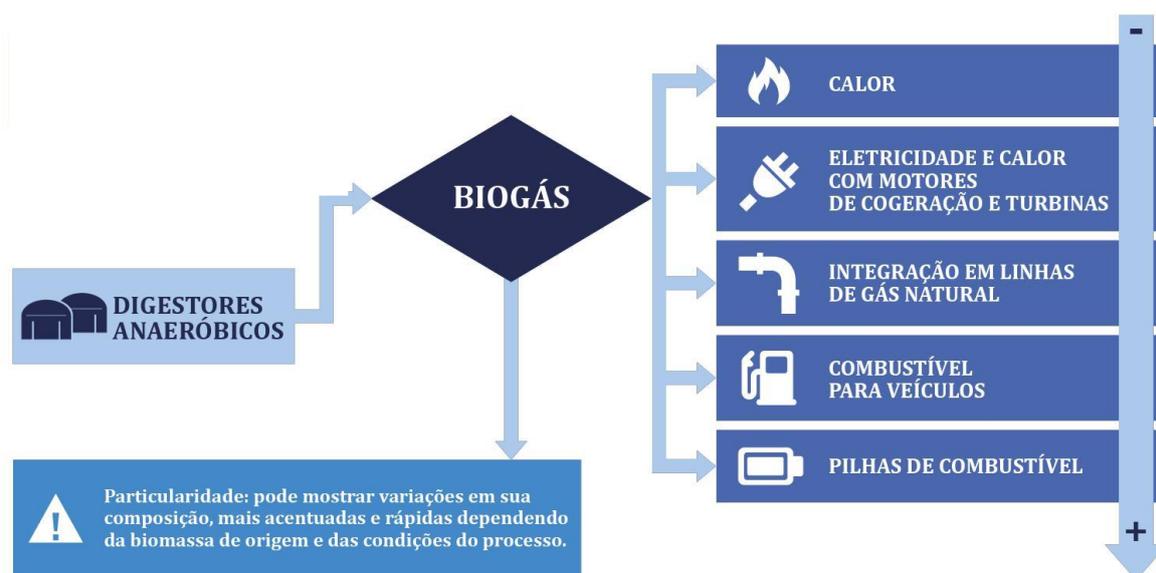
---

<sup>16</sup>Pilhas de combustível: dispositivos eletroquímicos que transformam diretamente a energia da molécula de hidrogênio (dos quais são alimentados) em eletricidade, contribuindo para diferentes necessidades, tais como: fonte de alimentação em zonas isoladas (antenas de telecomunicações), energia de reserva para locais que prestam assistências emergenciais (hospitais e batalhões de bombeiros, assegurando a continuidade do abastecimento), ou a produção de eletricidade para alimentar um veículo. Um inconveniente, entretanto, é seu custo elevado (AIR LIQUIDE, 2015).

<sup>17</sup>Siloxanos: constituem um subgrupo de gases compostos de sílica que contém ligações Si-O com radicais orgânicos. Não são decompostos durante a digestão anaeróbica e acabam por volatilizar, permanecendo no biogás. A combustão desses gases produz uma sílica microcristalina, cuja dureza leva à abrasão das superfícies dos motores. Os compostos voláteis de sílica incrustam-se nos motores, turbinas, caldeiras, etc., contribuindo para uma deterioração dos motores e mau funcionamento dos equipamentos (ATLAS SEIS, 2017).

produzido (RYCKEBOSCH; DROUILLOM; VERVAEREN, 2011). Na Figura 2, apresentam-se algumas das aplicações do biogás e o grau de refinamento exigido em função de seu uso.

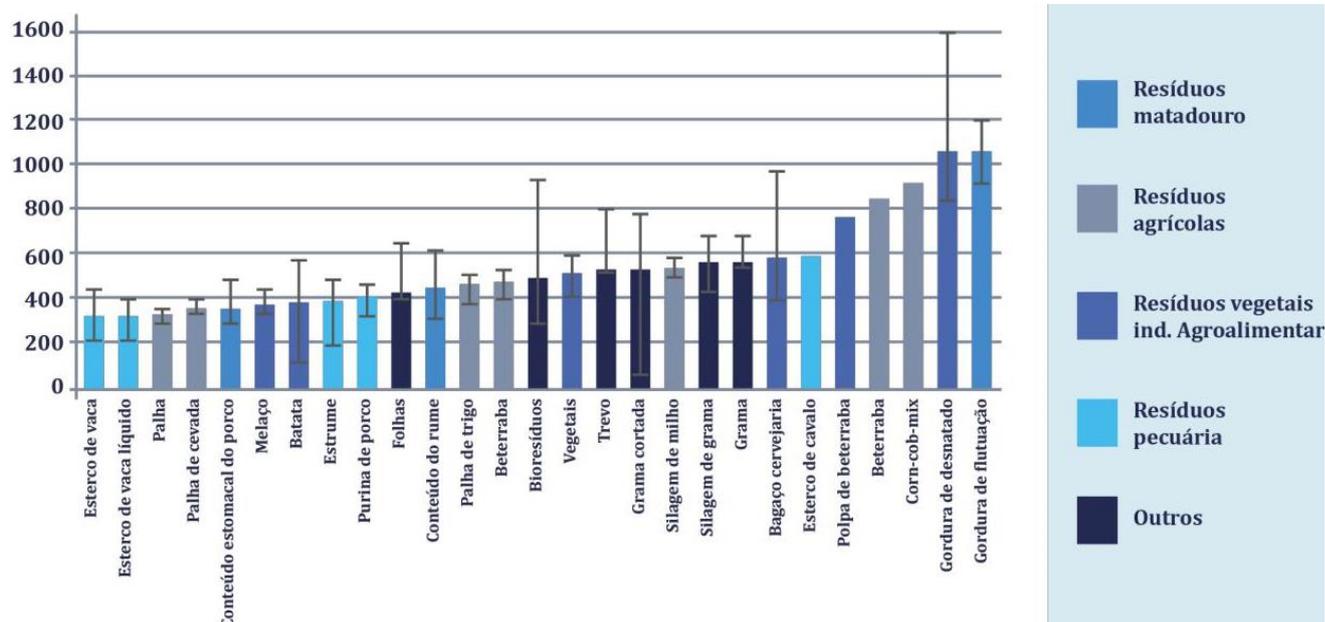
**Figura 2 – Aplicações de maior interesse do biogás e grau de refinamento necessário quanto ao uso**



Fonte: UNIDO (2016).

Segundo a UNIDO (2016) tem havido um aumento pelo interesse na utilização deste biocombustível ao longo dos anos, possuindo na atualidade, muitas aplicações energéticas, e praticamente, as mesmas desenvolvidas para o gás natural, apesar do seu consumo ineficiente para climatização, transporte, bombeamento e moagem já ter sido estudado. Outrora, os elevados custos atuais para a implantação de um sistema completo de geração elétrica a partir de biogás, tem se tornado uma barreira econômica. Além disso, materiais e peças de reposição desses sistemas muitas vezes não estão disponíveis no Brasil, afetando diretamente o custo com a manutenção, que é incorporado ao preço final da energia produzida, tornando-a cara (CASSINI; COELHO; GARCILASSO, 2014). Os potenciais de produção de biogás oriundos de resíduos agropecuários no Brasil são apresentados no Gráfico 5.

**Gráfico 5 – Potencial de produção de biogás de resíduos agropecuários no Brasil (l/kg<sub>sv</sub>)**



Fonte: PROBIOGÁS apud UNIDO (2016).

Dados disponibilizados pelo CANAL BIOENERGIA (2016) mostram que em 2016 existiam no Brasil, 153 unidades gerando energia térmica e elétrica por meio do biogás. Apesar deste quantitativo estar muito aquém do potencial que poderia ser atingido, principalmente se avaliada a riqueza da produção e consequente geração de resíduos do setor agropecuário e agroindustrial brasileiro, já se é possível sentir uma evolução tanto da quantidade de plantas de biogás, como também das condições de mercado para atrair novos investimentos, uma vez que o setor conta cada vez mais com o envolvimento maior de atores, seja do agronegócio, seja das instituições de PD&I ou dos órgãos governamentais.

Neste campo, o governo federal vem criando uma base de resoluções e programas visando incentivar e promover o uso deste gás, a exemplo da Lei nº 12.490/2011, ao considerar que o biometano, um biocombustível gasoso de “segunda geração” constituído essencialmente de CH<sub>4</sub> e derivado da purificação do biogás, atende à definição de biocombustível (BRASIL, 2011) e às especificações desse tipo de gás estabelecidas pela Resolução Normativa ANP nº 8/2015. Definido pela ANP (2015) como biocombustível oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais, o biometano surge como opção mais simples e imediata, passando então a ser tratado

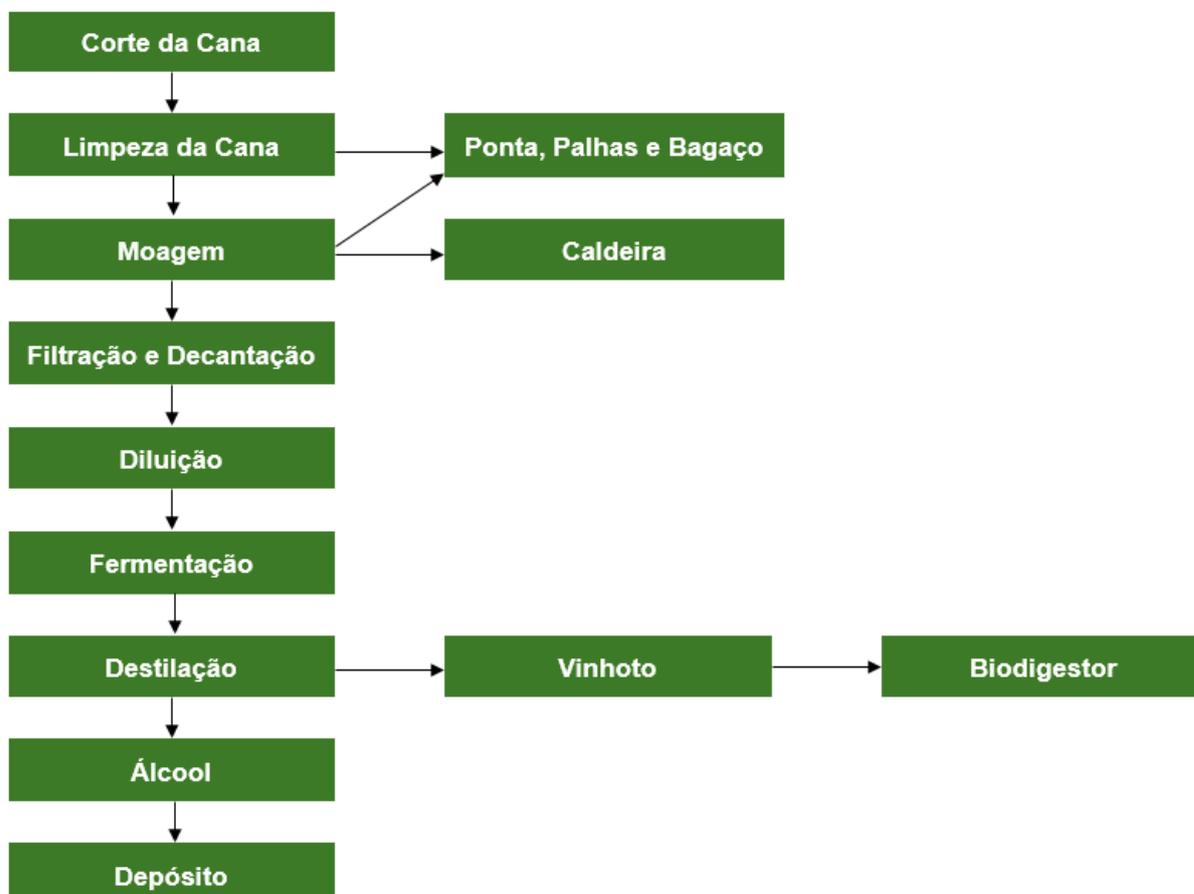
de maneira análoga, com mesmo uso, produção e valoração econômica ao do gás natural (ABIOGÁS, 2015). Esses fatores possibilitam a difusão deste biocombustível no mercado e tendem a promover a competição com outras fontes de combustão. Um estudo desenvolvido em 2015 pela Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABIOGÁS) e apresentado ao MME como Proposta do Programa Nacional de Biogás e Biometano (PNBB) na intenção de oferecer às autoridades brasileiras gestoras dos setores energéticos elementos cruciais e informativos para dotar o país de uma política pública específica para o biogás e biometano, estima que o potencial de produção de biogás no Brasil atinja em média o volume de 23 bilhões de m<sup>3</sup>/a, sendo destes, 12 bilhões oriundos da cana, 8 bilhões de alimentos e bilhões de resíduos. Esse montante equivale a aproximadamente 11 milhões de tep/a, ou 12 milhões de litros equivalente de diesel (ABIOGÁS, 2015). Toda essa energia gerada a partir do biogás oferece autossuficiência energética, o que possibilita a descentralização da energia elétrica através de pequenas centrais conectadas à rede de distribuição; a emissão evitada de GEE como CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, e a consequente geração de renda, empregos e receitas para o país, em função da mão-de-obra empregada no processo produtivo.

### **2.2.2. Etanol e Bioetanol**

O etanol ou álcool etílico é um líquido incolor, volátil e inflamável. Pode ser classificado como sendo de primeira, segunda ou terceira geração, de acordo com a matéria-prima para sua fermentação. Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2012) o etanol de “primeira geração” é feito com a fermentação do amido contido nas plantas. O de “segunda geração”, da fermentação da celulose. Já o de “terceira geração” é obtido a partir de certas espécies de microalgas ou bactérias que acumulam amido ao invés de óleo, e portanto, sem a necessidade de plantas.

A produção do etanol como combustível no Brasil começou em 1927, a partir da usga (mistura de álcool, ésteres e óleo de rícino) (CEMIG, 2012). No entanto, atualmente, a cana-de-açúcar tem sido a principal matéria-prima para obtenção do etanol em usinas sucroalcooleiras brasileiras. O processo produtivo a partir da cana, compreende as etapas de moagem, filtração e decantação, diluição, fermentação e destilação, até a produção do álcool, conforme visualizado na Figura 3.

**Figura 3 – Etapas da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar**

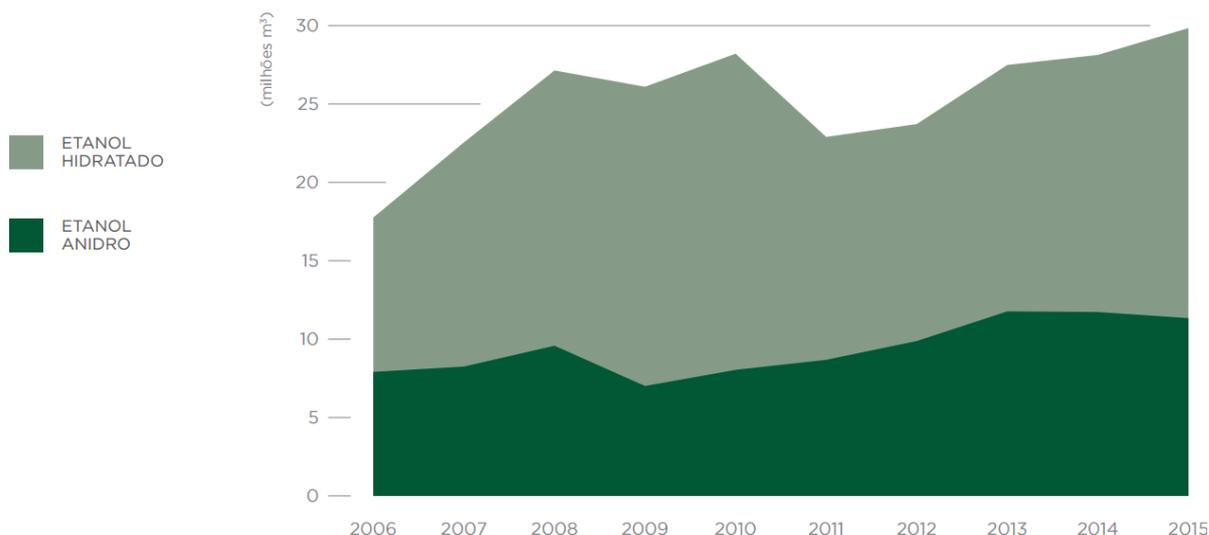


Fonte: Elaboração própria a partir de Michel Jr. (2010).

Atualmente, o etanol combustível brasileiro, especificado pela ANP (2011) como Etanol Anidro Combustível<sup>18</sup> (EAC) e Etanol Hidratado Combustível<sup>19</sup> (EHC), é produzido e comercializado em larga escala sob custos muito mais baixos que o produzido em outros países (em razão da alta produtividade da cana, grande disponibilidade de território para plantações e infraestrutura já consolidada) e utilizando somente como matéria-prima a cana-de-açúcar, embora possa ser produzido a partir de diversas outras fontes vegetais, tais como: milho, aveia, cevada, arroz, trigo, mandioca e sorgo. No Gráfico 6, observa-se a evolução da produção de etanol anidro e hidratado no Brasil ao longo dos últimos anos.

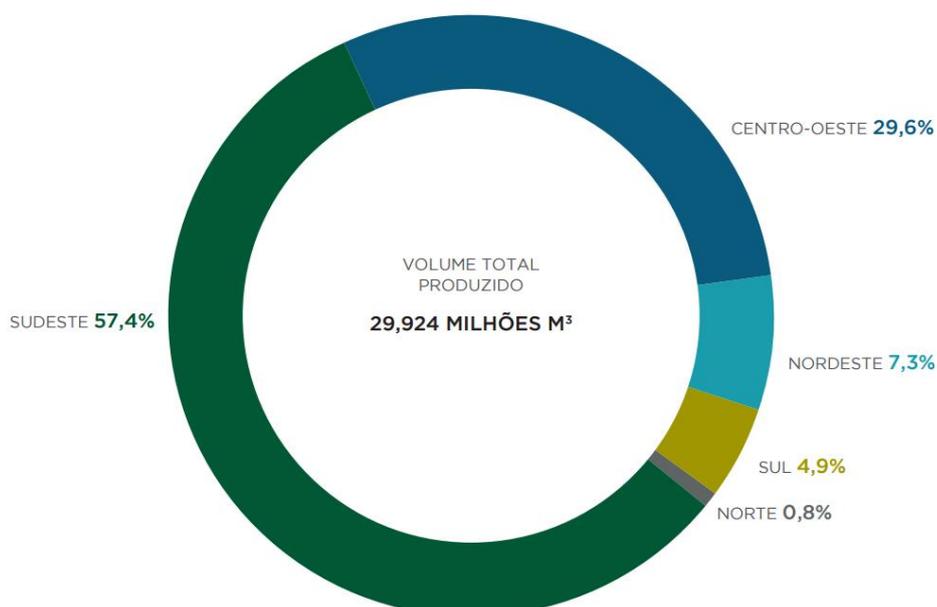
<sup>18</sup>Etanol Anidro Combustível (EAC): álcool etílico anidro combustível ou etanol anidro combustível destinado ao distribuidor para compor mistura com gasolina A na formulação da gasolina C, em proporção definida por legislação aplicável (ANP, 2011).

<sup>19</sup>Etanol Hidratado Combustível (EHC): álcool etílico hidratado combustível ou etanol hidratado combustível destinado à venda no posto revendedor para o consumidor final (ANP, 2011).

**Gráfico 6– Evolução da produção nacional de etanol anidro e hidratado**

Fonte: ANP (2016).

Do total de 29,924 milhões de m<sup>3</sup> de etanol anidro e hidratado produzido no Brasil em 2015, a região Sudeste foi a maior produtora (Gráfico 7), com volume aproximado de 17,2 milhões de m<sup>3</sup>, o equivalente à 57,4% da produção total brasileira, e apresentou crescimento de 2,7% em relação a 2014, cujo volume aproximado foi de 16,7 milhões de m<sup>3</sup>. O estado de São Paulo respondeu sozinho por 45,9% da produção nacional, em função da majoritária concentração de usinas sucroalcooleiras presentes nos municípios paulistas (ANP, 2016).

**Gráfico 7 – Distribuição percentual de etanol anidro e hidratado por região, em 2015**

Fonte: ANP (2016).

Lançado por meio do Decreto nº 76.593/1975 (BRASIL, 1975), o PROÁLCOOL, uma das políticas públicas adotadas pelo governo federal de maior impacto para a introdução dos biocombustíveis no mercado brasileiro, estabeleceu para o ano seguinte, a obrigatoriedade da mistura do etanol à gasolina em percentuais variando entre 10 à 22%. O governo forneceu subsídios e incentivos financeiros para o setor sucroenergético neste sentido, proporcionando a criação de novas unidades produtoras de etanol, aumento da área plantada com cana-de-açúcar aos produtores rurais e a instalação de tecnologias industriais maiores e mais modernas. Desde então, o setor iniciou sua consolidação e ampliação (inclusive no segmento da bioeletricidade), permitindo o desenvolvimento de novas tecnologias (CEMIG, 2012). O crescimento dos biocombustíveis e das exportações do etanol em 2015, fizeram com que o país ocupasse posição de destaque internacional nesse mercado, bem como, contribuiu para a redução de emissões de GEE e para elevar a renda do produtor em função do aumento da produção de cana-de-açúcar (PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2017). Estimativas da EPE (2016b), mostram que a oferta de etanol no Brasil pode chegar a até 54 bilhões de litros em 2030, 80% acima dos cerca de 30 bilhões de litros produzidos atualmente, mas não em detrimento da expansão equivalente do canavial, e sim da produtividade, que tende a aumentar 76,2 toneladas de cana por hectare para até 96,1 toneladas de cana por hectare.

Vale ressaltar que o etanol configura-se como um excelente substituto da gasolina e que frente aos demais biocombustíveis, este é o que possui o menor custo total de produção (PALACIO et al., 2012). E no campo da geração elétrica, segundo Sousa e Macedo (2010), a bioeletricidade vinculada à produção de etanol, tem condições excepcionais para representar papel estratégico na expansão do sistema elétrico nacional. Esse fato sinaliza uma tendência de estabilização e consolidação ainda maior para o setor.

O bioetanol, por sua vez, também conhecido como “etanol de segunda geração” ou ainda “etanol lignocelulósico”, é produzido a partir da fermentação e destilação de matérias-primas lignocelulósicas de origem agrícola ou da fração biodegradável de resíduos, em refinarias, para utilização como combustível à base de álcool, podendo substituir, parcialmente ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc.) ou em outro tipo de geração de energia.

A produção do bioetanol baseia-se, principalmente, nos substratos de plantas com elevado teor de açúcar (cana-de-açúcar, sorgo, beterraba açucareira), amido (milho, cevada, batata), e em alguns casos, de plantas celulósicas (árvores, ervas, palha). Entretanto, no caso das plantas celulósicas, o processo é mais complicado que o requerido nos demais (NOGUEIRA, 2012). No Brasil, sua produção comercial utiliza como matéria-prima o bagaço da cana (GOLDEMBERG, 2010) e segue em ritmo lento, em detrimento, principalmente, da atual situação econômica do país e da redução dos investimentos nas usinas e projetos de biocombustíveis (EPE, 2017). Em 2016, existiam apenas três usinas de bioetanol em escala comercial no Brasil: a planta Bioflex-1, em Alagoas, com capacidade produtiva de 82 milhões de litros; a planta do Centro de Tecnologia Canavieira, em São Paulo, com capacidade de 3 milhões de litros; a planta Raízen, em São Paulo, com capacidade de 42 milhões de litros. No entanto, todas as três usinas têm operado abaixo desses valores (EPE, 2017).

Na Figura 4, observa-se o processo produtivo do bioetanol. Inicialmente, o substrato utilizado é triturado/moído (1), misturado com água, adicionado a uma enzima (alfa-amilase) e levado para cozimento (2), onde é liquefeito (3). Nesta etapa novas enzimas (gluco-amilase) são adicionadas para converter as moléculas de amido em açúcares fermentáveis. A ação das enzimas, de decomposição do material, resulta em um líquido que é levado para a fermentação (4). Durante o processo de fermentação, leveduras são adicionadas à mistura, etapa esta, denominada de hidrólise. O fermentado é então bombeado para um destilador (5), onde o álcool é removido dos sólidos e da água com uma pureza aproximada de 96% (6). Por fim, o álcool gerado é desnaturado, afim de torná-lo inadequado para consumo humano.

**Figura 4 – Etapas da produção de bioetanol**



Fonte: AMBIENTE ENERGIA (2015).

Um estudo realizado por Souza e outros (2013) neste sentido, revela que o aproveitamento por meio da hidrólise das pentoses<sup>20</sup> do bagaço da cana, poderia aumentar ainda mais a produção de etanol e bioetanol nas refinarias, agregando assim, maior valor comercial ao bagaço. Entretanto, os principais problemas já identificados neste sentido, segundo a EPE (2017, p. 42), “ocorrem na fase de pré-tratamento, como a dificuldade na fermentação das pentoses presentes na matéria-prima lignocelulósica e o alto custo das enzimas que aumenta o custo final do processo”, dificultando assim, a identificação de entraves nas fases posteriores e a solução para atingir o máximo rendimento em escala industrial.

### **2.2.3. Biodiesel**

Além do etanol de “primeira e segunda geração”, o biodiesel<sup>21</sup> também é considerado um biocombustível eficiente. Neste campo, algumas das vantagens de sua utilização incluem: plena garantia de utilização em motores diesel convencionais, com mesmo desempenho e durabilidade; contribui para a diminuição líquida de emissões de GEE, uma vez que seu uso puro permite a redução das emissões de enxofre e de material particulado nas faixas de 98% e 50% respectivamente, quando comparadas às do óleo diesel; e em termos de conteúdo de substâncias aromáticas e biodegradabilidade, o biodiesel é superior ao diesel convencional (TOLMASQUIM, 2003; CHERUBINI, STRØMMAN, 2011; ANGARITA et al., 2012). Todavia, há de se ressaltar que a poluição local também é afetada, pois há aumento de 13% nas emissões de NO<sub>x</sub>, gás precursor do ozônio, tóxico e que contribui para o surgimento e agravamento de doenças nas vias respiratórias (TOLMASQUIM, 2003). No Quadro 3 é possível visualizar as alterações nas emissões de poluentes quando utiliza-se o biodiesel puro em substituição ao óleo diesel mineral.

---

<sup>20</sup>Pentoses: açúcares simples (monossacarídeos) que contém cinco átomos de carbono na molécula (SOUZA et al., 2013).

<sup>21</sup>Biodiesel: definido como um éster metílico e/ou etílico, produzido a partir da transesterificação, uma transformação química de óleos vegetais ou gorduras animais, com qualidade de combustível para motores a diesel (ANP, 2008). Refere-se à um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis.

### Quadro 3 – Emissões de biodiesel em comparação com o óleo diesel

Poluente	Aumento/Redução	Percentual (%)
GEE	Redução	78 a 100
Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> )	Redução	98
Material Particulado	Redução	50
NO <sub>x</sub>	Aumento	13

Fonte: Tolmasquim (2003).

Com o compromisso de viabilizar a produção e o uso do biodiesel, como ação estratégica e prioritária para o Brasil, foi criado pelo governo federal em 2004, o PNPB. Segundo o Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário (MDSA, 2012) o Programa possuía foco na competitividade, na qualidade do biocombustível produzido, na garantia de segurança de seu suprimento, na diversificação das matérias-primas, na redução das emissões de GEE, no fortalecimento das potencialidades regionais para a produção, e com enfoque prioritário, na inclusão social de agricultores familiares, via geração de emprego e renda, consubstanciado no Selo Combustível Social<sup>22</sup> (SCS) como principal mecanismo de estímulo.

Com a criação do PNPB e visando estimular o desenvolvimento e sua consolidação no mercado, o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira através da publicação da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005), tornando-se a partir de 2008, obrigatória sua adição (inicialmente em 2%) ao diesel de petróleo vendido ao consumidor final em qualquer parte do território nacional e seguindo as especificações da mistura óleo diesel/biodiesel estabelecidas pela Resolução Normativa nº 15/2006 (ANP, 2006). Atualmente, o percentual de adição obrigatória nos termos da Lei nº 13.263/2016 está mantido em 8% em volume. Ainda segundo a referida Lei, ficam estabelecidas as datas de 23 de março de 2018 e 23 de março de 2019, o início dos percentuais de adição obrigatória de 9% e 10% respectivamente, existindo ainda, a possibilidade de elevação desses percentuais para até 15% nos próximos anos, após serem realizados testes específicos (BRASIL, 2016). Apesar de possuir uma constituição bastante semelhante ao óleo diesel de petróleo, em virtude de suas elevadas densidade e viscosidade, o biodiesel ainda não pode ser inserido no motor

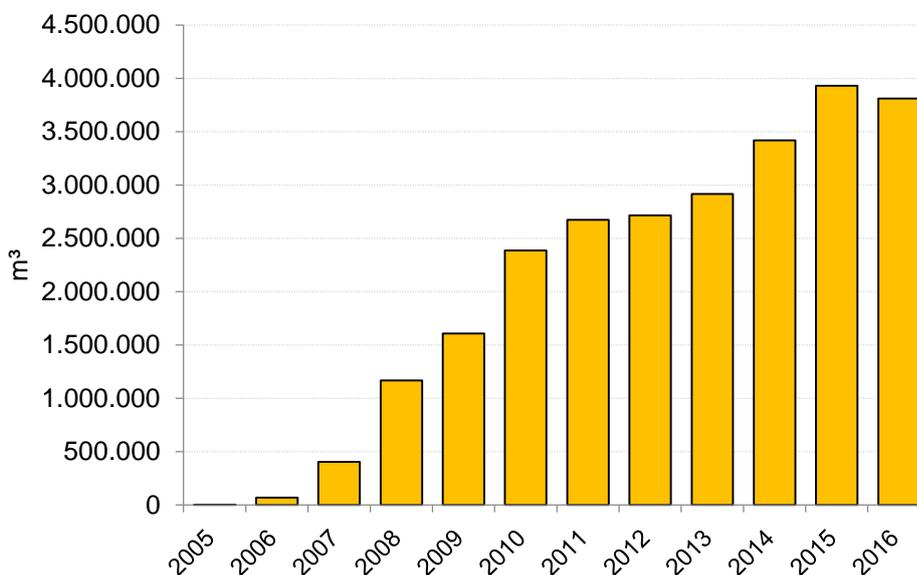
<sup>22</sup>Selo Combustível Social (SCS): diferencia as empresas de produção de biodiesel que apoiam a agricultura familiar. Os produtores que possuem o SCS obtêm vantagens na venda e melhores condições de financiamento (MDSA, 2012).

movido a óleo diesel. Para que isto ocorra, são necessárias adaptações. Por isso é utilizado sendo adicionado ao diesel de petróleo.

No entanto, de acordo com Rico e Sauer (2015), os incentivos proporcionados pelo PNPB parecem insuficientes para os óleos vegetais preferirem o mercado de energia em vez de se beneficiarem do *superávit* mais alto no mercado de alimentos, especialmente, quanto aos respectivos preços reguladores praticados, que são mais elevados do que os equivalentes a óleos fósseis. Além disso, o Programa vem enfrentando problemas políticos-institucionais desde sua implementação, assim como o seu predecessor – o PRÓALCOOL, não atingido plenamente as metas desejadas.

Apesar disso, um levantamento feito pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2017) mostra que desde a adição obrigatória em 2008, o biodiesel tem sido produzido em escala crescente no Brasil, atingindo a marca recorde de 3.930.503 m<sup>3</sup> produzidos em 2015. Este fato sinaliza uma tendência de estabilização e consolidação ainda maior para o setor de biocombustíveis, que tem sentido este crescimento em função de dois fatores: o aumento do percentual de adição obrigatória ao diesel e as campanhas para a utilização de fontes renováveis de energia. Apesar disso, uma pequena queda na produção foi experimentada em 2016, com pouco mais de 119.000 m<sup>3</sup>, quando comparado ao volume produzido em 2015, conforme visualizado no Gráfico 8. Esse resultado se reflete, principalmente, em função da atual retração na atividade econômica do país, que é sentida de forma direta no consumo dos biocombustíveis. Entretanto, apesar desta retração, segundo a ANP (2016), o Brasil tem se destacado nos últimos anos como o segundo maior produtor e consumidor de biodiesel do mundo, atrás somente dos Estados Unidos, e sucedido por Alemanha e Argentina.

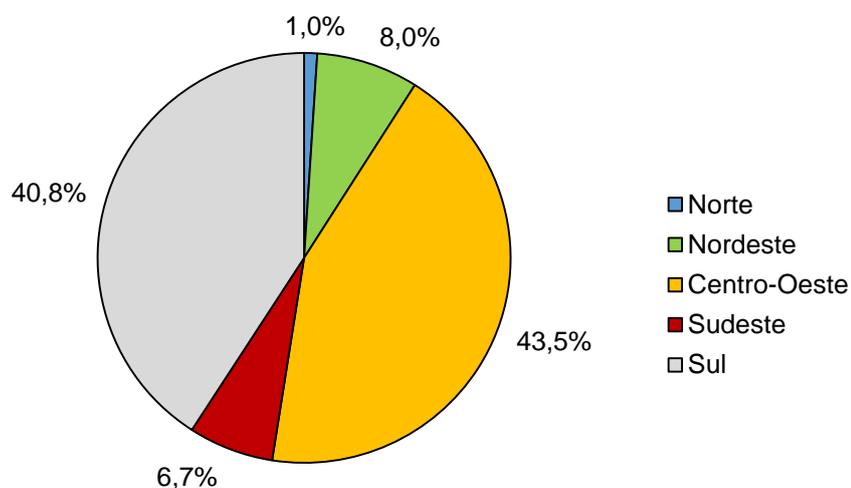
**Gráfico 8 – Produção de biodiesel no Brasil (m<sup>3</sup>)**



Fonte: ABIOVE (2017).

Dos 3.810.863 m<sup>3</sup> de biodiesel produzido no Brasil em 2016, as regiões Centro-oeste e Sul contribuíram predominantemente por esta produção. A primeira, com 43,5% e a segunda, com 40,8%, conforme visualizado no Gráfico 9. Esse fato, se dá em virtude dessas regiões concentrarem os polos produtivos de oleaginosas no país.

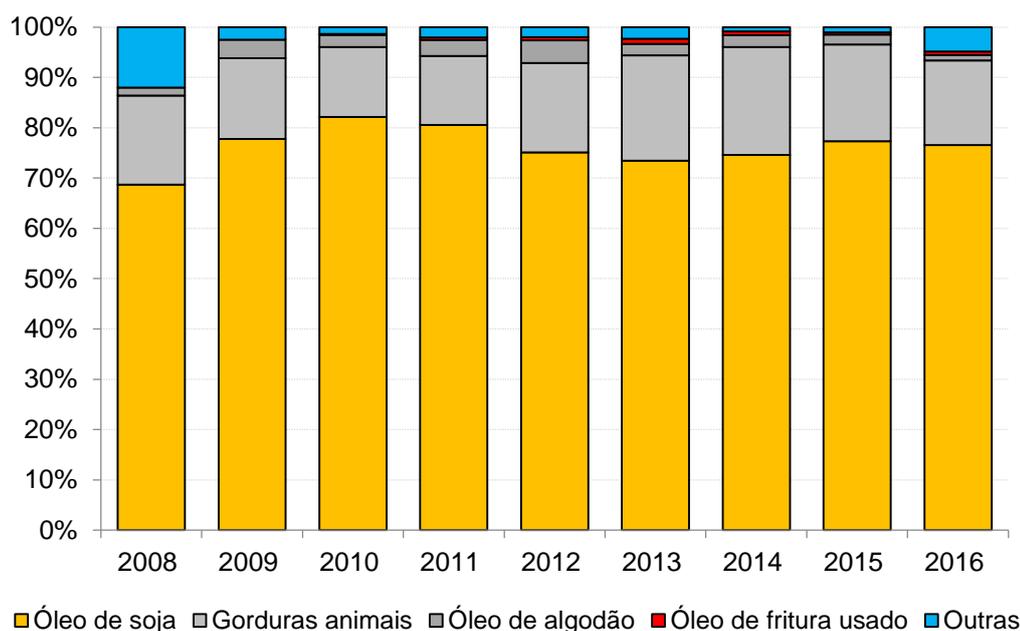
**Gráfico 9 – Participação das regiões brasileiras na produção do biodiesel, em 2016**



Fonte: ABIOVE (2017).

Em 2016, o percentual da produção brasileira de biodiesel se restringiu à utilização de matérias-primas como óleo de soja (majoritariamente, com 77%), seguido pela gordura animal (sebo bovino e gordura suína, com 17%), pelo óleo de algodão (com 1%), pelo óleo de fritura usado (com 1%) e pela utilização de outros materiais graxos (com 5%), conforme visualizado no Gráfico 10.

**Gráfico 10 – Participação de matérias-primas na produção do biodiesel (%)**



Fonte: ABIOVE (2017).

A utilização majoritária do óleo de soja como matéria-prima para o biodiesel se dá em função, sobretudo, das vantagens de cultivo da própria oleaginosa, como o crescimento relativamente rápido, a possibilidade de armazenamento por longos períodos de tempo e a produção não ser restrita a climas quentes ou frios. Características estas que não se fazem presentes na cadeia produtiva de outras oleaginosas, como a palma e o dendê, por exemplo (ABIOVE, 2017).

Com o percentual de adição obrigatória de biodiesel ao diesel, criou-se um mercado que impulsionou a produção de outras culturas alternativas à soja e ao aproveitamento de subprodutos. Por meio das políticas de viabilização da produção (crédito, seguro rural, preço mínimo) e de pesquisas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)), o MAPA tem fomentado o desenvolvimento dessas novas culturas para compor e fortalecer a produção do biodiesel. Neste campo, citam-se as espécies de:

dendê (palma africana), colza, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso, cânhamo, rícino, semente de cardo, canola, etc. (ABIOVE; APROBIO; UBRABIO, 2016). É possível utilizar também, mais de uma fonte vegetal no mesmo biodiesel (CAMPOS; MORAES, 2012).

Ressalta-se, entretanto, que pesquisas e experimentos com a utilização de algumas dessas espécies já foram realizadas, como nos casos: da mamona, proveniente da região Nordeste, que promove maior viscosidade e densidade ao biodiesel; de óleos ou gorduras muito insaturados (como óleo de tungue) e pouco insaturados (como sebo de boi), que levam à produção de biodiesel com restrições nos padrões de qualidade; daquelas que possuem alto teor de ácidos graxos livres (como palmáceas), necessitando de processos prévios de purificação; ou ainda daquelas que exigem alta complexidade de extração dos lipídeos (como algas e microalgas), que acabam por inviabilizar economicamente seus usos como biocombustível (SUAREZ et al., 2009; WAHLEN, WILLIS, SEEFELDT, 2011).

Assim, citam-se como principais desafios na área do biodiesel, o estabelecimento de políticas públicas de longo prazo e no desenvolvimento constante de tecnologias que tragam estabilidade ao setor e a melhor exploração das demais matérias-primas, bem como a utilização de resíduos para a produção deste biocombustível, de modo que atenda aos critérios estabelecidos pelas Resoluções Normativas nºs 7/2008 e 45/2014 (ANP, 2008; 2014), que dispõem sobre a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional. Ressalta-se ainda que os custos do biodiesel variam de acordo com as especificações de cada país, da matéria-prima utilizada e do processo tecnológico empregado.

Destaca-se que o mercado internacional de biodiesel está em expansão e é promissor, principalmente em função do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias avançadas. Neste campo, segundo Semwal e outros (2011), há um grande número de plantas comerciais mundiais produzindo biodiesel por transesterificação de óleos e gorduras vegetais baseadas em base catalisada cáustica.

No Capítulo 3, um levantamento acerca da energia proveniente de resíduos sólidos agropecuários é realizado, incluindo o Estado da Arte da tecnologia disponível no mercado, bem como as possibilidades de comercialização da energia produzida a partir de fontes residuais.

### 3. ENERGIA PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

A utilização de resíduos para fins energéticos já é uma realidade, porém, para afirmar e indicar um determinado material como bom gerador de energia, é necessário a determinação de seu poder calorífico (PAULA et al., 2011). Neste campo, análises feitas pela EPE (2014b) mostram que o Brasil possui um grande potencial energético derivado de resíduos agropecuários oriundos de zonas rurais e que a densidade energética proveniente de tal fonte é considerada elevada. Conjectura-se que com 500 mil toneladas de resíduos, uma termelétrica possa produzir 42 MW/h, durante 4.600h/ano (ENERGIA LIMPA, 2013).

É o montante de biomassa produzida que determina o volume de resíduos disponíveis para a geração de eletricidade. O potencial depende também da tecnologia adotada, que determina a eficiência da conversão em energia elétrica (SOUSA; MACEDO, 2010).

Com o intuito de apresentar as potencialidades de resíduos oriundos do meio rural, a EPE elaborou duas Notas Técnicas: uma referente a economicidade e competitividade de aproveitamento energético dos resíduos rurais e outra referente a um inventário energético destes resíduos. Num primeiro momento, mostrou-se que a atividade agrícola brasileira apresentou expressivos ganhos entre as safras da década de 1990 e a safra de 2010 (EPE, 2014a), com crescimentos de 72% na produtividade da soja, 141% do milho, 105% do feijão, 127% do arroz, 202% do algodão, dentre outras culturas. Conseqüentemente, houve maiores índices de geração de resíduos, os quais, indicam grande viabilidade em termos percentuais de aproveitamento energético, conforme dados disponibilizados na Tabela 2. Observou-se ainda, que no período em questão, a disponibilidade de energia primária mapeada, oriunda desta fonte renovável, foi de aproximadamente 37 milhões de tep (PAGEL; CAMPOS; CAROLINO, 2016).

**Tabela 2 – Síntese de indicadores de disponibilidade e poder calorífico de resíduos sólidos agrícolas selecionados**

	Resíduos disponíveis 2010 [10 <sup>6</sup> tBbs]	Energia disponível nos resíduos [ktep/a]	Energia necessária para disponibilização dos resíduos [ktep/a]	% da energia disponível
Palha de arroz	14	5.281	164	3,1
Palha de feijão	4	478	47	9,8
Resíduos de algodão	1	412	10	2,4
Ramas de mandioca	16	2.341	52	2,2
Palha de milho	101	17.048	1.195	7,0
Palha de soja	94	9.848	1.116	11,3
Palha de trigo	17	2.006	200	10,0

Fonte: EPE (2014a).

Nota: tBbs: Tonelada de biomassa em base seca.

Na Tabela 3, são apresentados os percentuais de energia primária disponível nos resíduos agropecuários, segundo regiões brasileiras. É perceptível que os maiores percentuais energéticos oriundos dessa fonte estão concentrados nas regiões Sul e Centro-oeste, respondendo por 44,9% e 24,6%, respectivamente. Tal fato se dá em função da grande concentração produtiva das culturas agropecuárias nestas regiões e da demanda por exportação de grãos brasileiros.

**Tabela 3 – Energia primária disponível nos resíduos agropecuários distribuídos por região (ktep/a e %)**

Região/UF	Pecuária		Agrícola		Total	
		%		%		%
Rondônia	156	1,5%	249	0,7%	406	0,8%
Acre	24	0,2%	140	0,4%	164	0,3%
Amazonas	38	0,4%	110	0,3%	148	0,3%
Roraima	10	0,1%	50	0,1%	60	0,1%
Pará	182	1,7%	755	2,0%	937	1,9%
Amapá	2	0,0%	46	0,1%	48	0,1%
Tocantins	93	0,9%	512	1,3%	605	1,2%
<b>Norte</b>	<b>507</b>	<b>4,8%</b>	<b>1.862</b>	<b>4,9%</b>	<b>2.369</b>	<b>4,9%</b>
Maranhão	164	1,6%	820	2,1%	985	2,0%
Piauí	106	1,0%	367	1,0%	473	1,0%
Ceará	241	2,3%	184	0,5%	425	0,9%
Rio Grande do Norte	62	0,6%	54	0,1%	116	0,2%

(continua)

**Tabela 3 – Energia primária disponível nos resíduos agropecuários distribuídos por região (ktep/a e %)**

(conclusão)

Região/UF	Pecuária		Agrícola		Total	
Paraíba	89	0,8%	28	0,1%	116	0,2%
Pernambuco	261	2,5%	101	0,3%	362	0,7%
Alagoas	51	0,5%	39	0,1%	90	0,2%
Sergipe	66	0,6%	305	0,8%	371	0,8%
Bahia	503	4,8%	1.683	4,4%	2.186	4,5%
<b>Nordeste</b>	<b>1.543</b>	<b>14,6%</b>	<b>3.581</b>	<b>9,4%</b>	<b>5.124</b>	<b>10,5%</b>
Minas Gerais	1.334	12,6%	2.539	6,6%	3.873	7,9%
Espírito Santo	174	1,6%	44	0,1%	218	0,4%
Rio de Janeiro	131	1,2%	33	0,1%	164	0,3%
São Paulo	1.412	13,4%	1.704	4,5%	3.115	6,4%
<b>Sudeste</b>	<b>3.050</b>	<b>28,9%</b>	<b>4.320</b>	<b>11,3%</b>	<b>7.370</b>	<b>15,1%</b>
Paraná	1.653	15,7%	7.908	20,7%	9.562	19,6%
Santa Catarina	1.228	11,6%	2.024	5,3%	3.252	6,7%
Rio Grande do Sul	1.255	11,9%	7.797	20,4%	9.051	18,6%
<b>Sul</b>	<b>4.135</b>	<b>39,2%</b>	<b>17.729</b>	<b>46,4%</b>	<b>21.865</b>	<b>44,9%</b>
Mato Grosso do Sul	238	2,3%	4.006	10,5%	4.244	8,7%
Mato Grosso	369	3,5%	3.834	10,0%	4.202	8,6%
Goiás	655	6,2%	2.758	7,2%	3.413	7,0%
Distrito Federal	46	0,4%	99	0,3%	145	0,3%
<b>Centro-oeste</b>	<b>1.308</b>	<b>12,4%</b>	<b>10.697</b>	<b>28,0%</b>	<b>12.004</b>	<b>24,6%</b>
<b>Brasil</b>	<b>10.543</b>	<b>100,0%</b>	<b>38.189</b>	<b>100,0%</b>	<b>48.732</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: EPE (2014b).

Observa-se ainda na Tabela 3 que os estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, foram os grandes destaques no referido ano no segmento pecuário, ao passo que, os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul, foram os grandes destaques no segmento agrícola, apresentando um percentual de energia primária disponível nos resíduos superior à 10%.

Todavia, apesar das potencialidades, o Inventário Técnico de Resíduos Rurais reconhece que a utilização de resíduos sólidos agropecuários produzidos no Brasil necessita ainda de avaliações acuradas e precisas sobre o seu potencial de recuperação economicamente viável, além de análises completas de seus ciclos de

vida como produtos energéticos, contabilizando, assim, toda a energia usada no ciclo de vida de um produto, e não somente os insumos energéticos usados na fabricação (EPE, 2014b). Apesar da escassez de informações disponíveis sobre estes parâmetros, estudos nesse sentido começam a ser desenvolvidos de forma mais consciente frente às expectativas da valorização destes resíduos para diversas aplicações sustentáveis, uma vez que, são renováveis, abundantes e necessitam de disposição final adequada.

Neste campo, uma pesquisa desenvolvida por Phanphanich e Mani (2011), por exemplo, revela que o pré-tratamento térmico ou a torrefação da biomassa florestal sob condições de ausência de oxigênio, podem produzir um combustível de biomassa sólida de qualidade consistente e de alta densidade de energia para aplicações de combustão e co-queima. Dos resultados encontrados na pesquisa, revelou-se que a torrefação da biomassa apresenta claramente as características de um combustível melhorado e com propriedades de moagem bem próximas à do carvão vegetal.

Muito embora “entende-se, também, que ocorrem inviabilidades técnicas no aproveitamento dos resíduos”, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012, p. 41). Neste âmbito, alguns itens devem ser mencionados, tais como a necessidade de grande quantidade de resíduos para que se possa atingir um valor alto de potencial energético e gerar excedentes; a necessidade de criar infraestrutura de distribuição de energia próxima à área agricultável (CHONG; TEO; TANG, 2016), somados ainda, à necessidade de tecnologias mais eficientes para grandes escalas e com menores custos, para tornar todo o processo rentável (SARKAR et al., 2012).

Para a EPE (2014a), a energia potencial que pode ser produzida a partir de resíduos oriundos da atividade agropecuária no Brasil, chega a 23 GW/ano, o equivalente a 201.471 GWh/ano. Isso representa cerca de 17% do consumo total de energia do país, o que permitiria uma redução considerável das emissões de GEE.

Neste ínterim, um levantamento do Estado da Arte das rotas tecnológicas de aproveitamento energético de resíduos agropecuários é realizado e apresentado no item 3.1.

### 3.1 ROTAS TECNOLÓGICAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

Constantemente tecnologias modernas e eficientes de utilização de biomassa residual na produção de energia, estão sendo desenvolvidas para produzir óleos fluidos, eletricidade e calor. As fontes utilizadas são diversificadas e incluem madeira, cana-de-açúcar e o bagaço, amido, plantações energéticas, resíduos da agricultura e da pecuária, e produtos de floresta.

As tecnologias desenvolvidas para o uso em larga escala da biomassa residual configuram opções reais nos países que dispõem de larga quantidade de resíduos agrícolas, florestais e pecuários ou que tenham grandes áreas para plantio de fazendas energéticas, como no caso do Brasil. Além disso, áreas degradadas e desmatadas são potencialmente adequadas para o cultivo deste insumo energético.

Na atualidade, as principais rotas tecnológicas de conversão energética dos resíduos agropecuários em termos de produção de biocombustíveis e geração de eletricidade, segundo a EPE (2014b), se dão por processos bioquímico, termoquímico, térmico e de densificação. Como processo bioquímico, tem-se a Digestão Anaeróbica. Como processos termoquímicos, têm-se a Transesterificação, a Pirólise e a Gaseificação. Como processo de densificação, têm-se a Briquetagem e Peletização. E finalmente, como processo térmico, tem-se a Combustão Direta, conforme visualizado na Figura 5.

**Figura 5 – Rotas tecnológicas de conversão energética dos resíduos sólidos agropecuários**



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2014b).

Destas rotas, a digestão anaeróbica, a transesterificação, a briquetagem e peletização, e a combustão direta, já são aplicadas comercialmente no Brasil. Ao passo que, tecnologias mais avançadas como a gaseificação e a pirólise, ainda se encontram em estágio de desenvolvimento e demonstração para grandes potências.

### 3.1.1. Digestão Anaeróbica

A primeira delas, digestão anaeróbica, também conhecida como biometanização, é uma tecnologia eficaz e amplamente utilizada no mundo para tratar resíduos animais para a produção de bioenergia (LIU; LIAO; LIU, 2016). Refere-se ao processo bioquímico realizado em biodigestores (atividade industrial) ou através de aterros sanitários<sup>23</sup> (atividade natural), em que bactérias, na ausência de oxigênio, consomem o material e produzem biogás (para geração de energia elétrica e de biocombustíveis), e material compostável, como biofertilizantes<sup>24</sup> (EPE, 2014b).

Assim como no resto do mundo, a produção de biogás no Brasil ocorre, principalmente, no meio rural, embora nesse meio se utilizem biodigestores mais simples, que têm como vantagem a menor área que ocupam, apesar do maior custo. Em geral são pequenos, de utilização doméstica, com volumes úteis entre 1-10 m<sup>3</sup>, funcionam de forma descontínua e são alimentados com resíduos domésticos e da atividade agropecuária (ANASTÁCIO, 2010).

Segundo levantamento em diversas literaturas, os custos da implantação da digestão anaeróbica variam de acordo com o método e a matéria-prima, e existem na atualidade distintos modelos tecnológicos de biodigestores (*Upward-flow Anaerobic Sludge Blanket* – UASB; *Contact Stirred Tank Reactor* – CSTR; *Expanded Granular Sludge Bed* – EGSB; *Anaerobic Fluidized Bed Reactor* – AFBR, dentre outros).

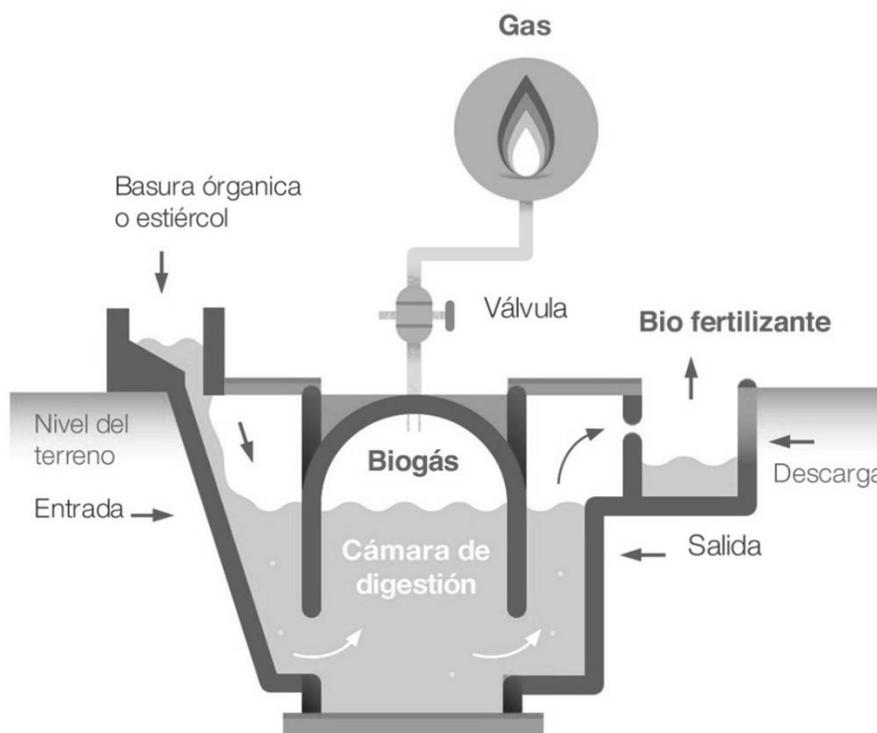
---

<sup>23</sup>No caso dos aterros sanitários, o biodigestor é o próprio rejeito enterrado. O biogás é recolhido por tubulações e tratado. É economicamente viável produzir biogás em aterros se, quando este recebe 200 toneladas de rejeito/dia, tem capacidade mínima de recepção da ordem de 500.000 toneladas e altura mínima de carregamento de 10m (CEMIG, 2012).

<sup>24</sup>Biofertilizante: é a sobra de biomassa residual que resta no interior do biodigestor depois que o biogás é produzido. Ao ser retirada e devidamente tratada, constitui-se num excelente adubo orgânico para a fertilização do solo e plantas e em uma fonte de macro e micronutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) (SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007).

Todavia, ressalta-se que esta pesquisa centra-se apenas na identificação destes modelos e não em estudos comparativos entre ambos. Na Figura 6, visualiza-se o funcionamento geral de um modelo básico de biodigestor e da produção de biogás por digestão anaeróbica.

**Figura 6 – Modelo de biodigestor e de produção do biogás**



Fonte: TWENERGY (2017).

As vantagens da utilização da digestão anaeróbica para fins energéticos, estão no fato de que: a umidade dos resíduos não é um problema; vários resíduos podem ser tratados de maneira conjunta (codigestão); seu consumo energético é muito inferior ao dos processos anaeróbicos; produz o biogás combustível que pode ser facilmente aproveitado; melhora-se a economia familiar no âmbito rural ao se produzir a energia; são sistemas simples e fáceis de administrar; há uma ampla gama de tecnologias disponíveis e de fácil reparação, sendo que as mais simples para o meio rural de países em desenvolvimento têm baixo custo de investimento e manutenção, entre outros (UNIDO, 2016). Ao passo que, podem ser listadas como desvantagens os parâmetros operacionais, tais como: o tempo (geralmente elevado) do processo de digestão da matéria orgânica; e a alta sensibilidade dos microrganismos envolvidos no processo, exigindo que o reator esteja sempre equilibrado (ABILOGÁS, 2015).

### 3.1.2. Transesterificação

Como segunda rota tecnológica de conversão energética, a transesterificação, também conhecida como alcoolize, refere-se a uma reação termoquímica de óleos vegetais ou gorduras animais com um álcool (geralmente metanol ou etanol), empregada para a produção dos biocombustíveis líquidos, como o etanol, o biodiesel e óleos vegetais diversos, que durante o seu processo produtivo gera como subproduto, a glicerina<sup>25</sup>. Esse método é bastante viável, uma vez que se processa de modo rápido estimulado por um catalisador<sup>26</sup> (ácido ou básico), é barato comercialmente e se realiza em pressão ambiente.

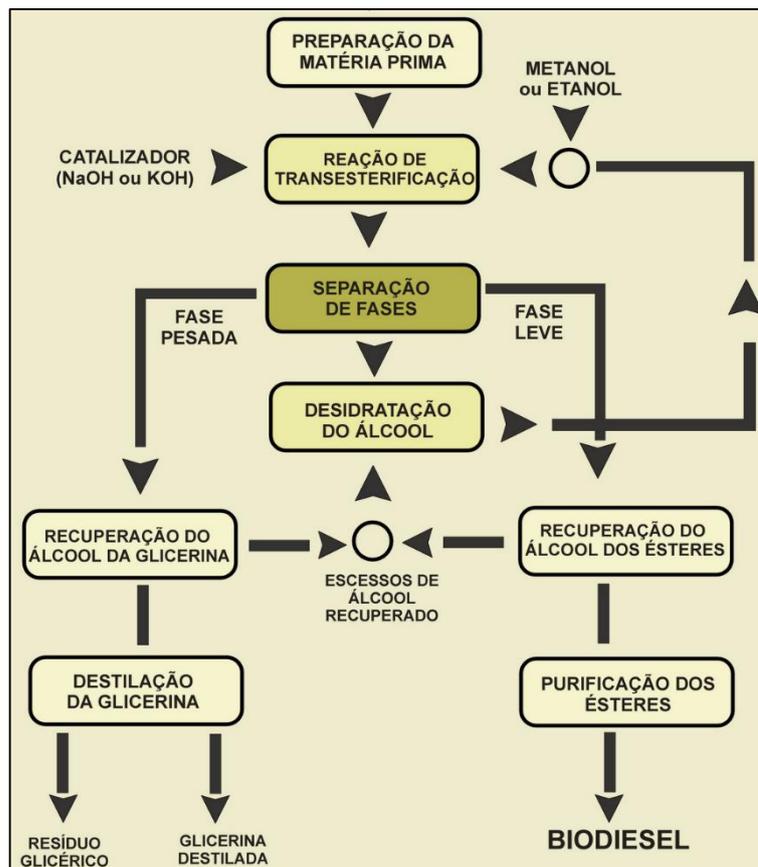
As vantagens da utilização da transesterificação para fins energéticos estão no fato de que o investimento inicial é bem menor quando comparado a outras tecnologias (ANGARITA et al., 2012); a emulsão é facilmente dispersada; há a separação imediata da glicerina (embora contaminada), etc. Como desvantagens, citam-se: a geração de glicerina, exigindo matérias-primas semi-refinadas e portanto mais caras; e a separação da glicerina requer grandes quantidades de ácidos para quebra da emulsão, o que gera um custo operacional adicional elevado e necessitando de várias etapas de lavagem, gerando efluentes que precisam passar por tratamento, que implica em custos com compostos químicos (GOG et al., 2012). Na Figura 7, visualizam-se as etapas do processo de produção do biodiesel por transesterificação.

---

<sup>25</sup>Glicerina: é um coproduto da cadeia do biodiesel, que corresponde a 10% em massa do biocombustível produzido. Quando purificada, classifica-se como “glicerol” e é um produto valorizado nos mercados de sabões (detergentes), de cosméticos, de fabricação de resinas, de indústrias farmacêuticas, etc. Em 2016, foram produzidas cerca de 340 mil toneladas de glicerina bruta (EPE, 2017).

<sup>26</sup>Catalisador: substância que acelera a velocidade de uma reação química, sem ser consumido durante o processo. Geralmente hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH).

**Figura 7 – Processo de produção do biodiesel por transesterificação**



Fonte: BIODIESELBR (2017).

Além disso, na produção de biodiesel por esta rota, estudos realizados por Atadashi; Aroua e Aziz (2011) mostram que a separação e purificação de biodiesel, apesar de ser uma tecnologia mais barata que outras, no entanto, é crítica. Ainda de acordo com os autores, as tecnologias convencionais utilizadas para a separação de biodiesel, tais como sedimentação gravitacional, decantação, filtração e purificação de biodiesel, têm demonstrado ser ineficazes em termos de tempo e energia consumíveis e pouco rentáveis.

### 3.1.3. Pirólise

Como terceira rota de conversão, tem-se a pirólise, também conhecida como craqueamento térmico. É definida pela EPE (2014b) como o processo em que ocorre a degradação da matéria orgânica, sob temperaturas consideradas baixas – entre 300 e 500°C, resultando em subprodutos combustíveis sólidos (carvão vegetal), líquidos

(óleo pirolítico ou bio-óleo) e gasosos (gás pirolítico) que podem ser utilizados para fins energéticos ou para a síntese de produtos químicos. Esses subprodutos podem ser produzidos em diversos tipos de reatores, tais como: de leito fluidizado, de prato rotativo, de vórtice, de pirólise a vácuo, entre outros. Atualmente, entretanto, “o mercado para os produtos de pirólise só está desenvolvido para o carvão vegetal” (CEMIG, 2012, p. 12).

As vantagens da utilização da pirólise para fins energéticos, estão no fato de que há disponibilidade de equipamentos – no mercado internacional – com controle total da combustão e da emissão de gases; de que esta tecnologia permite o aproveitamento da energia térmica da carbonização em cogeração para o próprio processo; na existência de um amplo mercado consumidor, tanto para uso industrial, como residencial, entre outras. Como desvantagens, citam-se: as limitações no uso de resíduos devido às suas especificações de qualidade; na liberação de gases tóxicos ao ser humano; e como uma alternativa poluente com a emissão de gases e efluentes tóxicos quando há a utilização de resíduos sem o devido controle em fornos artesanais durante o processo de conversão (WIECHETECK, 2009).

#### **3.1.4. Gaseificação**

Como quarta forma de conversão, a gaseificação, é o processo termoquímico em que é fornecida uma quantidade de agente oxidante não suficiente para se conseguir a conversão completa da matéria orgânica, obtendo-se uma combustão que ocorre na faixa dos 800 a 900°C (EPE, 2014b). Necessita de uma fonte externa de energia (calor) para seu desenvolvimento.

O subproduto principal da gaseificação é um gás de combustão, definido como gás de síntese, composto por H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub> (sendo os três últimos em quantidades mínimas) e obtido através de oxidação parcial que utiliza um agente de gaseificação (pode ser ar, vapor d’água, oxigênio ou uma mistura destes) durante o processo, podendo ser utilizado tanto em caldeiras, como em motores ou turbinas a gás (WANG et al., 2008). Para tanto, exige-se a limpeza deste gás combustível para a remoção dos compostos indesejados (enxofre, alcalinos, alcatrão e particulados) (MARTINEZ et al., 2012). Todavia, ressalta-se que as características desse gás de

síntese, em termos de quantidade e qualidade, dependem das condições de operação do processo (temperatura, velocidade ou taxa de aquecimento, granulometria do material, tempo de residência no reator, etc.) (CHIARAMONTI; OASMAA; SOLANTAUSTA, 2007).

De acordo com a CEMIG (2012, p. 174) “a tecnologia dos gaseificadores é antiga e, dentro de certos limites, comercialmente disponível, entretanto aquela já disponível comercialmente ainda não produz o gás purificado”. Eles podem ser divididos entre gaseificadores de leito fixo (mais antigos e mais difundidos) e de leito fluidizado.

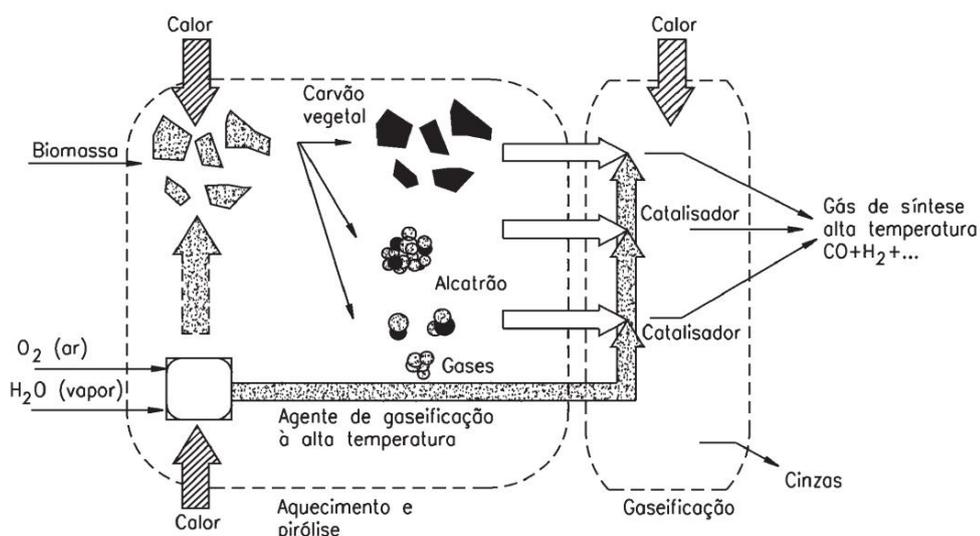
A tecnologia de gaseificação da biomassa residual está em fase de aprimoramento e apresenta excelente perspectiva de viabilidade comercial. A maior atratividade desta tecnologia está relacionada a mercados específicos, ou nichos de mercado, tais como áreas com restrições a combustíveis fósseis ou com custos elevados, áreas com prioridade de desenvolvimento rural, áreas com disponibilidade de rejeitos ou resíduos diversos e áreas onde os custos da biomassa são significativamente baixos (MOLINO et al., 2016).

As vantagens da utilização da gaseificação para fins energéticos estão no fato de que com opções de baixo custo, ela permite: atender comunidades isoladas com geradores de pequeno porte; o aproveitamento de resíduos gerados na própria unidade fabril; a geração de energia térmica e elétrica, sem a necessidade de um motor alternativo a vapor ou turbina de condensação; o aproveitamento da energia térmica da combustão em outros processos fabris; e o aproveitamento de todos os tipos de resíduos de madeira. Como desvantagens, citam-se: a concentração de fabricantes de equipamentos nas regiões Sul e Sudeste, resultando em elevados custos de frete de equipamentos para comunidades de outras regiões do país; é uma tecnologia sensível ao teor de umidade, o que influencia altamente na eficiência do equipamento; é uma tecnologia mais complicada que a queima direta; e exige total precaução com o vazamento de gases, que são tóxicos (WIECHETECK, 2009).

Menciona-se ainda que os processos de pirólise e gaseificação podem ocorrer conjuntamente e serem complementares. Na Figura 8, é possível visualizar as principais etapas do processo de gasificação e pirólise de biomassa residual, onde:

A pirólise constitui a primeira fase do processo, na qual se forma o carvão vegetal, alcatrão (hulha, que se obtém da destilação de certas matérias orgânicas) e gases. Em paralelo, uma pequena fração de biomassa é oxidada, a fim de elevar a temperatura de reação até valores compreendidos entre 800 e 1200°C, dependendo da quantidade e do tipo de agente de gaseificação fornecido. Assim, é possível atingir o nível de temperatura adequado, tanto para o desenvolvimento da etapa de pirólise, como para a gaseificação propriamente dita dos produtos gerados (LORA et al., 2012. p. 422).

**Figura 8 – Principais etapas de gaseificação e pirólise da biomassa residual**

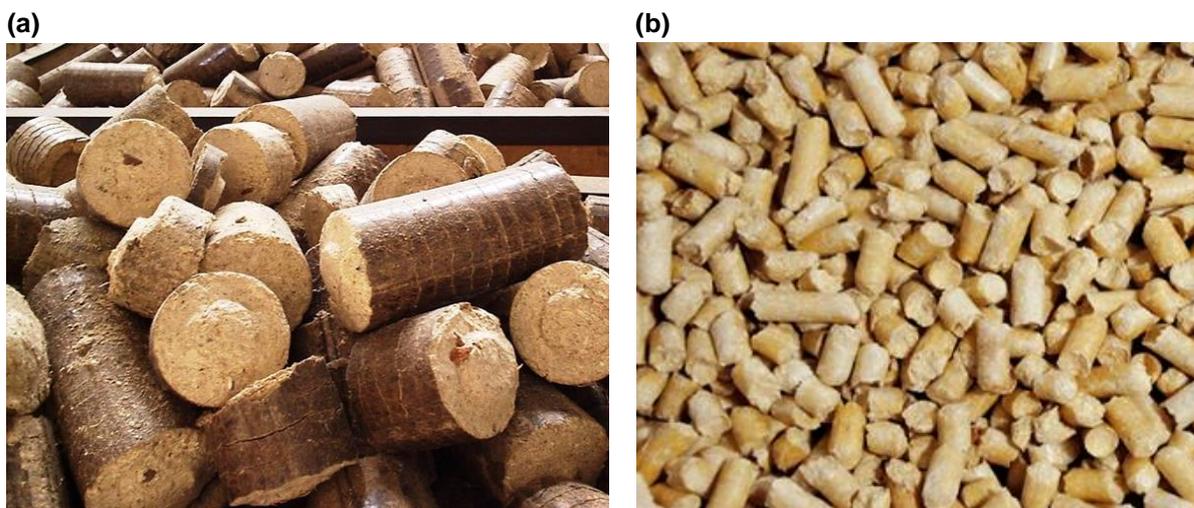


Fonte: Konoef apud Lora et al. (2012).

### 3.1.5. Briquetagem e Peletização

Como quinta rota de conversão energética dos resíduos, as tecnologias de briquetagem e peletização, consistem em um processo de densificação energética de biomassa residual agrícola, agroindustrial e, principalmente, florestal. Através da aglomeração de partículas finas por meio de pressão, obtém-se um produto não só compactado, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados para a sua queima, realizada majoritariamente pelos setores industrial e energético, em fornos, caldeiras e usinas termelétricas, além das possibilidades em lareiras e fogões. O produto da briquetagem é o briquete e da peletização é o *pellet* (ou pélete), os quais podem ser visualizados na Figura 9.

**Figura 9 - Briquetes (a) e *pellets* (b) de resíduo florestal**



Fonte: EMBRAPA (2012).

Segundo a EMPRAPA (2012, p. 3):

Os briquetes têm densidade de 650-1200 kg/m<sup>3</sup>, diâmetro de aproximadamente 60 mm e comprimento de 25 a 300 mm. Os *pellets* têm densidade de 650 a 700 kg/m<sup>3</sup>, diâmetro entre 6 e 16 mm, comprimento de 25 a 30 mm. Ambos têm poder calorífico superior, na faixa de 16,9 a 17,6 MJ/kg e umidade entre 7 e 12%. Para exportação, esses biocombustíveis sólidos devem atender às normas técnicas do cliente ou do país importador.

A compactação do material é garantida pela lignina que está contida na madeira e permite a produção dos materiais sem o uso de colas ou ligantes. São processos que alteram a conformação física da matéria-prima, mas não a composição química, que é dependente da biomassa de origem. Os objetivos dessas tecnologias são o aumento da concentração energética, a uniformidade de tamanho e formato dos produtos, a facilidade de armazenamento, a segurança contra incêndios e a agregação de valor à biomassa residual (EMBRAPA, 2012).

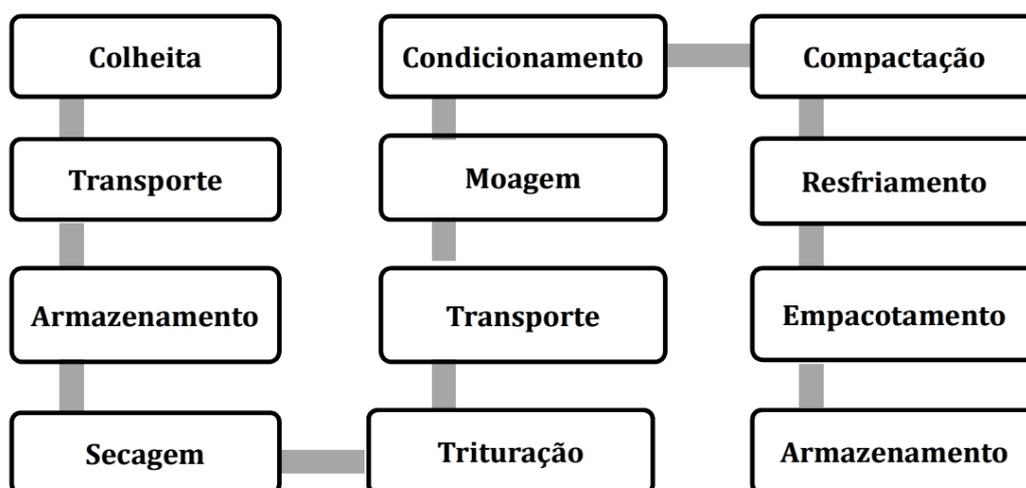
A madeira é a matéria-prima mais utilizada na produção dos *pellets*, mas devido ao grande número de usinas de álcool e açúcar no país e do volume de bagaço de cana gerado por elas no processo, algumas empresas fazem a peletização com esse resíduo. O bagaço gerado pelas usinas tem dois fatores que atrapalham sua utilização como energia: alto teor de umidade, o que aumenta o custo de secagem, e a baixa densidade, o que aumenta o custo do transporte. Além disso, as usinas preferem utilizar este bagaço *in natura* (com alta umidade e baixo poder calorífero) do que

peletizá-lo. O alto custo do processo de compactação para grandes volumes, e da matéria-prima, acabam por diminuir a rentabilidade desta operação.

Há uma produção isolada, mas crescente de usinas localizadas, majoritariamente, nos estados de São Paulo, Espírito Santo, Santa Catarina e Paraná produzindo briquetes e *pellets* de madeira. Estima-se que, no Brasil, a produção chega a 160 mil toneladas por ano (IBÁ, 2015).

A cadeia produtiva dos briquetes e *pellets* envolve as etapas iniciais de colheita, transporte e armazenamento da matéria-prima em silos. Em seguida, dá-se início ao pré-tratamento do material, secando-o em secadores e triturando-o com picadores. O material é então transportado para a unidade de moagem, onde é moído e acondicionado. Posteriormente, o material é compactado, resfriado, empacotado/empilhado e, por fim, armazenado em estoques para distribuição e comercialização, conforme visualizado na Figura 10.

**Figura 10 – Etapas de transformação da matéria-prima em briquetes ou *pellets***



Fonte: Nelson et al. apud Batista (2014).

As vantagens da utilização dos métodos de briquetagem e peletização para fins energéticos estão no fato de que permitem o aproveitamento dos produtos gerados na própria unidade fabril; no menor teor de umidade que a lenha; no menor custo de transporte que a lenha; na tecnologia totalmente nacional disponível no mercado; no alto poder calorífico; no processo de fabricação relativamente simples; na possibilidade de exportação do *pellet*; e por permitirem o aproveitamento de todos os

resíduos da madeira. Como desvantagens, citam-se: a concentração exclusiva de fabricantes de equipamentos nas regiões Sul e Sudeste, resultando em elevados custos de frete de equipamentos para comunidades de outras regiões do país; o alto custo do processo de compactação; a fabricação em comunidades isoladas torna a produção inviável devido a custos com transporte do produto final até o mercado consumidor; e a concorrência com a alta oferta de lenha que apresenta menor preço para compra, acabam por diminuir a rentabilidade dessa operação (WIECHETECK, 2009).

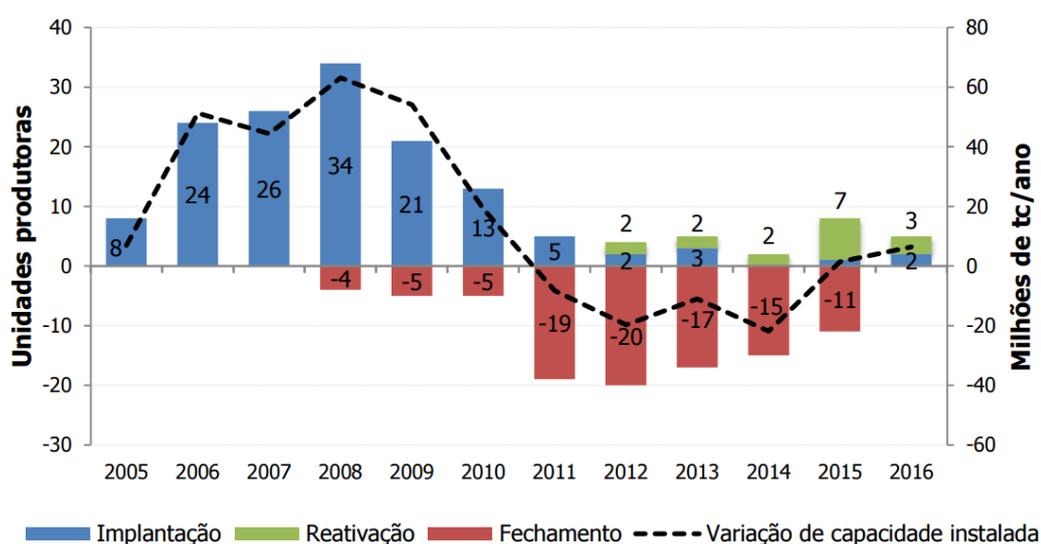
### **3.1.6. Combustão direta**

E finalmente, como sexta e última rota de conversão energética dos resíduos, a combustão direta, maneira mais antiga e rudimentar de se obter energia a partir de resíduos sem tratamento prévio, refere-se ao processo em que é fornecida uma quantidade suficiente de oxidante para conseguir a combustão completa de carga combustível, tendo como produtos principais, um gás de combustão a elevada temperatura contendo CO<sub>2</sub>, vapor d'água e energia térmica na forma de calor (CEMIG, 2012; EPE, 2014b).

As vantagens da utilização da combustão direta para fins energéticos, estão no fato de que esta rota permite o aproveitamento de resíduos gerados na própria unidade fabril; permite o aproveitamento da energia térmica da combustão em outros processos, como a secagem de madeira, geração de energia elétrica, etc.; há possibilidade de equipamentos de fabricação nacional com diversas opções de fornecedores; permite o aproveitamento de todos os tipos de resíduos da madeira. Como desvantagens, citam-se: alguns dos sistemas mais eficientes de geração de energia apresentados exigem investimentos elevados, tornando-se inviáveis para a maioria das empresas geradoras de resíduos (não capitalizadas); concentração de fabricantes de equipamentos nas regiões Sul e Sudeste, resultando em elevados custos de frete de equipamentos para comunidades de outras regiões do país; é extremamente difícil a fiscalização da incineração, tanto em meio rural quanto urbano; e a incineração lançada à céu aberto é uma alternativa poluente (WIECHETECK, 2009).

Esta rota tecnológica é uma realidade consolidada em Usinas Termelétricas de Energia (UTE) brasileiras, as quais utilizam, predominantemente, o bagaço da cana-de-açúcar como combustível abastecedor. No mercado elétrico brasileiro, há diversas UTE's em operação ofertando energia ao SIN, e outras decididas a fazê-lo no longo prazo, as quais ainda estão em fase de construção. No Gráfico 11 é possível visualizar o fluxo de implantação, reativação e fechamento das usinas movidas à biomassa da cana no Brasil, entre os anos de 2005 e 2016. Neste período, estima-se que a capacidade da cana tenha aumentado 186 Mt (EPE, 2017), mesmo com uma queda significativa sentida no número de usinas implantadas a partir de 2008, em função da crise econômica enfrentada pelo país nesta época, e do elevado grau de endividamento das UTE's. No entanto, o que se observa é que houve um aumento anual no número de usinas que foram reativadas. Com relação a este cenário de estagnação, pesquisas da EPE (2017) mostram que não há expectativa de mudanças no curto prazo.

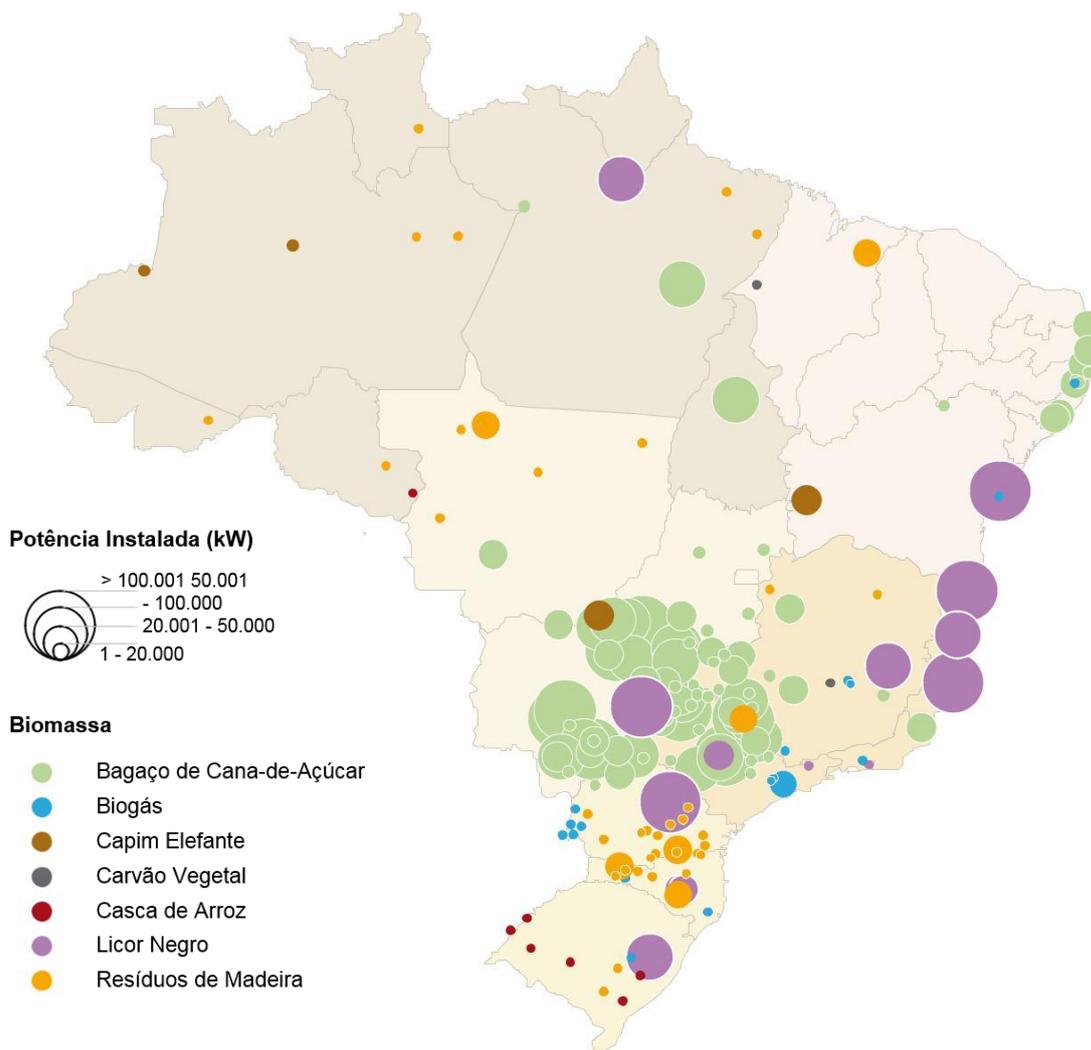
**Gráfico 11 – Fluxo de implantação, reativação e fechamento de UTE's à base de biomassa da cana no Brasil, 2005 a 2016**



Fonte: EPE (2017).

A distribuição geográfica brasileira das UTE's em operação que utilizam de biomassa como fonte combustível, pode ser visualizada na Figura 11.

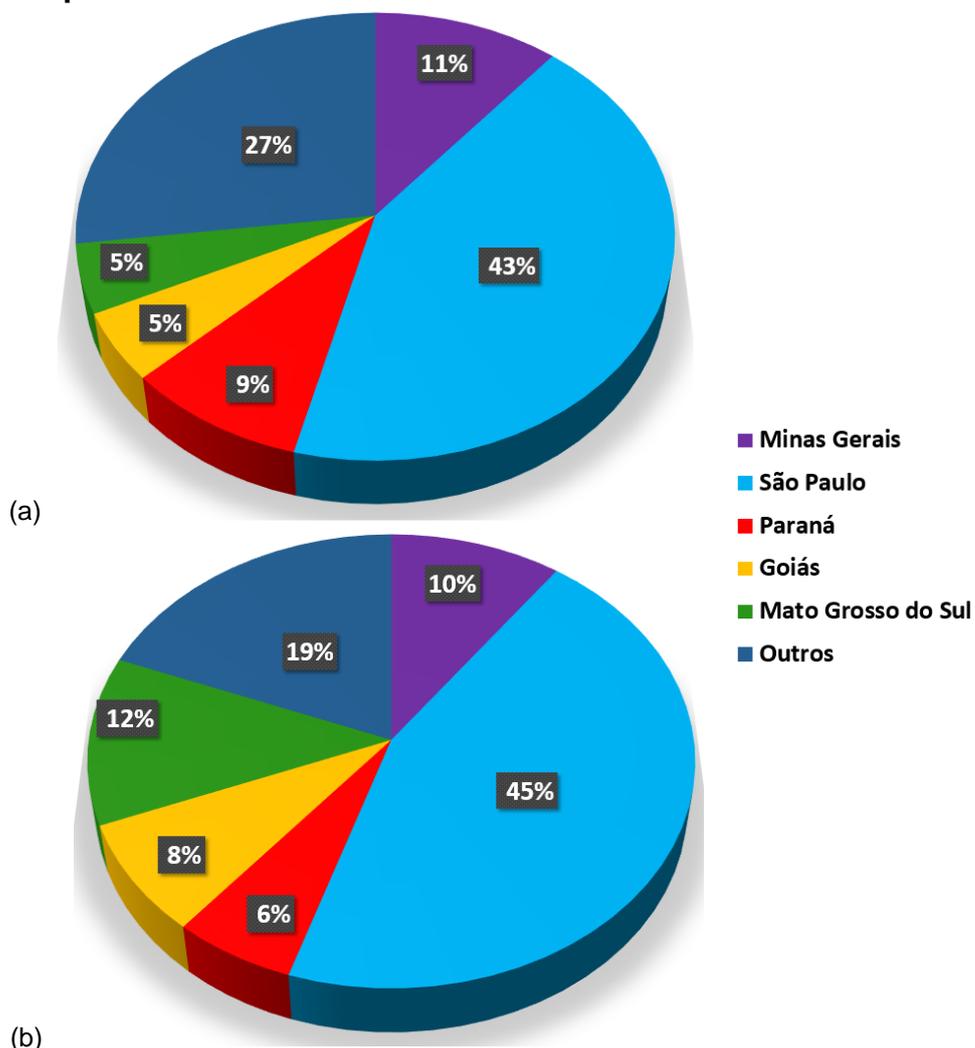
**Figura 11 – Distribuição geográfica de UTE's à base de biomassa no Brasil**



Fonte: ABRAF (2013).

Nota-se na Figura 11 que há uma predominância destas usinas no estado de São Paulo, que sozinho responde por 43% do quantitativo em operação e de 45% de toda a potência instalada no país advinda de UTE's, conforme visualizado no Gráfico 12. O fato deste estado ser o principal polo gerador, se justifica, sobretudo, por este ser também o maior centro consumidor de açúcar, etanol e energia elétrica no país (SANTOS, 2012).

**Gráfico 12 – Percentual da quantidade (a) e da potência instalada (b) de UTE's à biomassa no Brasil por UF**



Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2016a).

Dos 4.660 empreendimentos em operação hoje no Brasil capazes de gerar o montante de 152,2 GW de potência instalada, 2.926 são referentes às UTE's que têm sido responsáveis por gerar 40,9 GW. Isso representa 26,94% de todo o potencial elétrico produzido no país. Destas 2.946 UTE's, 513 possuem como fonte combustível biomassa oriunda do meio rural (ANEEL, 2017). Na Tabela 4, essas UTE's são identificadas e suas potências instaladas evidenciadas. Menciona-se que optou-se por excetuar a participação das 398 usinas alimentadas por bagaço de cana-de-açúcar na referida Tabela, por ser esta uma fonte de geração de energia elétrica já considerada convencional no Brasil.

Tabela 4 – UTE's à biomassa em operação no Brasil, em 2017

(continua)

Usina	Potência Fiscalizada (kW)	Município (UF)	Fonte Nível 2
Açominas	210.400	Aracruz (ES)	Licor Negro
Bahia Pulp (Antiga Bacell)	108.600	Camaçari (BA)	Licor Negro
Suzano Mucuri (Antiga Bahia Sul)	214.080	Mucuri (BA)	Licor Negro
Celulose Irani	4.900	Vargem Bonita (SC)	Licor Negro
Klabin Otacílio Costa (Antiga Igaras)	33.745	Otacílio Costa (SC)	Licor Negro
Jari Celulose	55.000	Almeirim (PA)	Licor Negro
Ripasa	53.480	Limeira (SP)	Resíduos Florestais
Tramontina	1.500	Belém (PA)	Resíduos Florestais
Usina Central Termelétrica de Geração (Antiga Forjasul)	1.800	Encruzilhada do Sul (RG)	Resíduos Florestais
Rigesa	32.500	Três Barras (SC)	Resíduos Florestais
Itaqui	4.200	Itaqui (RS)	Casca de Arroz
Klabin	113.250	Telêmaco Borba (PR)	Licor Negro
Cenibra	100.000	Belo Oriente (MG)	Licor Negro
Sinop	6.000	Sinop (MT)	Resíduos Florestais
Miguel Forte	16.000	União da Vitória (PR)	Resíduos Florestais
Urbano São Gabriel	2.200	São Gabriel (RS)	Casca de Arroz
Pizzatto	2.000	General Carneiro (PR)	Resíduos Florestais
Piratini	10.000	Piratini (RS)	Resíduos Florestais
Ecoluz	12.330	Guarapuava (PR)	Resíduos Florestais
Nobrecel	3.200	Pindamonhangaba (SP)	Licor Negro
João Neiva	3.500	João Neiva (ES)	Carvão Vegetal
Itacoatiara	9.000	Itacoatiara (AM)	Resíduos Florestais
Pampa	400	Belém (PA)	Resíduos Florestais
Simasa	8.000	Açailândia (MA)	Carvão Vegetal
Rickli	5.000	Carambeí (PR)	Resíduos Florestais
CAAL	3.825	Alegrete (RS)	Casca de Arroz
Usiminas	18.810	Ipatinga (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Lwarcel (Antiga Lençóis Paulista)	38.000	Lençóis Paulista (SP)	Licor Negro
Siderpa	2.400	Sete Lagoas (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Gaseifamaz I	27	São Paulo (SP)	Resíduos Florestais
Lages	28.000	Lages (SC)	Resíduos Florestais
Dois Vizinhos	1.980	Dois Vizinhos (PR)	Resíduos Florestais
Rohden	3.500	Saleta (SC)	Resíduos Florestais
Viena	7.200	Açailândia (AM)	Carvão Vegetal
Egídio	2.000	Juruena (MT)	Resíduos Florestais
Battistella	3.150	Rio Negrinho (SC)	Resíduos Florestais
Terranova I	3.000	Rio Negrinho (SC)	Resíduos Florestais
Veracel	117.045	Eunápolis (BA)	Licor Negro
SVA	11.200	Alegrete (RS)	Casca de Arroz
Irani	9.800	Vargem Bonita (SC)	Resíduos Florestais
Vetorial	3.500	Ribas do Rio Pardo (MS)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Calsete	2.000	Sete Lagoas (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Bragagnolo	1.200	Faxinal dos Guedes (SC)	Resíduos Florestais
Pirai	9.000	Pirai do Sul (PR)	Resíduos Florestais
Usipar Indústria e Comércio	4.997	Pitangui (MG)	Carvão Vegetal
Usiminas 2	63.155	Ipatinga (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
São Borja	12.500	São Borja (RS)	Casca de Arroz
Valinho	2.000	Divinópolis (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Sykué I	30.000	São Desidério (BA)	Capim Elefante
Unidade de Geração de Energia Elétrica - Agrency - Mato Grosso	34.000	Alto Araguaia (MT)	Capim Elefante
Fibria - MS (Antiga VCP - MS)	163.200	Três Lagoas (MS)	Licor Negro
Gusa Nordeste	10.000	Açailândia (AM)	Carvão Vegetal
Energy Green	5.000	Carambeí (PR)	Resíduos Florestais
Rical	2.288	Vilhena (RO)	Casca de Arroz
Santa Maria	3.400	Guarapuava (PR)	Resíduos Florestais
Camil Alimentos - Camaquã	4.000	Itaqui (RS)	Casca de Arroz
Nortao	1.275	Aripuanã (MT)	Resíduos Florestais
Bio Fuel	4.800	São João da Baliza (PR)	Resíduos Florestais
Unidade Industrial de Aves	160	Matelândia (PR)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Unidade Industrial de Vegetais	40	Itaipulândia (PR)	Biogás/Resíduos Agrícolas
ETE Ouro Verde	20	Foz do Iguaçu (PR)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Star Milk	110	Céu Azul (PR)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Berneck	12.000	Araucária (PR)	Resíduos Florestais

Tabela 4 – UTE's à biomassa em operação no Brasil, em 2017

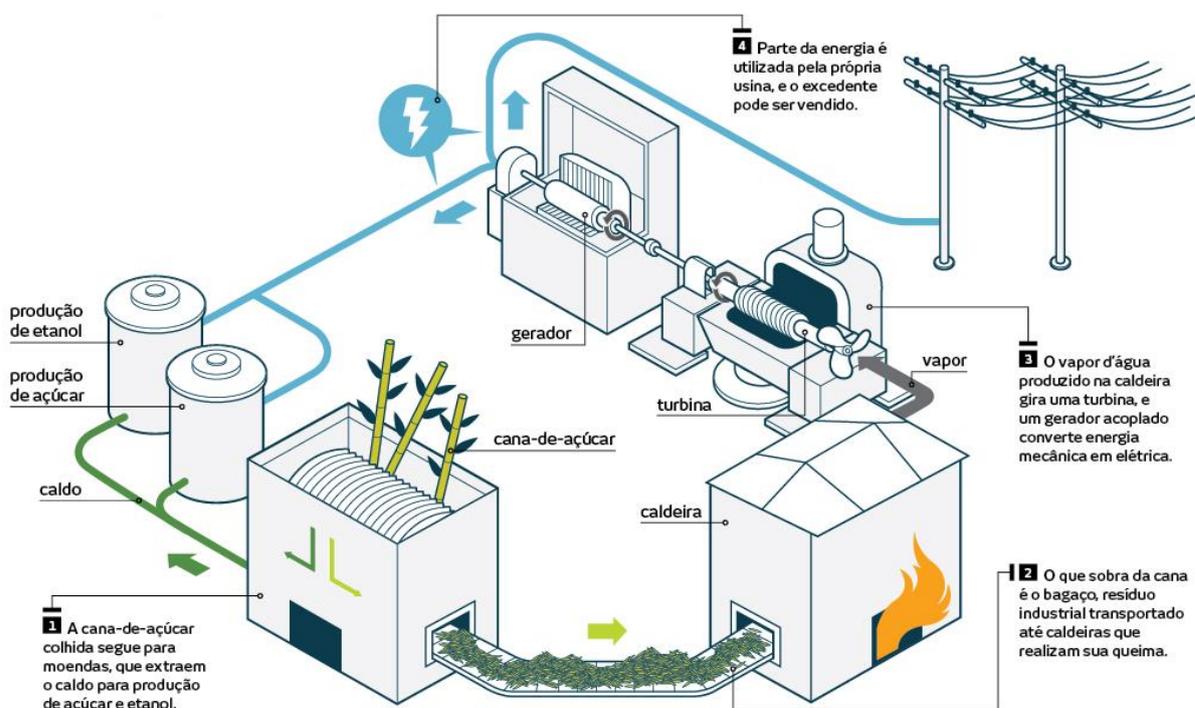
(conclusão)

Usina	Potência Fiscalizada (kW)	Município (UF)	Fonte Nível 2
Natureza Limpa	1.000	Unaí (MG)	Resíduos Florestais
Klabin Correia Pinto (Antiga Celucat)	37.882	Correia Pinto (SC)	Licor Negro
Thermoazul	4.700	Tangará (SC)	Resíduos Florestais
Urbano Sinop	1.200	Sinop (MT)	Casca de Arroz
Primavera do Leste	8.000	Primavera do Leste (MT)	Resíduos Florestais
Comigo	5.000	Carmo do Rio Verde (GO)	Resíduos Florestais
Santo Antônio	60	Breves (PA)	Resíduos Florestais
Laminados Triunfo	1.500	Rio Branco (AC)	Resíduos Florestais
Flórida Clean Power do Amapá	1.700	Macapá (AP)	Capim Elefante
Vetorial Corumbá	10.000	Corumbá (MS)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Indústria Palmares	1.640	Acará (PA)	Óleos Vegetais
Cargil Uberlândia	25.000	Uberlândia (MG)	Resíduos Florestais
Indústria Agropalma	2.710	Tailândia (PA)	Óleos Vegetais
Eldorado Brasil	226.000	Três Lagos (MS)	Licor Negro
Granja Makena	80	Patrocínio (MG)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Kiarroz	1.200	Morro da Fumaça (SC)	Casca de Arroz
Ajuricaba	80	Marechal Cândido Rondon (PR)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Ebata	800	Belém (PA)	Resíduos Florestais
CMPC (Antiga Aracruz Unidade Guaíba)	250.994	Guaíba (RS)	Licor Negro
Fazenda Nossa Senhora do Carmo	80	Ituiutaba (MG)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Plantar	5.000	Lagoas (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Granja São Roque	424	Videira (SC)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Guaçu	30.000	Aripuanã (MT)	Resíduos Florestais
Conselvan	1.000	Aripuanã (MT)	Resíduos Florestais
Cetrel Bioenergia JB	874	Cachoeirinha (PE)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Suzano Maranhão	254.840	Imperatriz (MA)	Licor Negro
ERB Candeias	16.790	Candeias (BA)	Resíduos Florestais
Cargil Três Lagoas	6.000	Três Lagoas (MS)	Resíduos Florestais
Fazenda da Luz	810	Aberlado Luz (SC)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Klabin Celulose	330.000	Ortigueira (PR)	Licor Negro
Juruá Florestal	400	Ananindeua (PA)	Resíduos Florestais
Cogeração Bio Springer	848	Valinhos (SP)	Biogás/Agroindustriais
CSP	218.000	São Gonçalo do Amarante (CE)	Gás de Alto Forno/Biomassa
PCT SLC Alimentos	5.800	Capa do Leão (RS)	Casca de Arroz
AVG I-II	4.800	Sete Lagoas (MG)	Carvão Vegetal
Atos	3.000	Nova Bandeirantes (MT)	Resíduos Florestais
Martins	2.000	Colniza (MT)	Resíduos Florestais
Engenho Coradini	1.200	Dom Pedrito (RS)	Casca de Arroz
Siderúrgica União	5.000	Divinópolis (MG)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Florapag	20.000	Paragominas (PA)	Resíduos Florestais
CATIVA I	1.200	Apiúna (SC)	Resíduos Florestais
AREVALE	2.000	Roseira (SP)	Casca de Arroz
Rações Patense - Itaúna	3.000	Itaúna (MG)	Resíduos Florestais
Granol PO	11.500	Porto Nacional (TO)	Lenha
Ronaldo de Freitas Silva	120	Uberlândia (MG)	Biogás/Resíduos Agrícolas
Lanxess Cogeração	4.500	Porto Feliz (SP)	Resíduos Florestais
USITRAR ECO-ENERGY	2.400	São Jose de Ribamar (MA)	Gás de Alto Forno/Biomassa
Iguaçu-Ibicuí-Termo-1-2-4	3.100	Campos Novos (SC)	Resíduos Florestais
USITRAR ECO-ENERGY RIO	2.700	Rio de Janeiro (RJ)	Carvão Vegetal
Adelar Piaia	100	Três Passos (RS)	Biogás/Agroindustriais
Citrus	3.150	Itajobi (SP)	Lenha
Fazenda Nossa Senhora de Fátima	175	Perdizes (MG)	Biogás/Resíduos Agrícolas
<b>Total: 115 usinas</b>	<b>3.149.224</b>	-	-
<b>Total: 398 usinas</b>	<b>10.923.370</b>	-	<b>Bagaço de Cana-de-açúcar</b>
<b>Demais Usinas em Operação</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>		
427 usinas de fonte Eólica Fotovoltaica	10.434.043		
2 usinas de fonte Fotovoltaica	23.761		
1.263 usinas de fonte Hidrelétrica	98.728.734		
2.926 usinas de fonte Termelétrica	40.959.495		
2 usinas de fonte Termonuclear	1.990.000		
<b>Total: 4.660 usinas</b>	<b>152.136.033</b>		

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2017).

Conforme visualizado na Figura 12, basicamente, a central termelétrica utiliza a cana-de-açúcar para extrair o caldo e produzir açúcar e etanol (1). O bagaço resultante do processo é então utilizado como combustível abastecedor do forno responsável pelo aquecimento de uma caldeira contendo água (2). A água, ao ser aquecida, entra em ebulição e produz grande quantidade de vapor, o qual é conduzido por uma tubulação até a turbina (3). Movimentada pelo vapor sob alta pressão, a turbina faz então com que um gerador seja acionado, produzindo a eletricidade (4), utilizada pela própria usina no processo de cogeração e o excedente gerado pode ser vendido (MORAES, 2011).

**Figura 12 – Funcionamento de uma central termelétrica com uso do bagaço de cana-de-açúcar**



Fonte: Bernardo; Rodrigues e Oliveira (2013).

Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2015), a queima do bagaço da cana praticada em centrais termelétricas corresponde atualmente a 4,7% do total de energia elétrica ofertado no país. Entretanto, ainda há um potencial muito grande de crescimento desse percentual, pois, para cada tonelada de cana utilizada nas centrais, ainda sobram 200 quilos de palha e pontas (UNICA, 2015), que nunca foram valorizados, sendo integralmente descartados. Segundo Souza (2012, p. 42),

“cerca de 8 Mt de palha são produzidas atualmente, considerando-se que a cada tonelada de cana colhida sobram 140 quilos de palha”.

Para Tolmasquim (2016) a participação das palhas e pontas na geração elétrica tende a ser ainda mais significativa com o tempo. Uma vez que a queima da palha com o objetivo de facilitar a colheita manual, ocasiona emissões de GEE, e tem sido inibida por meio de legislação e de acordos estabelecidos entre o poder público e a iniciativa privada, que visam a eliminação desta prática através da colheita mecanizada, que permite a utilização da palha como combustível para a cogeração. A disponibilidade de bagaço de cana decorrente da produção do açúcar e etanol é elevada. Estimativas do autor mostram que se 25% dessa palha em base seca fosse recuperada, seria o equivalente a 3,2 Mt de óleo produzido. Esse material, portanto, é resíduo agrícola precioso, que também pode ser integralmente usado na geração de energia elétrica, uma vez que está disponível em grandes volumes no mesmo local das fornalhas e, praticamente, não tem uso alternativo remunerador.

Assim, a biomassa disponibilizada pela cultura da cana-de-açúcar pode ser dividida em duas categorias: o bagaço de cana, disponível na área das usinas após a extração do caldo e já tradicionalmente utilizado como insumo energético em caldeiras de combustão interna para geração de vapor de acionamento mecânico e geração de energia elétrica; e a palha e pontas da planta, disponíveis no campo, as quais devem ser recuperadas e transportadas até a usina.

Todavia, ressalta-se que a quantidade de biomassa residual proveniente da cultura da cana depende de itens como àqueles descritos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011) como: variedade de planta cultivada, idade da cultura, estágio de corte, situação climática, sistema de colheita (manual ou mecanizado), altura de corte dos ponteiros, entre outros. Para as aplicações energéticas, onde se requer a disponibilidade contínua dessa biomassa, é preciso levar em conta ainda que os resíduos se caracterizam por uma disponibilidade sazonal e podem precisar de armazenamento para os períodos fora de safra, uma vez que a sazonalidade da indústria sucroalcooleira implica em um fornecimento descontínuo do bagaço excedente, exigindo a formação de estoques (TOLMASQUIM, 2004).

Um estudo realizado por Tolmasquim (2004) mostra que em termos de potencial energético dos produtos e subprodutos da cana-de-açúcar, o bagaço equivale a 36,8%, o etanol a 24,5%, os resíduos de palha e pontas a 34,4%, e o vinhoto a 4,3%,

como pode ser visualizado na Tabela 5. O bagaço é, portanto, o resíduo mais importante da cana, e segundo Silva e outros (2014a), caracteriza-se por ser a biomassa residual mais utilizada na geração mundial de energia.

**Tabela 5 – Potencial energético dos produtos e subprodutos da cana**

Produto e Subproduto	Produção Específica	Poder Calorífero Superior	Energia Total	Participação
Palha e Pontas <sup>1</sup>	280 kg/t.Cana	8,5 MJ/kg	2.380 MJ	34,4 %
Bagaço <sup>1</sup>	270 kg/t.Cana	9,45 MJ/kg	2.552 MJ	36,8 %
Etanol <sup>2</sup>	72,5 l/t.Cana	23,4 MJ/l	1.697 MJ	24,5 %
Vinhoto <sup>3</sup>	14 lVinhoto/lEtanol	0,294 MJ/l	299 MJ	4,3 %

Fonte: Tolmasquim (2004).

Notas: (1) Com 50% de umidade; (2) Média de produtividade no Brasil; (3) Produção de 7,84m<sup>3</sup> de metano/1000lVinhoto.

Neste íterim, após identificar e analisar os processos tecnológicos de conversão energética de resíduos agropecuários, menciona-se que os processos de digestão anaeróbica, transesterificação e combustão direta, são métodos com tecnologias maduras e convencionais no mercado brasileiro atualmente (EPE, 2014b). Ao passo que, os processos de gaseificação e pirólise, referem-se a tecnologias em desenvolvimento, e portanto, ainda não apresentam uma escala comercial no mercado nacional (TOLMASQUIM, 2016).

Assim, diante dos processos tecnológicos de conversão energética dos resíduos aqui elencados, o item 3.2 explora as possibilidades de comercialização dessa energia gerada.

### 3.2. POSSIBILIDADES DE COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA A PARTIR DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

No Quadro 4, visualizam-se as possibilidades de comercialização da energia elétrica produzida a partir de resíduos agropecuários no Brasil. São elas: venda no Mercado Livre; venda no Mercado Regulado, sob o sistema de Leilões; Autoprodução e Produção Independente; e Geração Distribuída e Compensação, as quais são descritas nos subitens seguintes.

**Quadro 4 – Possibilidades de comercialização da energia elétrica produzida a partir de resíduos agropecuários no Brasil**

<b>Formas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Regulação</b>
<b>Venda no Mercado Livre</b>	Comercialização por meio de contratos bilaterais entre as partes envolvidas no ACL.	Resoluções Normativas ANEEL nºs 77/2004; 271/2007 e 745/2016: Quantidade: permite o estabelecimento de contratos bilaterais com consumidores cuja demanda esteja entre 0,5 e 3 MW (considerado como “especiais” ou “livres” quando acima deste valor). Preço: Desconto (art.3º): direito a 100% de redução, a ser aplicado às Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. Condicionante (inciso IV): utilizar como insumo energético, no mínimo, 50% de biomassa (ANEEL, 2004; 2007; 2016b).
<b>Venda no Mercado Regulado: Leilões</b>	Realizados pela CCEE por delegação da ANEEL. Nesse sistema, agentes garantem atendimento à totalidade de seu mercado no ACR.	Decretos nºs 5.163/2004 e 6.048/2007: Controle de entrada: Como gerador distribuído: pode comercializar energia diretamente com distribuidoras por meio dos LA anuais. Como gerador de energia renovável: pode comercializar energia em LFA. Preço: limitado ao Valor de Referência do último leilão (BRASIL, 2004c; 2007).
<b>Autoprodução e Produção Independente</b>	Comercialização por meio das figuras APE ou PIE.	Decreto nº 2.003/1996: APE: uso próprio e exclusivo. PIE: produção para comercializar por sua conta e risco próprio no ambiente regulado (leilões) ou livre (consumidores especiais e/ou livres). Preços praticados: APE: possui ressarcimento do custo de transporte. PIE: deve bancar os custos de transporte. Quantidade (para ambos): UTE's maiores que 5 MW devem pedir autorização da ANEEL; UTE's menores que 5 MW apenas comunicar à ANEEL (BRASIL, 1996).
<b>Geração Distribuída e Compensação</b>	Acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição e compensação de energia elétrica para unidades até 5 MW.	Resoluções Normativas ANEEL nºs 482/2012 e 687/2015: Microgeração Distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW (com fonte alternativa). Minigeração Distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (com fonte alternativa) (ANEEL, 2012; 2015).

Fonte: Adaptado de Galiza (2017).

A principal norma que rege a contratação de fontes de energia elétrica para suprimento no mercado nacional é a Lei nº 10.848/2004 (BRASIL, 2004a). Ela dispõe sobre a comercialização de energia elétrica no país e estabelece dois ambientes de contratação distintos: o Ambiente de Contratação Livre (ACL), também denominado Mercado Livre, e o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), também denominado Mercado Regulado ou Cativo.

Seja no ACL ou ACR, contratos bilaterais são firmados entre os agentes produtores e compradores de energia elétrica e devem ser registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), servindo de base para a contabilização e liquidação das diferenças no Mercado de Curto Prazo, onde não existem contratos, mas a contratação multilateral, conforme as regras de comercialização. O Mercado de Curto Prazo é o segmento da CCEE onde são contabilizadas as diferenças entre os montantes de energia elétrica contratados pelos agentes e os montantes de geração e de consumo efetivamente verificados e atribuídos aos respectivos agentes (CCEE, 2017b).

### **3.2.1. Mercado Livre**

No ACL, Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Livre (CCEAL) são celebrados e os geradores a título de serviço público, autoprodutores, produtores independentes, comercializadores, importadores e exportadores de energia, e os consumidores livres e especiais, têm total liberdade para negociar a compra e a venda de energia, estabelecendo volumes, preços, prazos e as condições de fornecimento. Foi concebido para assegurar a concorrência e a liberdade efetiva dos consumidores livres, não sendo permitida às distribuidoras a aquisição de energia neste mercado (CCEE, 2017b). Segundo a Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL, 2017) a unidade consumidora paga uma fatura referente ao serviço de distribuição para a concessionária local (tarifa regulada pela ANEEL) e uma ou mais fatura(s) referente(s) à compra da energia (preço negociado no contrato firmado entre os agentes).

### 3.2.2. Mercado Regulado: Leilões

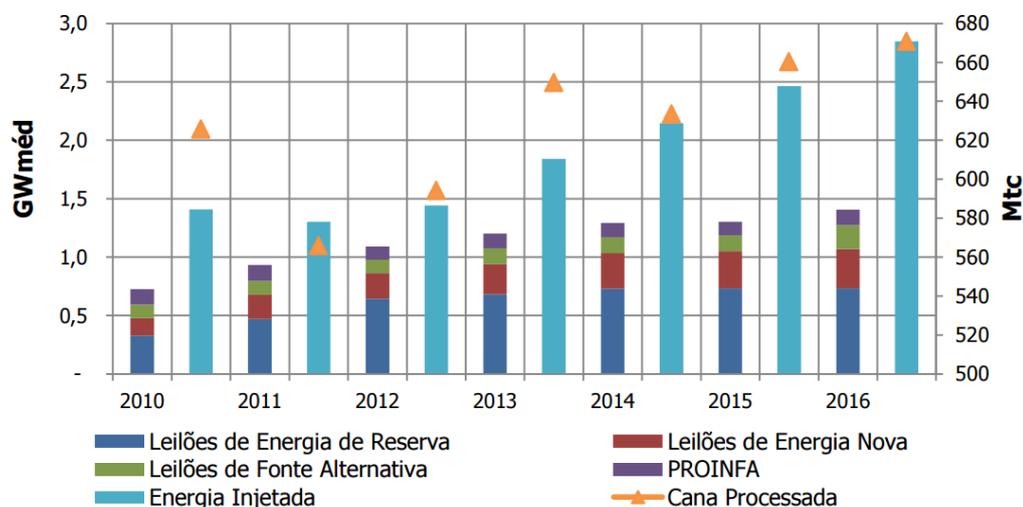
No ACR, a maioria dos consumidores são abrigados a adquirir a energia elétrica de que necessitam da concessionária local de distribuição; Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR) de fornecimento de longo prazo são celebrados entre os agentes vendedores e compradores e há regulação específica para aspectos como preço de energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento, os quais não são passíveis de alterações bilaterais por parte dos agentes (CCEE, 2017b). Ambiente este concebido para garantir mais proteção aos consumidores de menor porte, com tarifas reguladas e modicidade tarifária.

A energia adquirida pelos agentes de distribuição neste ambiente, pode ser por meio de licitações em que ocorrem os leilões de compra de Energia Nova (A-3 e A-5) (para energia de novos empreendimentos), de Energia Velha (A-1) (para energia de empreendimentos já existentes), de Energia de Reserva (LER), de Fontes Alternativas (LFA), de Ajuste (LA), ou de fontes contratadas na primeira etapa do PROINFA (COSTA, 2006; SALINO, 2011), onde:

Considerando-se “A” como o ano previsto para o início do suprimento da energia adquirida, o cronograma para a realização dos leilões será: no quinto ano anterior ao ano “A” (chamado ano A-5), é realizado o leilão para a compra de energia de novos empreendimentos de geração; no terceiro ano anterior ao ano “A” (chamado ano A-3), é realizado o leilão para a aquisição de energia de novos empreendimentos de geração; e no ano anterior ao ano “A” (chamado ano A-1), é realizado o leilão para aquisição de energia de empreendimentos de geração existentes. Além disso a ANEEL poderá promover os LA, específicos para a contratação de ajustes anuais pelos agentes distribuidores, a fim de complementar o montante de energia necessário para atender a carga demandada (SALINO, 2011, p. 52-53).

Neste ambiente de contratação, cada unidade consumidora paga apenas uma fatura de energia por mês, incluindo nesta fatura o serviço de distribuição e geração de energia, sob tarifas reguladas pela ANEEL (ABRACEEL, 2017). No Gráfico 13, ilustra-se a participação de cada modalidade de leilão no atendimento da carga, o montante de energia elétrica à biomassa injetada no SIN e a contribuição da cana processada neste processo, no período de 2010 a 2016 no Brasil.

**Gráfico 13 – Evolução da energia elétrica à biomassa injetada no SIN, 2010 a 2016**



Fonte: EPE (2017).

Nota: Mtc: Milhões de toneladas de cana.

Assim, a Lei nº 10.848/2004 instituiu de fato um novo marco regulatório do setor elétrico, “que fomentou a adoção de um mercado competitivo e a garantia do suprimento elétrico, através da modalidade leilão para a contratação de energia pelas distribuidoras, com o critério de menor tarifa” (oferta de energia elétrica pelo menor preço por MWh) utilizado para definir os vencedores (EPE, 2017, p. 54). É por meio de leilões públicos específicos, praticados desde 2004 no ACR e realizados pela CCEE por delegação da ANEEL, que os agentes geradores comercializam a energia elétrica junto às distribuidoras, permitindo aos agentes de distribuição adquirirem a energia elétrica gerada. Assim, o sistema de leilões tem sido a principal forma de contratação de energia elétrica no Brasil. Esse sistema, segundo Azuela e Barroso (2011), tem sido uma ferramenta útil para assegurar a eficiência econômica de implantação das energias renováveis não só no Brasil, mas em países como Índia, China, Peru, Argentina, Tailândia, entre outros.

Além disso, de acordo com a Lei nº 10.848/2004, a contratação de energia elétrica também pode ser feita pela modalidade quantidade, através de Contratos de Quantidade de Energia, ou pela modalidade disponibilidade, por meio de Contratos de Disponibilidade de Energia. Na primeira, os agentes vendedores se comprometem a fornecer uma determinada quantidade de energia elétrica e assumem o risco de fatores que poderão afetar ou diminuir o fornecimento de energia, e no caso da falta de fornecimento terão que comprar a energia no mercado de forma que atenda suas

necessidades. Na segunda, a unidade geradora se compromete a disponibilizar uma determinada capacidade. Neste caso, a receita da geradora é garantida e os riscos de despacho das usinas são assumidos pela distribuidora (BRASIL, 2004c; SALINO, 2011).

Com vistas ao aumento da participação da bioeletricidade no panorama energético nacional, o governo federal tem praticado, uma série de incentivos, com destaque para o sistema de leilões de compra de energia elétrica proveniente de fontes alternativas e renováveis. Os LFA, específicos para PCH's e empreendimentos de geração a partir de fonte eólica e biomassa, instituídos por meio do Decreto nº 5.163/2004 posteriormente regulamentado pelo Decreto nº 6.048/2007 (BRASIL, 2004c; 2007), objetivam atender ao crescimento do mercado regulado e aumentar a participação desses tipos de fontes na matriz energética elétrica brasileira.

Na Tabela 6, visualizam-se os resultados dos leilões de geração de energia elétrica a partir de biomassa realizados no ACR e ACL no período de 2005 a 2016. Observa-se a participação predominante do bagaço da cana-de-açúcar como fonte combustível. Ao passo que os demais resíduos oriundos das atividades agrícola, florestal e pecuária, ainda que participantes, aparecem de forma tímida.

**Tabela 6 – Leilões de geração de energia elétrica à biomassa, 2005 a 2016**

(continua)

Usina/UTE	Tipo	Leilão	Potência (MW)	Garantia Física (MW médio)	Lotes Vendi. (MW médio)	Preço (R\$/MW)	UF	Fonte
Costa Pinto	A-5	2/2005	56,14	22,00	19	138,99	SP	Bagaço de Cana
Interlagos	A-5	2/2005	40,00	20,70	8	114,96	SP	Bagaço de Cana
Quirinópolis	A-5	2/2005	40,00	11,60	6	104,00	GO	Bagaço de Cana
Colorado	A-3	2/2006	32,00	16,00	8	134,21	SP	Bagaço de Cana
São José	A-3	2/2006	50,00	28,30	28	134,2	SP	Bagaço de Cana
Santa Izabel	A-3	2/2006	40,00	11,30	11	134,24	SP	Bagaço de Cana
Quirinópolis	A-3	2/2006	40,00	11,20	11	134,12	GO	Bagaço de Cana
Quatá	A-5	4/2006	60,00	10,50	10	137	SP	Bagaço de Cana
Usina Bonfim	A-5	4/2006	59,00	23,40	21	137,6	SP	Bagaço de Cana
Ferrari	A-5	4/2006	31,00	8,20	8	138	SP	Bagaço de Cana
Boa Vista	A-5	4/2006	80,00	36,20	11	134,99	GO	Bagaço de Cana
Baia Formosa	A-5	4/2006	32,00	11,00	11	137,7	RN	Bagaço de Cana
Ester	FA	3/2007	30,00	10,20	7	138,9	SP	Bagaço de Cana
Florida Paulista	FA	3/2007	40,00	21,80	8	139,12	SP	Bagaço de Cana
Iacanga	FA	3/2007	12,00	7,80	4	138,94	SP	Bagaço de Cana
Louis Dreyfus Lagoa da Prata	FA	3/2007	60,00	29,80	19	139,12	MG	Bagaço de Cana
Louis Dreyfus Rio Brilhante	FA	3/2007	90,00	48,90	22	139,12	MS	Bagaço de Cana
Pioneiros II	FA	3/2007	50,00	16,90	12	139,12	SP	Bagaço de Cana
Santa Cruz AB	FA	3/2007	50,00	28,00	20	138,75	SP	Bagaço de Cana
São João da Boa Vista	FA	3/2007	70,00	23,00	23	138,6	SP	Bagaço de Cana
Xanxerê	FA	3/2007	30,00	27,10	25	138,5	SC	Biomassa de Resíduo Sólido Avícola/Resíduos de Madeira
São Luiz (Abengoa São Luiz)	ER	1/2008	70,00	24,00	8	60,04	SP	Bagaço de Cana

**Tabela 6 – Leilões de geração de energia elétrica à biomassa, 2005 a 2016**

(continuação)

Usina/UTE	Tipo	Leilão	Potência (MW)	Garantia Física (MW médio)	Lotes Vendi. (MW médio)	Preço (R\$/MW)	UF	Fonte
Barra Bioenergia	ER	1/2008	136,00	51,50	34	60,04	SP	Bagaço de Cana
Ben Bioenergia	ER	1/2008	30,00	26,40	24	58,49	PI	Capim Elefante/Resíduo de Madeira
CBB - Companhia Bioenergética Brasileira	ER	1/2008	18,10	6,00	6	59,81	GO	Bagaço de Cana
Bioenergética Vale do Paracatu - BEVAP	ER	1/2008	80,00	39,20	20	60,02	MG	Bagaço de Cana/Palha de Cana
Biopav II	ER	1/2008	140,00	49,60	15	60,02	SP	Bagaço de Cana
Bonfim	ER	1/2008	45,00	18,80	10	60,04	SP	Bagaço de Cana
Cachoeira Dourada	ER	1/2008	80,00	35,50	15	60,04	GO	Bagaço de Cana
Caçú I	ER	1/2008	130,00	35,50	27	60,04	GO	Bagaço de Cana
Clealco-Queiroz	ER	1/2008	35,00	11,30	7	60,49	SP	Bagaço de Cana
Cocal II	ER	1/2008	120,00	55,50	22	61	SP	Bagaço de Cana
Companhia Energética Vale do São Simão	ER	1/2008	50,00	12,60	12	59,79	MG	Bagaço de Cana
Conquista do Pontal	ER	1/2008	100,00	26,00	22	60,04	SP	Bagaço de Cana
Decasa	ER	1/2008	75,00	43,00	16	59,9	SP	Bagaço de Cana/Palha e Ponta de Cana
Destilaria Andrade	ER	1/2008	40,20	20,00	20	59,8	SP	Bagaço de Cana
Ferrari	ER	1/2008	65,50	23,20	6	60,76	SP	Bagaço de Cana
Jataí	ER	1/2008	105,00	41,00	34	60,04	SP	Bagaço de Cana
Noble Energia	ER	1/2008	30,00	16,00	11	60	AP	Bagaço de Cana
Noroeste Paulista	ER	1/2008	78,00	20,40	11	59,97	AP	Bagaço de Cana
Porto das Águas	ER	1/2008	70,00	12,50	12	60,04	GO	Bagaço de Cana
Santa Luzia I	ER	1/2008	130,00	35,50	26	60,04	MS	Bagaço de Cana
São Fernando Açúcar e Alcool	ER	1/2008	48,00	13,70	5	59,34	MS	Bagaço de Cana/Cavaco de Madeira
Ipaussu	ER	1/2008	62,00	24,30	19	60,04	SP	Bagaço de Cana
Unidade de Bioenergia Água Emendada	ER	1/2008	72,70	27,00	27	54,73	GO	Bagaço de Cana/Resíduos Agrícolas
Unidade de Bioenergia Alto Taquari	ER	1/2008	72,70	27,00	27	52,69	MT	Bagaço de Cana/Resíduos Agrícolas
Unidade de Bioenergia Costa Rica	ER	1/2008	72,70	27,00	27	53,74	MS	Bagaço de Cana/Resíduos Agrícolas
Unidade de Bioenergia Morro Vermelho	ER	1/2008	72,70	27,00	27	55,87	GO	Bagaço de Cana/Resíduos Agrícolas
Vale do Tijucu	ER	1/2008	45,00	7,30	7	59,52	MG	Bagaço de Cana
Chapadão Agroenergia	ER	1/2008	192,00	39,80	12	60,04	MS	Bagaço de Cana
Paraúna	A-5	3/2008	114,00	44,70	35	0	GO	Bagaço de Cana
Codora	A-3	2/2009	48,00	16,20	10	144,6	GO	Bagaço de Cana
Santana do Araguaia I (Barreira do Campo)	SI	2/2010	34	26	0,119	149	PA	Cavaco/Resíduo de Madeira
Santana do Araguaia I (Santana do Araguaia)	SI	2/2010	-	-	4,564	148,5	PA	Cavaco/Resíduo de Madeira
Brasil Bio Fuels S.A.	SI	2/2010	98	82	3,484	149	RR	Cavaco/Resíduo de Madeira
Alcídia	ER	5/2010	38,10	15	11,7	154,25	SP	Bagaço de Cana
Angélica	ER	5/2010	64,00	37,6	1,5	154,25	MS	Bagaço de Cana
Cevasa	ER	5/2010	48,00	19,1	7	145	SP	Bagaço de Cana
Colorado	ER	5/2010	52,80	19	0,9	144	SP	Bagaço de Cana
UTE da Pedra	ER	5/2010	70,00	24,4	24,4	145,48	SP	Bagaço de Cana
Eldorado	ER	5/2010	12,00	8,3	5,9	154,25	MS	Bagaço de Cana
Pedro Afonso	ER	5/2010	80,00	26,7	18,7	134,25	TO	Bagaço de Cana
Porto das Águas	ER	5/2010	70,00	21,2	6,3	154,09	GO	Bagaço de Cana
Quirinópolis	ER	5/2010	80,00	22,5	10	133,5	GO	Bagaço de Cana
São Fernando Energia I	ER	5/2010	50,00	36	3,5	154,4	MS	Bagaço de Cana
São José Colina	ER	5/2010	83,00	51	33,4	134,9	SP	Bagaço de Cana
Mandu	FA	7/2010	65,00	36,5	22,3	137,92	SP	Bagaço de Cana
Iaco	A-3	2/2011	30,00	12,8	4	101,99	MS	Bagaço de Cana
Paranapanema	A-3	2/2011	60,00	24,7	12,4	101,49	SP	Bagaço de Cana

**Tabela 6 – Leilões de geração de energia elétrica à biomassa, 2005 a 2016**

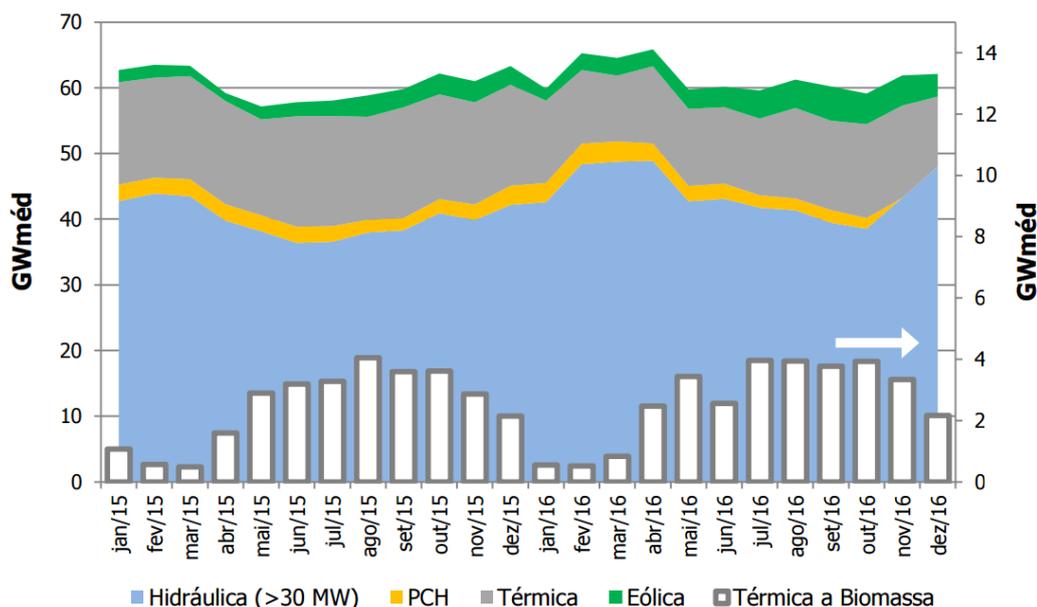
(conclusão)

Usina/UTE	Tipo	Leilão	Potência (MW)	Garantia Física (MW médio)	Lotes Vendi. (MW médio)	Preço (R\$/MW)	UF	Fonte
Passa Tempo	A-3	2/2011	67,80	24,2	21,8	103,29	MS	Bagaço de Cana
Vale do Tijuco II	A-3	2/2011	40,00	30	9	102,30	MG	Bagaço de Cana
Guaçu	ER	3/2011	30,00	25,5	15	101,99	MT	Cavaco/Resíduo de Madeira
Conquista do Pontal	A-5	7/2011	50,00	5,4	1	95,00	SP	Bagaço de Cana
Porto das Águas (II Fase)	A-5	7/2011	50,00	37,7	20	103,46	GO	Bagaço de Cana
Amandina	A-5	6/2013	40,00	13,3	10	135,00	MS	Bagaço de Cana
Guarani Tanabi 2	A-5	6/2013	34,00	16	11,3	133,89	SP	Bagaço de Cana
Canto do Buriti	A-5	6/2013	150,00	119,1	119,1	136,69	PI	Cavaco de Madeira
Campo Grande	A-5	6/2013	150,00	122,1	122,1	136,69	BA	Cavaco de Madeira
Delta	A-5	6/2013	40,00	23,8	19	135,31	MG	Bagaço de Cana
Eldorado ampliação	A-5	6/2013	116,00	52,2	52,2	132,30	MS	Bagaço de Cana
Santa Helena	A-5	6/2013	45,00	15,2	15,2	132,81	MS	Bagaço de Cana
Caarapó	A-5	6/2013	38,00	17	15,3	134,37	MS	Bagaço de Cana
Guarani Tanabi	A-5	6/2013	34,00	15	10,6	134,89	SP	Bagaço de Cana
ERB Candeias	A-5	10/2013	16,79	14,9	14,9	135,49	BA	Cavaco de Madeira
Santa Cândida II	A-5	10/2013	55,00	23,1	22,8	133,02	SP	Bagaço de Cana
Santo Ângelo	A-5	10/2013	30,00	13,9	10,5	135,45	MG	Bagaço de Cana
Vista Alegre II	A-5	10/2013	30,00	20,4	20,4	133,00	MS	Bagaço de Cana
Vista Alegre I	A-5	10/2013	30,00	22,2	15,6	133,01	MS	Bagaço de Cana
CNE	A-5	6/2014	105	59,8	430	205,23	GO	Bagaço de Cana
Delta	A-5	6/2014	30	6,4	64	197	MG	Bagaço de Cana
Guarani Cruz Alta	A-5	6/2014	25	11,4	80	198,5	SP	Bagaço de Cana
Iacanga	A-5	6/2014	18	5,6	40	201,9	SP	Bagaço de Cana
Porto das Águas	A-5	6/2014	90	26,1	185	199,93	GO	Bagaço de Cana
UTE Ferrari	A-5	6/2014	15	12,4	98	202	SP	Bagaço de Cana
UTE Acre	A-5	6/2014	163,999	135,1	1.100	206,9	AC	Cavaco de Madeira
Costa Rica I	A-5	6/2014	163,999	135,1	1.100	207,32	MS	Cavaco de Madeira
Vale do Rosário	FA	2/2015	69,700	34,400	52	213,90	SP	Bagaço de Cana
Clealco Queiroz	FA	2/2015	45,000	14,100	56	206,52	SP	Bagaço de Cana
Iacanga	FA	2/2015	30,600	14,400	35	209,35	SP	Bagaço de Cana
Ituiutaba	FA	2/2015	53,200	14,400	93	204,91	MG	Bagaço de Cana
Jalles Machado	FA	2/2015	20,730	7,900	67	214,30	GO	Bagaço de Cana
Potirendaba	FA	2/2015	40,200	13,200	100	214,60	SP	Bagaço de Cana
Rio Pardo	FA	2/2015	60,000	9,400	94	212,00	SP	Bagaço de Cana
Tropical Bioenergia	FA	2/2015	70,000	26,800	175	207,09	GO	Bagaço de Cana
Boltbah	A-5	3/2015	50,000	41,400	414	272,01	BA	Cavaco de Madeira
Codora	A-5	3/2015	20,000	6,200	62	278,50	GO	Bagaço de Cana
Santa Vitória	A-5	3/2015	41,400	30,900	309	272,00	MG	Bagaço de Cana
Clealco Queiroz	A-3	4/2015	28,500	14,500	145	210,73	SP	Bagaço de Cana
São Sepe	A-3	4/2015	8,000	6,800	62	212,00	RS	Casca de Arroz
Biogas Bonfim	A-5	1/2016	20,893	13,700	110	251,00	SP	Biogás
Onça Pintada	A-5	1/2016	50,000	43,100	381	243,21	MS	Cavaco/Resíduo de Madeira
N O Bioenergia	A-5	1/2016	18,000	2,900	23	181,25	SP	Bagaço de Cana
Porto das Águas	A-5	1/2016	40,000	26,100	53	203,25	GO	Bagaço de Cana
Predilecta	A-5	1/2016	5,000	4,500	34	199,00	SP	Cavaco/Resíduo de Madeira
Vale do Parana	A-5	1/2016	48,500	18,800	137	245,20	SP	Bagaço de Cana
WD	A-5	1/2016	16,000	7,700	77	217,18	MG	Bagaço de Cana

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2017) e CCEE (2017a).

Notas: FA: Fontes Alternativas; ER: Energia de Reserva; SI: Sistema Isolado.

Das UTE's movidas à biomassa de bagaço de cana que injetaram um total de 2,8 GW médios de eletricidade no SIN em 2016 (Gráfico 14), 57% atuaram exclusivamente no ACL, 8% no ACR e os 35% restantes, venderam em ambos os ambientes (EPE, 2017).

**Gráfico 14 – Participação da biomassa na geração elétrica total, 2015/2016**

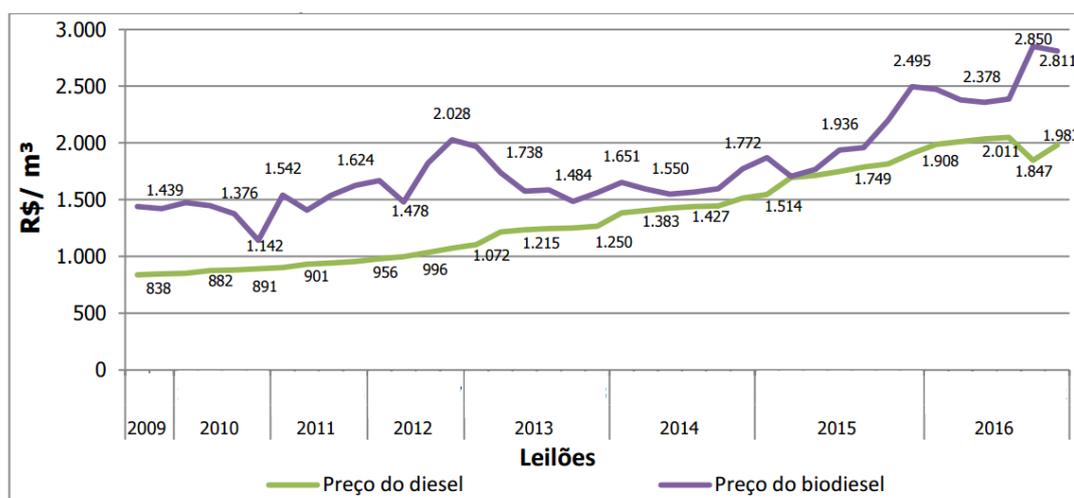
Fonte: EPE (2017).

Assim como a energia elétrica, o biodiesel é comercializado via sistema de leilões públicos específicos estabelecidos por editais. Esses leilões são consolidados pela ANP, cabendo-lhe na sua esfera de atribuições legais, regular e fiscalizar a contratação do biodiesel entre fornecedores e adquirentes e sua posterior comercialização para distribuidores de combustíveis até o consumidor final. Produtores e importadores de óleo diesel, autorizados pela ANP a exercerem a atividade de produção e comercialização de biodiesel e detentores de Registro Especial e do SCS, podem participar dos leilões, realizados em duas etapas, a saber (EPE, 2017, p. 35):

Na primeira etapa, as usinas produtoras fazem suas ofertas considerando exclusivamente os volumes ofertados e não vendidos durante o leilão regular. Em etapa seguinte, as distribuidoras fazem as aquisições para os clientes que tenham interesse em utilizar biodiesel em teores acima dos 7% já estabelecido. A portaria estabelece que o resultado consolidado do leilão deve discriminar os volumes de biodiesel e os preços para os dois mercados separadamente, o mercado regular de mistura obrigatória, e o de uso voluntário. Projetos específicos que usem misturas distintas daquelas previstas na Resolução Normativa nº 3/2015 (CNPE, 2015) são isentos de submeterem-se aos leilões, podendo haver a compra do biodiesel direto dos produtores. Essas mudanças foram sugeridas pelo setor para aproveitar a capacidade ociosa existente e a possibilidade de fortalecimento desse mercado.

A ANP já realizou 52 leilões públicos de biodiesel desde o início do programa. Só em 2016, o volume comercializado foi de 3,8 bilhões de litros (EPE, 2017). No Gráfico 15 visualiza-se a evolução dos preços médios de biodiesel em comparação aos do diesel fóssil convencional, praticados via sistema de leilões ANP, no período de 2008 a 2016. Observa-se que, embora existisse uma aproximação nos preços de venda entre diesel e biodiesel no ano de 2015, desde o início do programa, o biodiesel sempre apresentou preços de venda superiores aos do diesel. Tal fato se dá em detrimento dos insumos utilizados para a produção do biodiesel serem *commodities*, os quais têm seus valores influenciados em função do mercado externo. Este fator econômico resulta na maciça utilização dos combustíveis fósseis na frota de veículos, no conseqüente aumento das emissões de GEE na atmosfera e em um custo de oportunidade favorável aos distribuidores de diesel no país.

**Gráfico 15 – Biodiesel e diesel: preços médios de venda nos leilões, 2009 a 2016**



Fonte: EPE (2017).

### 3.2.3. Autoprodução e Produção Independente

A forma de contratação e comercialização da energia elétrica por Autoprodução e Produção Independente, nas figuras do Autoprodutor Independente de Energia

Elétrica<sup>27</sup> (APE) e do Produtor Independente de Energia Elétrica<sup>28</sup> (PIE), depende de concessão ou autorização de uso de bem público, precedida de licitação, e foi outorgada pelo Decreto nº 2.003/1996 (BRASIL, 1996). Segundo o Decreto, para garantir a utilização e a comercialização da energia produzida, o PIE e o APE têm assegurado o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido.

Os contratos de concessão e as autorizações definem, nos casos de operação integrada ao sistema, o montante de energia anual, em MWh, e a potência, em MW, que poderão ser comercializados, ou utilizados para consumo próprio pelo PIE ou APE, e as formas pelas quais esses valores poderão ser alterados. A ANEEL, como órgão regulador, é quem define os critérios para determinação do custo transporte, através de parcelas explicitadas relativas à transmissão e à distribuição, assegurando tratamento isonômico dos agentes PIE e APE perante os concessionários e permissionários do serviço público de energia elétrica (BRASIL, 1996).

### **3.2.4. Geração Distribuída e Compensação**

De modo geral, os sistemas de energia elétrica, tradicionalmente, são compostos por grandes produtores que fornecem a energia para diferentes clientes através de redes de transmissão e distribuição, sendo este modelo de transmissão conhecido como centralizado (NERY, 2012). Contudo, a propensão atual, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento, é a introdução de descentralização na transmissão de energia fazendo uso da Geração Distribuída, com

---

<sup>27</sup>Autoprodutor de Energia Elétrica (APE): refere-se à pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (BRASIL, 1996).

<sup>28</sup>Produtor Independente de Energia Elétrica (PIE): refere-se à pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (BRASIL, 1996).

a possibilidade de criação de fontes de suprimento energético descentralizadas e em pequena escala, fundamentais para o Desenvolvimento Sustentável.

Essa forma de geração, que também tem sido denominada Geração Dispersa (*Dispersed Generation*), Geração Local (*On Site Generation*) e Geração Embutida (*Embedded Generation*), pode pertencer a um APE, a um PIE, à própria concessionária, ou a parceria dos mesmos, e pode atuar no sentido de aumentar a confiabilidade e a qualidade do suprimento, atender à demanda de pico, funcionar como reserva operativa, compor esquemas de cogeração ou atender áreas mais remotas com baixa densidade de carga.

Instituída pela Lei nº 10.848/2004, regulamentada pelo Decreto nº 5.163/2004 (BRASIL, 2004a; 2004c), a Geração Distribuída é definida como a produção de energia elétrica de pequeno porte realizada junto ou próxima ao consumidor que é ligada na rede de distribuição, podendo ser de qualquer fonte e que não é despachada centralizadamente pelo ONS, oferecendo benefícios para o país, para o consumidor gerador e aos demais consumidores, como por exemplo (REIS, 2011):

- Aumento da eficiência energética da utilização do combustível como um todo;
- Autossuficiência para investir e oportunidades de venda de excedentes de energia;
- Aumento da diversidade de geração no sistema elétrico com redução de riscos e perdas do sistema;
- Aumento da concorrência no setor elétrico, pois cria oportunidades para comercialização da energia;
- Aumento da possibilidade de uso de fontes renováveis;
- Benefícios socioeconômicos para a região produtora;
- Baixo impacto ambiental, quando comparada às centrais geradoras convencionais;
- Redução de custos totais de investimento em geração (para alimentar uma determinada carga), e conseqüentemente, dos custos no produto final, em virtude da diminuição dos investimentos em transmissão e distribuição;
- Diversificação da matriz energética.

Adiciona-se a estas vantagens ainda, a descrita por Bley Jr. e outros (2009, p. 26) de que esse tipo de energia, além de “usada para autoabastecimento, também pode ser

acumulada sob a forma de biogás [em biodigestores] e utilizada, principalmente, nos horários de ponta<sup>29</sup>, conferindo às unidades geradoras e à agricultura familiar ampla autonomia energética”.

De pequeno porte e pequeno tempo de construção, a Geração Distribuída é mais flexível em termos de investimento do que a Geração Centralizada ou em termos de capacidades de transmissão e distribuição (REIS, 2011). Neste campo, a bioeletricidade por exemplo, é uma fonte de energia que dá grande ênfase à exploração dos nichos de Geração Distribuída. Localizada, majoritariamente, nas regiões Sudeste e Centro-oeste do país, próxima aos principais centros de carga, não necessita de expansão da transmissão, culminando em benefícios ambientais e econômicos, como redução das perdas e da necessidade de investimentos de expansão do sistema de transmissão, respectivamente. “Pode até ser escoada diretamente pela rede de distribuição, sem necessidade de reforços da rede básica, em altíssima tensão” (SOUSA; MACEDO, 2010, p. 150).

O Relatório de Informações Gerenciais publicado pela ANEEL (2016a), mostra que em 2016, das 8.885 unidades consumidoras com Geração Distribuída existentes no país (Tabela 7), 36 eram usinas do tipo UTE's alimentadas por biomassa residual (Gráfico 16), representando um percentual de 0,4% do total. Essas UTE's foram responsáveis pela potência instalada de 11.389 kW, ou seja, 12,6% dos 90.586 kW totais gerados.

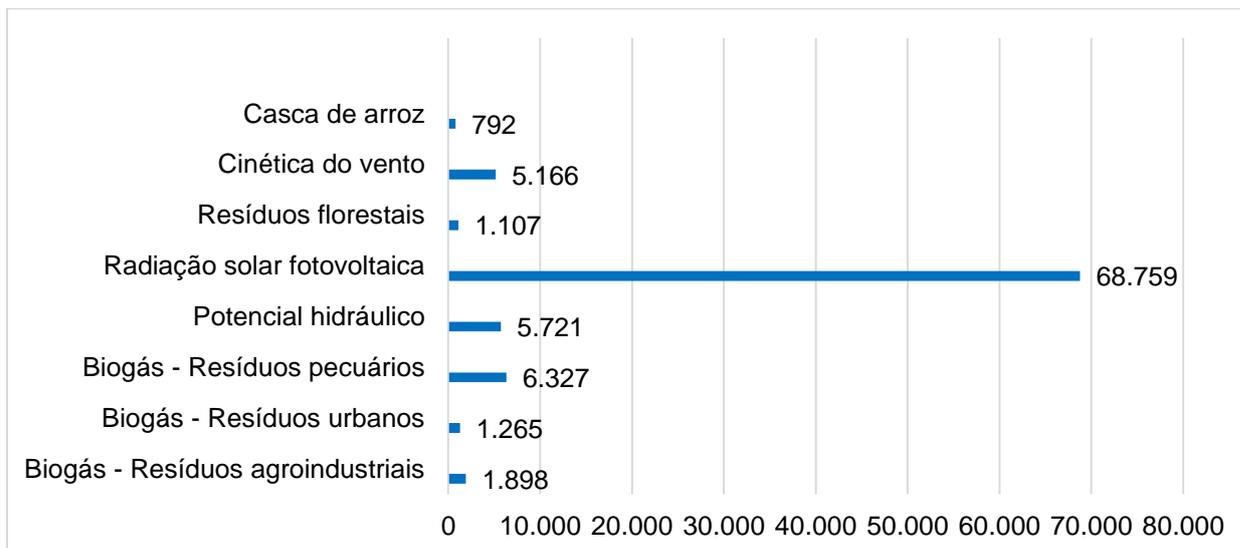
**Tabela 7 – Unidades consumidoras com geração distribuída no Brasil, em 2016**

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>% total</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>	<b>% total</b>
Central Geradora Hidrelétrica (CGH)	10	0,1	5.271	5,8
UTE	36	0,4	11.389	12,6
Central Geradora Eólica	46	0,5	5.166	5,7
Central Geradora Solar Fotovoltaica	8.793	99,0	68.759	75,9
<b>Total</b>	<b>8.885</b>	<b>100</b>	<b>90.586</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL (2016a).

<sup>29</sup>Horários de ponta: ocorrem de segunda a sexta-feira, das 18:00 às 22:00 horas, em que a tarifa por kWh da energia, chega, em média, até sete vezes mais que a do horário fora do pico de demanda (BLEY JR. et al., 2009).

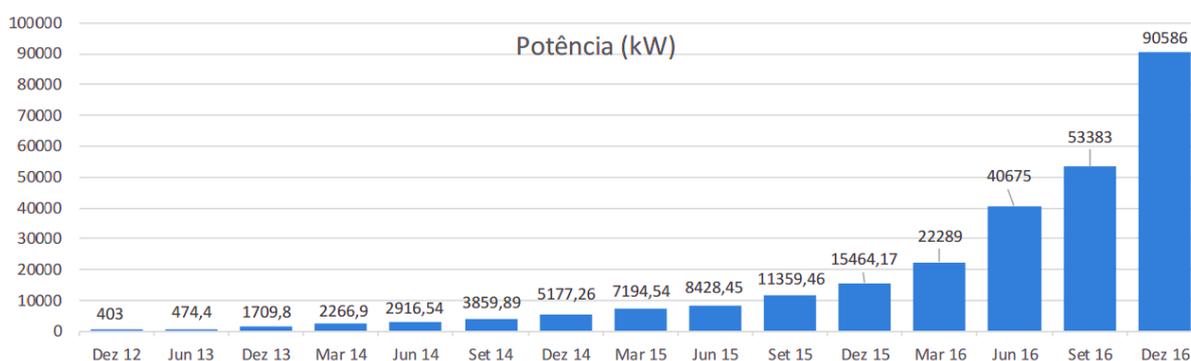
**Gráfico 16 – Potência instalada (kW) de geração distribuída por tipo de fonte, em 2016**



Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2016a).

De modo geral, houve uma notável evolução da potência instalada de unidades com Geração Distribuída, entre o período de dezembro de 2012 e dezembro de 2016, passando de 403 kW gerados em 2012, para 90.586 kW em 2016, como visualizado no Gráfico 17.

**Gráfico 17 – Geração distribuída: evolução anual**



Fonte: ANEEL (2016a).

Esse aumento se deu em função de incentivos da legislação brasileira, através da instituição de uma importante inovação ligada ao setor elétrico brasileiro, a Resolução Normativa nº 482/2012, a qual fora alterada pela Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2012; 2015), em que foram estabelecidas as modalidades de microgeração

e minigeração distribuída, bem como as condições gerais de ambas para acesso aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Essas modalidades consistem na geração de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia em pequenas centrais conectadas à rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras. A diferença entre cada uma dessas está no limite da potência instalada. A primeira limita-se a uma potência menor ou igual a 75 kW, enquanto a segunda a uma potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2015). Segundo a Resolução Normativa nº 687/2015:

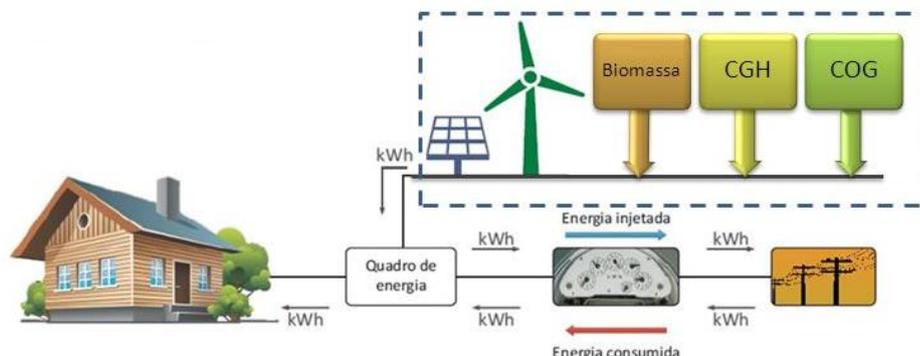
Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

As centrais de mini e microgeração distribuída constituem o Sistema de Compensação de Energia. Esse Sistema, possibilita que o consumidor de energia elétrica instale pequenos geradores (advindos das fontes eólica, ou solar, ou biomassa, ou pequenas CGH's), ou Centros de Operação da Geração (COG)) em sua propriedade, permitindo o abastecimento de carga de sua própria residência e ainda que ceda a energia excedente gerada, de modo que esta energia "seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora" (ANEEL, 2014, p. 16). Dessa forma, e conforme visualizado na Figura 13, "a energia elétrica gerada pela unidade consumidora é cedida à distribuidora local, sendo posteriormente compensada com o consumo de eletricidade da mesma ou de outra unidade consumidora" (ANEEL, 2014, p. 16).

**Figura 13 – Funcionamento de centrais elétricas de mini e microgeração distribuída**



Fonte: ANEEL (2014).

Notas: CGH: Central Geradora Hidrelétrica; COG: Centros de Operação da Geração.

Em resumo, os sistemas de mini e microgeração distribuída representam uma importante ferramenta para a diversificação de fontes energéticas na matriz elétrica brasileira; para a redução de perdas e melhoria da qualidade da energia no abastecimento da rede elétrica; para a possibilidade do consumidor ser autoprodutor de energia e ligar seus gerados à rede de distribuição, entre outras.

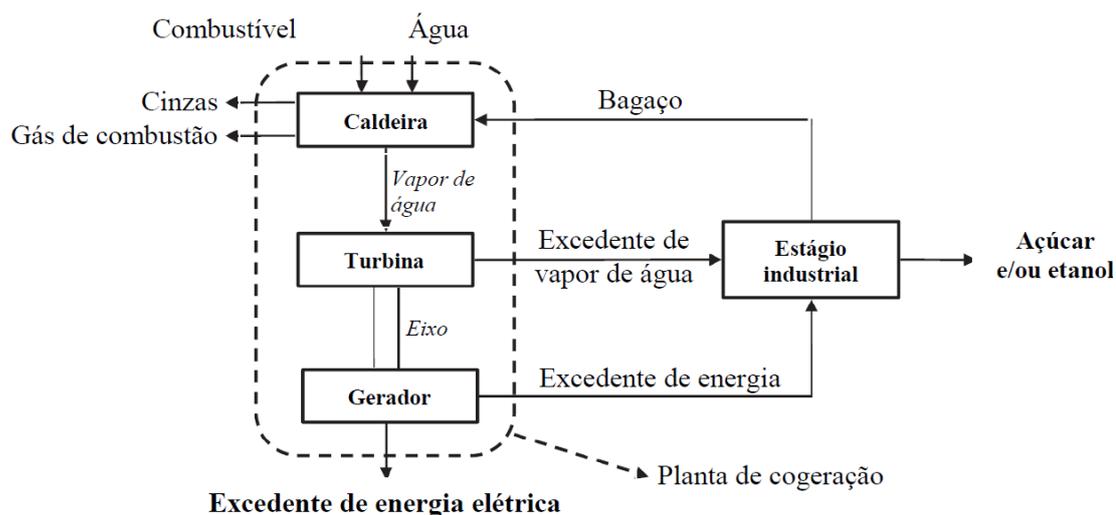
Nesta conjuntura, menciona-se ainda a cogeração<sup>30</sup>, uma forma de Geração Distribuída (quando realizada por pequenas unidades próximas aos consumidores), que tem como vantagens a economia no consumo de energia; as reduções das emissões de CO<sub>2</sub>; menor dependência de combustíveis fósseis importados; maior grau de estabilidade da rede pela redução dos congestionamentos e picos do sistema elétrico; e melhor aproveitamento de recursos energéticos disponíveis.

A cogeração, que responde hoje no Brasil por mais de 3% da potência elétrica instalada (ANEEL, 2017), é uma prática corrente da produção industrial do etanol no país (Figura 14), que reduz danos ao meio ambiente e que poderia ser aumentada significativamente se o desenvolvimento tecnológico acarretasse o uso de outros resíduos da cana-de-açúcar, além do bagaço para a geração de eletricidade. Isto é, durante a queima do bagaço e demais resíduos da cana, ocorreria a geração de energia em suas formas térmica, elétrica e mecânica, suprindo diretamente a

<sup>30</sup>Cogeração: definida como o processo de transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil (COELHO, 1999). Constitui uma forma racional da energia que permite a geração simultânea/combinada de energia mecânica ou elétrica e térmica, a partir de uma única fonte combustível utilizada no processo, possibilitando a otimização e o acréscimo de eficiência nos sistemas de conversão e utilização de energia (CARVALHO, 2009).

demanda energética necessária para a produção de outros subprodutos da cana-de-açúcar. Desenvolver tecnologias neste sentido, permitindo agregar valor à cadeia da cana-de-açúcar, segundo Torquato e Ramos (2013), também constitui uma iniciativa importante de valorização de coprodutos, resíduos e dejetos.

**Figura 14 – Processo de cogeração da indústria sucroalcooleira**



Fonte: Lizcano (2015).

A biomassa, na cogeração, é o método mais barato de produzir eletricidade (INNOCENTE, 2011). Segundo a ANEEL (2017) das 94 usinas do tipo UTE's com cogeração de eletricidade em operação no Brasil em 2017, responsáveis por gerar 4,3 GW, 21 utilizam o bagaço da cana-de-açúcar como fonte combustível, sendo responsáveis por gerar 1,1 GW de capacidade instalada, e apenas 3 usinas operam com outras fontes residuais, produzindo 430,2 MW de potência instalada, conforme visualizado na Tabela 8. Na análise do potencial da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira, Moreira e Millikan (2012) afirmam que o potencial de aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar para cogeração de energia elétrica poderia alcançar 14 GW médios em 2021. Isso representa uma forma racional de otimização de recursos, e de redução das áreas de estocagem da biomassa, da poluição ambiental e dos custos de produção ao economizar na compra de combustíveis. Além disso, investimentos em cogeração desenvolvem o mercado nacional de equipamentos do setor sucroenergético, o que no longo prazo, poderá gerar *know-how* necessário para tecnologias mais eficientes e sofisticadas.

**Tabela 8 – UTE's à biomassa com cogeração de eletricidade em operação no Brasil, em 2017**

Usina	Potência Outorgada (kW)	Destino da Energia	Município/UF	Fonte Nível 2
Colombo Ariranha	105.500	PIE	Ariranha (SP)	Bagaço de Cana
São José	84.805	PIE	Macatuba (SP)	Bagaço de Cana
Barra Grande de Lençóis	62.900	PIE	Lençóis Paulista (SP)	Bagaço de Cana
LDC Bioenergia Leme (Antiga Coinbra - Cresciumal)	39.600	PIE	Leme (SP)	Bagaço de Cana
São Francisco	25.200	PIE	Sertãozinho (SP)	Bagaço de Cana
Lucélia	15.700	PIE	Lucélia (SP)	Bagaço de Cana
Santa Adélia	42.000	PIE	Jaboticabal (SP)	Bagaço de Cana
Mandu	90.000	PIE	Guaíra (SP)	Bagaço de Cana
Guarani - Cruz Alta	64.800	PIE	Olímpia (SP)	Bagaço de Cana
São José da Estiva	42.500	PIE	Novo Horizonte (SP)	Bagaço de Cana
Diana	2.873	APE	Avanhandava (SP)	Bagaço de Cana
Catanduva (Antiga Cerradinho)	75.000	PIE	Catanduva (S)	Bagaço de Cana
Pioneiros	42.000	PIE	Sud Mennucci (SP)	Bagaço de Cana
Casa de Força	7.920	APE	Fernandópolis (SP)	Bagaço de Cana
Colorado	52.760	PIE	Guaíra (SP)	Bagaço de Cana
Santa Terezinha Paranacity	46.000	PIE	Paranacity (PR)	Bagaço de Cana
Santa Elisa - Unidade I	58.000	PIE	Sertãozinho (SP)	Bagaço de Cana
Santo Antônio	23.000	PIE	Sertãozinho (SP)	Bagaço de Cana
Campo Florido	30.000	PIE	Campo Florido (MG)	Bagaço de Cana
Coruripe Iturama	24.000	PIE	Iturama (MG)	Bagaço de Cana
Veracel	117.045	APE	Eunápolis (BA)	Licor Negro
Quirinópolis	80.000	PIE	Quirinópolis (GO)	Bagaço de Cana
Usiminas 2	63.155	APE	Ipatinga (MG)	Gás de Alto Forno/ Biomassa
CMPC (Antiga Aracruz Unidade Guaíba)	250.994	APE	Guaíba (RS)	Licor Negro
<b>Total</b>				
01 usina	62.155	-	-	Gás de Alto Forno/ Biomassa
02 usinas	368.039	-	-	Licor Negro
21 usinas	1.014.558	-	-	Bagaço da Cana
<b>Total UTE's: 24</b>	<b>1.444.752</b>	-	-	-
<b>Outras Fontes</b>				
10 usinas	20.251	-	-	Óleo diesel
01 usina	40.000	-	-	Calor de Processo/ Gás Natural
02 usinas	68.520	-	-	Óleo Combustível
01 usina	75.200	-	-	Carvão Mineral
01 usina	102.890	-	-	Gás de Alto Forno/ Carvão Mineral
03 usinas	104.400	-	-	Outros Energéticos de Petróleo
53 usinas	2.389.897	-	-	Gás Natural
<b>Total UTE's: 94</b>	<b>4.220.556</b>	-	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2017).

Notas: APE: Autoprodutor de Energia; PIE: Produtor Independente de Energia; REG: Registro.

No Capítulo 4, um panorama acerca do setor agropecuário brasileiro é realizado, visando evidenciar o enorme potencial agrícola, florestal e pecuário que o país detém na atualidade. Analisa-se, também, a disponibilidade dos resíduos sólidos gerados por este setor.

## 4. ATIVIDADE AGROPECUÁRIA NO BRASIL

### 4.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO ATUAL

As informações contidas neste capítulo, de caráter complementar ao desenvolvimento da pesquisa, são referentes aos levantamentos sistemáticos da produção agrícola, florestal e pecuária brasileira, realizados pelo MAPA, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); pela CONAB; e pela ABIB, no âmbito da Lei nº 8.171/1991, que dispõe sobre a política agrícola (BRASIL, 1991) e do Decreto nº 8.375/2014, que define a Política Nacional de Florestas Plantadas (PNFP) (BRASIL, 2014). De acordo com estes órgãos, o setor agropecuário brasileiro tem crescido fortemente ancorado em aumentos de produtividade, em políticas públicas adequadas e no empreendedorismo do produtor rural, expandindo e consolidando, cada vez mais, a integração econômica regional e as áreas de fronteira agrícola.

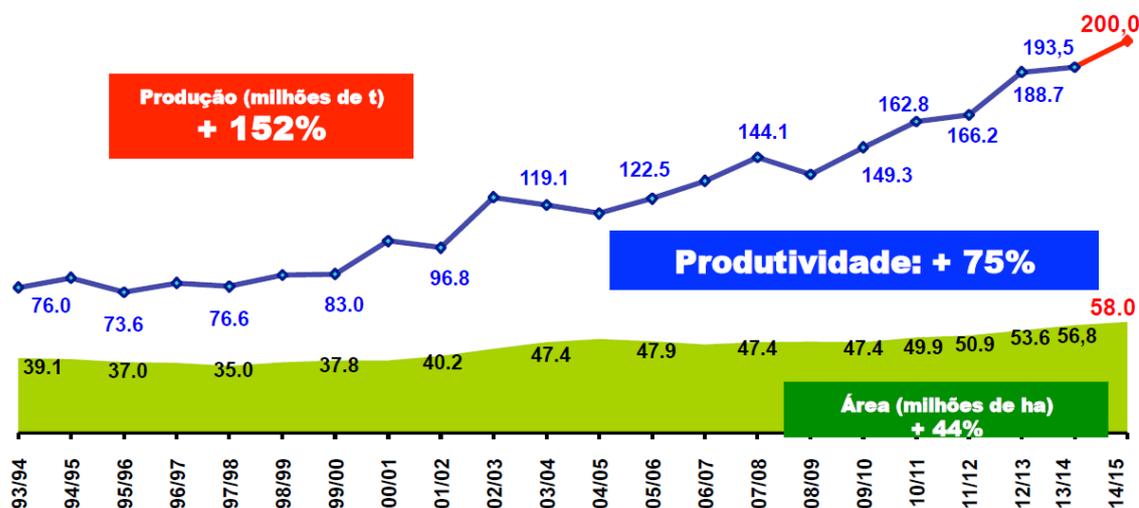
Este satisfatório desempenho interno do setor evidencia a sustentabilidade econômica e ambiental do seu desenvolvimento, o qual é assegurado ainda pelo estímulo à geração de energia “limpa” e consequente redução de GEE, bem como, pela geração de emprego, renda e divisas, contribuindo de modo significativo para o crescimento da economia no Brasil.

A agricultura é a principal força da economia brasileira e “responde por R\$ 1,00 em cada R\$ 3,00 gerados no país. Foi responsável por 40% do Produto Interno Bruto (PIB), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros com 17,7 milhões de trabalhadores em 2015” (ABILOGÁS, 2015, p. 24).

Segundo o IBGE (2015), o Brasil possui 850 milhões de hectares em seu território. E de acordo com o MAPA (2016), estima-se que, destes, 350 milhões são agriculturáveis. A cana-de-açúcar e a soja ocupam, respectivamente, em torno de 22 milhões e de 8 milhões de hectares de todo esse território atualmente (MAPA, 2015a).

Dados do Plano Agrícola e Pecuário 2014/2015, elaborado pelo MAPA (2015b), mostram que a produção brasileira de grãos mais que dobrou em duas décadas, sendo que, neste período, a taxa de crescimento da produtividade (3,2%) foi quase duas vezes superior à da área (1,7%), conforme visualizado no Gráfico 18.

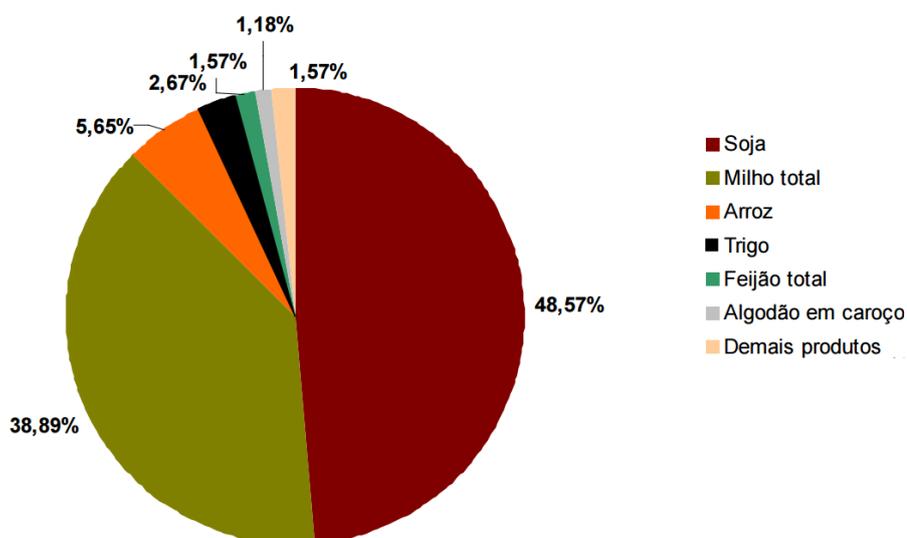
Gráfico 18 – Evolução da área plantada e da produção brasileira de grãos



Fonte: MAPA (2015b).

Apesar das adversidades climáticas que atingiram importantes regiões de produção agrícola em 2014, o Brasil atingiu uma produção de 193,5 Mt de grãos, sendo o segundo maior percentual oriundo do milho (38,89%) e o maior oriundo da soja (48,57%) (Gráfico 19), a qual, segundo a Associação dos Produtores de Soja do Brasil (APROSOJA, 2016), conduziu o país ao grupo de maiores produtores e exportadores de soja do mundo, principalmente em decorrência de ganhos de eficiência.

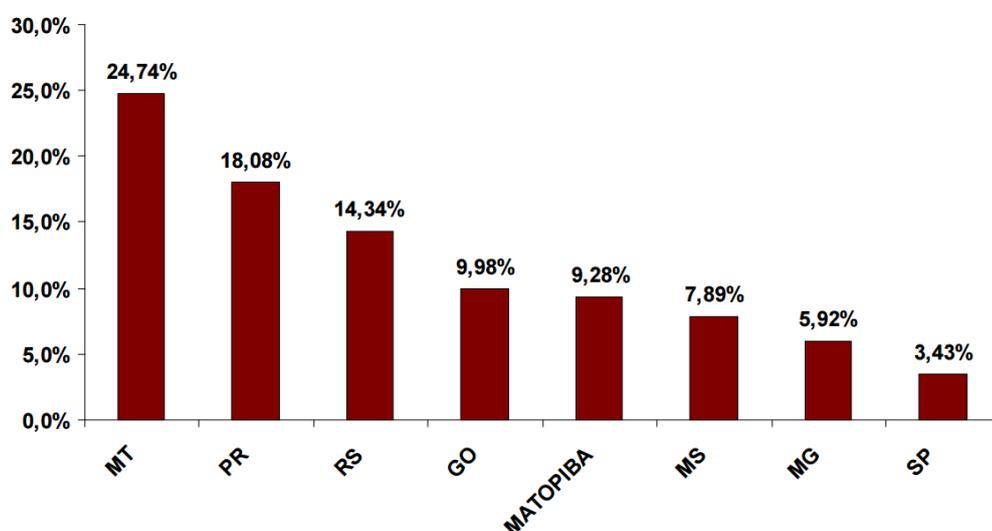
Gráfico 19 – Percentual da produção de grãos no Brasil, em 2015



Fonte: CONAB (2015b).

O estado que se destacou com maior índice de produtividade na safra 2014/2015 foi Mato Grosso (24,74%), seguido por Paraná (18,08%) e Rio Grande do Sul (14,34%) (CONAB, 2015b), conforme disposto no Gráfico 20, que apresenta a produção total de grãos por UF na safra 2014/2015. Prevê-se também expansão da área plantada de soja de 32,2 para 44,6 milhões de ha, o que será suficiente para comportar a safra de 165 milhões de toneladas em 2030 (ABIOVE; APROBIO; UBRABIO, 2016).

**Gráfico 20 – Produção total de grãos por UF na safra 2014/2015**



Fonte: CONAB (2015b).

De acordo com o MAPA (2016), a região que compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, assim definida por este como MATOPIBA (acrônimo criado em alusão às sílabas iniciais dos estados), é hoje a que mais cresce em área plantada no Brasil.

Dados da CONAB (2015a) revelam que os produtores rurais do MATOPIBA, colheram na safra 2002/2003 o montante de 7,3 Mt de grãos, sendo que, na atual safra de 2014/2015 a produção foi da ordem de 15 Mt. Ou seja, a colheita dobrou. Estima-se ainda que essa produção em 2022, vá saltar para mais de 18 Mt (APROSOJA, 2016). Enquanto a média de crescimento da produção de grãos do país é de 5% ao ano, no MATOPIBA, esse número atinge 20% ao ano. A razão da potencialidade dessa área, de acordo com Garagorry, Miranda e Magalhães (2015) são suas características essenciais para a agricultura moderna, quais sejam: são planas e extensas, solos potencialmente produtivos, disponibilidade de água e clima propício com dias longos

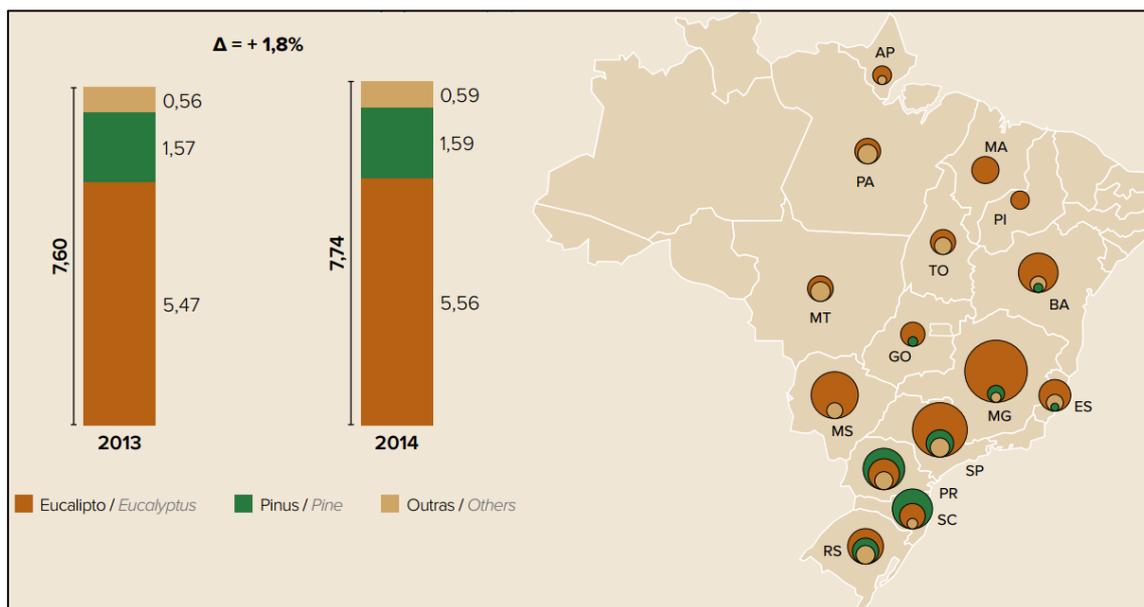
e com elevada intensidade do sol. Além disso, os preços das terras nessa área, apesar de estarem em franca evolução, ainda são relativamente mais baixos que os de outras regiões agrícolas do país. A limitação maior, no entanto, são as precárias condições de logística, especialmente transporte terrestre e portuário, além da comunicação e, em algumas áreas, ausência até de serviços financeiros (MAPA, 2016).

A expectativa da CONAB (2017) para a safra 2016/2017, de 219,1 Mt, revela um novo recorde na produção de grãos, e representará um aumento de 17,4% frente à colheita anterior, de 186,6 Mt.

No setor florestal, a produtividade brasileira é a mais elevada do mundo, devido às condições favoráveis e ao esforço técnico-científico realizado pelas instituições e empresas do setor (TOLMASQUIM, 2016). É notável a concretização da expansão do uso de florestas plantadas para uso industrial, tanto no segmento de papel e celulose, carvão vegetal e no setor de produtos sólidos. Segundo Tolmasquim (2016) a acácia, teca, seringueira e paricá estão entre as espécies florestais plantadas no país que contribuíram para essa expansão. Entretanto, duas culturas se destacam há vários anos neste setor em função de seus elevados volumes de produção frente às demais espécies: a do eucalipto e a do pinus.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015) os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares da área de árvores plantadas no país, o que representa 71,9% do total, e estão localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%). Os plantios de pinus ocupam 1,59 milhão de hectares e concentram-se no Paraná (42,4%) e em Santa Catarina (34,1%) (Figura 15).

**Figura 15 - Distribuição da área de plantios florestais no Brasil**



Fonte: IBÁ (2015).

As florestas plantadas, que cobrem uma área de 7,1 milhões de hectares, também contribuem para tornar a matriz energética brasileira mais limpa e sustentável por meio da crescente oferta de madeira para as usinas siderúrgicas movidas a carvão vegetal. Ainda de acordo com a IBÁ (2015), a área de árvores plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, aumento de 1,8% em relação a 2013. Esse total corresponde a apenas 0,9% do território brasileiro. Além das árvores plantadas, dos 850 milhões de hectares do território nacional, 66,1% estavam cobertos por habitats naturais, 23,3% ocupados por pastagens, 6,2% por agricultura e 3,5% por redes de infraestrutura e áreas urbanas. Essa concretização é pressuposto do alinhamento de diversas políticas governamentais, como são a tributária, de abastecimento, agrária, creditícia, fiscal, energética, ambiental, industrial, de comércio exterior e seu desdobramento em legislações específicas.

A pecuária, por sua vez, também experimentou ganhos expressivos de produtividade, nos segmentos de avicultura e bovinocultura ao longo dos últimos seis anos, conforme dados dispostos na Tabela 9. Houve, entretanto, um pequeno declínio da atividade de suinocultura, referente aos três últimos anos, quando comparada ao montante produzido nos anos 2010 e 2011.

**Tabela 9 – Série histórica da produção pecuária brasileira (milhões de cabeças)**

Segmento	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Avicultura	5.986,7	6.232,6	5.998,7	6.138,9	6.226,3	6.350,8
Bovinocultura	209.541,1	212.815,3	211.279,1	211.764,3	213.138,6	215.270,0
Suinocultura	38.956,8	39.307,3	38.795,9	36.743,6	36.438,1	36.620,3

Fonte: CONAB (2015b).

Segundo o MAPA (2016), o desempenho interno e externo da pecuária, assim como o do agronegócio (constituído por agroindústrias que se abastecem da atividade agropecuária), cujas exportações em 2013 atingiram a cifra recorde de US\$ 100 bilhões, tem contribuído de forma relevante para a estabilidade e crescimento da economia.

Em resumo, o crescimento da produção do setor agropecuário brasileiro, medido pelo valor bruto da produção, está relacionado fundamentalmente aos ganhos de produtividade, às condições brasileiras favoráveis (recursos naturais abundantes, grande dimensão territorial, condições meteorológicas, etc.) e ao aprimoramento de políticas públicas agrícolas, voltadas especialmente, para as áreas de infraestrutura e logística e de apoio à comercialização e crédito rural, que abrangem maior disponibilidade de recursos, elevação dos limites de financiamento de custeio, taxas de juros inferiores às do mercado e a criação de novos programas de investimento.

Além disso, houve um grande avanço no desenvolvimento de tecnologias que permitiram ao produtor rural aumentar o desempenho de suas atividades. O uso da tecnologia tende, geralmente, a alterar o sistema de produção, tornando-o mais eficiente e rentável (GIANETTI et al., 2013). Esse crescimento tecnológico do setor se deve, principalmente, à incorporação de equipamentos e de áreas plantadas ao processo produtivo. A adoção de novas técnicas e o processo de modernização que ocorreram com mais intensidade depois de 1970, em função do avanço tecnológico e das políticas governamentais, e principalmente do crédito rural orientado (CONAB, 2015a), permitiram a atual configuração do cenário agropecuário brasileiro, visualizado na Figura 16.

**Figura 16 – Mapa agropecuário brasileiro**



Fonte: IBGE (2015).

Todavia, a grande produção agrícola, florestal e pecuária brasileira remete, conseqüentemente, a uma grande geração de resíduos resultantes das culturas produtoras, como por exemplo: palhas, pontas e bagaços (da cana-de-açúcar); palhas (do arroz, do café, do milho, da soja, do feijão, do trigo, da aveia, do centeio, da cevada, etc.); ramos (da mandioca); fibras e cascas (do coco); ponteiros, galhos e folhas (do eucalipto); cascas e caroços (do cupuaçu); colmo, folhas e palha (do milho); caroços (do algodão, da azeitona); cascas e ouriços (da castanha-do-pará, da castanha-de-caju); lascas de madeiras e serragem (da lenha); esterco (da suinocultura, da avicultura, da bovinocultura, da bubalinocultura, da equinocultura, da caprinocultura, da ovinocultura); entre outros.

Assim, a análise de aproveitamento energético destes resíduos se apresenta como questão relevante e altamente atrativa no cenário brasileiro em termos ambientais e socioeconômicos. Sob esta perspectiva, a EPE (2014a) aponta que a quantificação da disponibilidade física e a determinação do conteúdo energético dos resíduos, são os primeiros passos na avaliação do seu potencial de uso. Tais aspectos são apresentados e discutidos no item 4.2.

## 4.2. DIAGNÓSTICO DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS

Como mencionado no item 4.1, especialmente a partir de 1970, a geração, a adaptação, a transferência e a adoção de inovações tecnológicas possibilitaram ganhos de produtividade expressivos, principalmente no setor de grãos, cuja produção duplicou. Conseqüentemente, os significativos avanços no desempenho do agronegócio, implicaram no aumento do consumo de insumos e da geração de resíduos nas atividades agropecuária e agroindustrial (ROSA et al., 2011).

Segundo Azevedo; Malafaia e Camargo (2007) a agropecuária, a agroindústria e a urbanização, principalmente, são as maiores fontes de resíduos no Brasil e no mundo. Ainda segundo os autores, o aproveitamento de resíduos dessas atividades, para a produção de biocombustíveis e geração de energia elétrica, já é uma prática comum em países como Estados Unidos, China, Japão e França, por exemplo, mas que só começou a se desenvolver no Brasil nos últimos anos, em razão do aprimoramento tecnológico do país, do desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao uso de fontes alternativas de energia e ao avanço em pesquisas científicas.

Os resíduos são gerados ao longo de toda a cadeia produtiva. E a quantidade e os tipos gerados, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB, 2012) variam de acordo com as características da floresta, da espécie, da natureza da matéria-prima, do produto, do grau de processamento, da eficiência do processo de transformação, tipos de máquinas empregadas pela indústria, número de operações do processamento, qualificação da mão-de-obra com as exigências do mercado, etc.

Neste campo, segundo a CENBIO (2016), a disponibilidade dos resíduos agropecuários é estimada com base na produção agrícola, no material orgânico resultante após a extração de madeiras e na atividade pecuarista dos municípios<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup>Na produção agrícola, essa disponibilidade é estimada através dos 'índices de colheita', que expressam a relação percentual entre a quantidade total de resíduos gerado por hectare plantado de uma determinada cultura e a quantidade de produto economicamente aproveitável. Na extração de madeiras, é estimada através do percentual de perdas de madeira que são deixadas na floresta pós-extração (infere-se que cerca de 20% da massa de uma árvore é deixada na floresta). E na atividade pecuarista, é estimada através dos índices de produção de esterco por unidade animal (kg/a) (EPE, 2014b; CENBIO, 2016).

No setor agrícola, os maiores índices de produtividade dos resíduos são das culturas do trigo, soja e milho respectivamente. Como as culturas da soja e do milho apresentam volumes de produção bem superiores às outras culturas, o maior potencial de disponibilidade de resíduos, conseqüentemente, estará localizado nestas duas culturas, conforme visualizado na Tabela 10.

**Tabela 10 – Disponibilidade de resíduos agrícolas por região (Mt/a)**

(continua)

Região/UF	Palha de soja	Palha de milho	Rama de mandioca	Palha de arroz	Casca de arroz	Palha de trigo	Resíduos de algodão	Palha de feijão
Rondônia	0,01	0,67	0,00	0,20	0,03	-	-	0,00
Acre	0,53	0,15	1,00	0,03	0,00	-	-	0,00
Amazonas	-	0,06	0,00	0,01	0,00	-	-	0,00
Roraima	-	0,02	0,00	0,10	0,02	-	-	0,00
Pará	-	0,95	3,00	0,32	0,05	-	-	0,00
Amapá	0,39	0,01	0,00	0,01	0,00	-	-	0,00
Tocantins	1,51	0,51	0,00	0,55	0,08	-	0,01	0,00
<b>Norte</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Maranhão	2,00	0,98	1,00	0,73	0,11	-	0,02	0,00
Piauí	1,43	0,62	0,00	0,14	0,02	-	0,01	0,00
Ceará	-	0,32	0,00	0,08	0,01	-	0,00	0,00
Rio Grande do Norte	-	0,01	0,00	0,01	0,00	-	0,00	0,00
Paraíba	-	0,02	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Pernambuco	-	0,13	0,00	0,02	0,00	-	0,00	0,00
Alagoas	-	0,04	0,00	0,02	0,00	-	0,00	0,00
Sergipe	-	1,37	0,00	0,06	0,01	-	0,00	0,00
Bahia	4,38	4,05	2,00	0,04	0,01	-	0,40	0,00
<b>Nordeste</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Minas Gerais	3,64	11,08	1,00	0,14	0,02	0,23	0,02	1,00
Espírito Santo	-	0,12	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Rio de Janeiro	-	0,03	0,00	0,01	0,00	-	0,00	0,00
São Paulo	2,14	7,33	1,00	0,10	0,02	0,33	0,01	0,00
<b>Sudeste</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Paraná	19,28	24,69	3,00	0,21	0,03	9,40	0,00	1,00
Santa Catarina	1,86	6,65	0,00	1,28	0,19	0,67	0,00	0,00
Rio Grande do Sul	14,53	10,25	1,00	8,46	1,24	5,78	0,00	0,00
<b>Sul</b>	<b>36</b>	<b>42</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Mato Grosso do Sul	25,52	6,88	0,00	0,18	0,03	0,20	0,06	0,00
Mato Grosso	6,46	14,86	0,00	0,85	0,12	0,00	0,58	0,00

**Tabela 10 – Disponibilidade de resíduos agrícolas por região (Mt/a)**

(conclusão)

Região/UF	Palha de soja	Palha de milho	Rama de mandioca	Palha de arroz	Casca de arroz	Palha de trigo	Resíduos de algodão	Palha de feijão
Goiás	10,23	8,57	0,00	0,27	0,04	0,22	0,07	0,00
Distrito Federal	0,22	0,45	0,00	0,00	0,00	0,02	-	0,00
<b>Centro-oeste</b>	<b>42</b>	<b>31</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Brasil</b>	<b>94</b>	<b>101</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

Fonte: EPE (2014b).

Além dos resíduos agrícolas, os resíduos florestais, que incluem todo o material orgânico que fica após a colheita, como folhas, ponteiros, caules, ramos, galhos finos e grossos (cipós), cascas, sobras de madeira (pó de serra e serragens), costaneiras (tocos), raízes, lenhas, serrapilheira, copas, cepas (ou cepilho), árvores mortas, entre outros, são cada vez mais preconizados como uma importante fonte de biomassa. Isto se deve a sua abundância, facilidade de provisão e baixo custo (MOREIRA, 2011).

A utilização energética destes resíduos florestais pode se dar de diferentes formas: através da queima direta em caldeiras, como lenha ou resíduo, gerando calor ou vapor de processo; da queima direta em UTE's para produção de energia elétrica; da queima direta em queimadores de partícula, como ocorre na indústria de cerâmica; e/ou da compactação dos resíduos, transformando-os em briquetes ou *pellets* para posterior utilização como lenha.

Em 2014, o setor florestal gerou cerca de 85.574.464 toneladas de resíduos florestais, sendo que deste total, 66.552.351 toneladas foram oriundas das atividades florestais (silvicultura) e 19.022.113 toneladas das atividades de processamento mecânico industrial (extrativismo) (Tabela 11). Segundo a ABIB (2015), na atividade silvicultural, há um quantitativo de não aproveitamento equivalente a 13.564.988 toneladas de resíduos e apenas um aproveitamento de 10,3% na utilização de geração de energia. Já na atividade extrativista, há um quantitativo de não aproveitamento equivalente a 17.437.036 toneladas de resíduos e um aproveitamento de 55,8% na utilização de geração de energia.

Observa-se ainda na Tabela 11 que, no período em questão, a região com maior geração de resíduos oriundos da atividade florestal silvicultural, foi a Sul, com o equivalente a 29.121.724,04 toneladas (43,7%), seguida da Sudeste (33,7%) e

Nordeste (15,6%). Em relação aos estados, o Paraná apresentou a maior geração, com 14.957.457 toneladas, seguido de São Paulo, Bahia e Santa Catarina. Com relação aos resíduos oriundos da atividade florestal extrativista, a região que mais se destacou foi a Norte, com 11.180.998 toneladas (58,7%), seguida da Centro-oeste (25,9%) e Nordeste (9,8%). Em relação aos estados, o Pará apresentou a maior geração, com 7.455.021 toneladas, seguido por Mato Grosso, Rondônia e Bahia.

**Tabela 11 – Disponibilidade de resíduos florestais por região (Mt/a)**

Região/UF	Silvicultura	Extrativismo	Região/UF	Silvicultura	Extrativismo
Rondônia	0,00	1.694.194	<b>Nordeste</b>	10.385.732	1.864.555
Acre	0,00	150.406	Minas Gerais	4.844.242	49.079
Amazonas	1.462,88	1.317.270	Espírito Santo	3.878.619	2.872
Roraima	0,00	125.910	Rio de Janeiro	93.419	1.397
Pará	342.422	7.455.021	São Paulo	13.640.566	17.776
Amapá	828.798	332.988	<b>Sudeste</b>	22.456.848	71.126
Tocantins	0,00	105.206	Paraná	14.957.457	784.223
<b>Norte</b>	2.065.959	11.180.998	Santa Catarina	9.663.744	149.929
Maranhão	42.102	230.441	Rio Grande do Sul	4.500.521	43.420
Piauí	0,00	150.684	<b>Sul</b>	29.121.724	977.573
Ceará	11.663	59.349	Mato Grosso do Sul	2.350.619	12.829
Rio Grande do Norte	0,00	8.199	Mato Grosso	22.506	4.890.982
Paraíba	0,00	0,00	Goiás	148.961	24.048
Pernambuco	0,00	43.452	<b>Centro-oeste</b>	2.522.087	4.927.859
Alagoas	24.580	2.962	<b>Brasil</b>	66.552.351	19.022.113
Sergipe	2.359,28	16.891			
Bahia	10.304.718	1.352.573			

Fonte: Oliveira (2015).

Todavia, nota-se que a disponibilidade de resíduos pecuários brasileiros oriundos de rebanhos confinados (bovinos, suínos e aves) também é elevada no Brasil, com destaque para o segmento bovino das regiões Nordeste e Sudeste em 2010, as quais responderam por 26.970 Mt/a e 42.404 Mt/a, respectivamente, como apresentado na Tabela 12.

**Tabela 12 – Disponibilidade de resíduos pecuários por região (Mt/a)**

Região/UF	Bovinos	Suínos	Aves
Rondônia	5.929	228	267
Acre	389	138	125
Amazonas	613	91	268
Roraima	104	69	67
Pará	4.183	671	822
Amapá	49	27	4
Tocantins	2.880	243	273
<b>Norte</b>	<b>14.147</b>	<b>1.467</b>	<b>1.826</b>
Maranhão	3.143	1.182	610
Piauí	865	867	640
Ceará	2.951	1.066	1.670
Rio Grande do Norte	1.413	176	303
Paraíba	1.309	134	685
Pernambuco	3.154	384	2.215
Alagoas	816	141	350
Bahia	12.111	1.613	2.238
Sergipe	1.210	91	451
<b>Nordeste</b>	<b>26.970</b>	<b>5.655</b>	<b>9.162</b>

Região/UF	Bovinos	Suínos	Aves
Minas Gerais	29.822	4.583	6.371
Espírito Santo	2.163	240	1.462
Rio de Janeiro	2.272	141	958
São Paulo	8.147	1.546	14.549
<b>Sudeste</b>	<b>42.404</b>	<b>6.510</b>	<b>23.340</b>
Paraná	8.486	1.546	17.445
Santa Catarina	5.360	4.650	11.417
Rio Grande do Sul	8.191	7.134	9.747
<b>Sul</b>	<b>22.037</b>	<b>13.330</b>	<b>38.608</b>
Mato Grosso do Sul	2.891	969	1.692
Mato Grosso	3.384	1.925	2.695
Goiás	13.578	1.868	3.608
Distrito Federal	115	143	465
<b>Centro-oeste</b>	<b>19.967</b>	<b>4.906</b>	<b>8.461</b>
<b>Brasil</b>	<b>125.525</b>	<b>31.867</b>	<b>81.397</b>

Fonte: EPE (2014b).

No entanto, importa destacar que, apesar da elevada quantidade evidenciada de resíduos agropecuários que o Brasil detém, o aproveitamento energético destes para a produção da agroeletricidade, tem se deparado com obstáculos na atualidade. Visando-se verificar os fatores limitantes deste aproveitamento e utilizando-se de múltiplas fontes de informações (com ênfase ao uso de dados secundários e pesquisa bibliográfica), os resultados e a discussão com base nas análises econômicas, ambientais, tecnológicas e regulatórias são realizados e apresentados no Capítulo 5 seguinte.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, as fontes renováveis de energia figuram-se como excelentes alternativas no que diz respeito à promoção do Desenvolvimento Sustentável de um país. Contudo, se o atendimento descentralizado de energia por meio dessas fontes se apresenta como uma solução viável e o Brasil ser detentor de um potencial significativo em relação a tais recursos, porque estes sistemas energéticos ainda não se encontram completamente difundidos no país?

Como resultado da busca da estabilidade energética e da garantia da segurança nacional após a crise do petróleo nos anos 1970, muitos países desenvolvidos e em desenvolvimento como o Brasil, iniciaram estudos e pesquisas para desenvolver fontes alternativas de energia. O PROINFA foi o primeiro passo para o desenvolvimento dessas fontes em maior escala no Brasil. Desde então, o país tem ser tornado reconhecidamente como produtor de energia limpa, diversificando seu *mix* energético. Tal reconhecimento se deu, principalmente, em função da participação significativa da hidroeletricidade na matriz energética, que por sua vez, é decorrente do grande potencial hídrico brasileiro e do custo relativamente baixo à implantação das PCH's. No entanto, o uso de novas fontes renováveis para geração de eletricidade no país ainda é considerado pequeno, frente à capacidade de expansão da geração. Entre as principais razões desta situação citam-se o alto custo associado (superiores aos das fontes tradicionais de energia) e a intermitência das fontes novas e renováveis (eólica e solar, principalmente), que as tornam ainda pouco atrativas. Outro fator que incorre, é que as regiões mais propícias para a instalação do aporte tecnológico para o aproveitamento das fontes renováveis, muitas vezes, estão situadas longe dos grandes centros urbanos, exigindo extensas redes de transmissão de energia, o que faz com que seja caro conectá-las à rede (COSTA, 2006; CREMONEZ et al., 2015).

Sob esta questão, a IEA (2011) revela que os entraves associados aos projetos de energias renováveis decorrem tanto de fatores econômicos, como de fatores de natureza não-econômica. Uma barreira econômica está presente se o custo de uma determinada tecnologia estiver acima do custo das alternativas concorrentes, mesmo em condições ótimas de mercado. Assim, a maturidade de uma tecnologia e sua barreira econômica estão diretamente ligadas. Contudo, as barreiras não-econômicas também têm um papel importante na determinação do custo das energias renováveis,

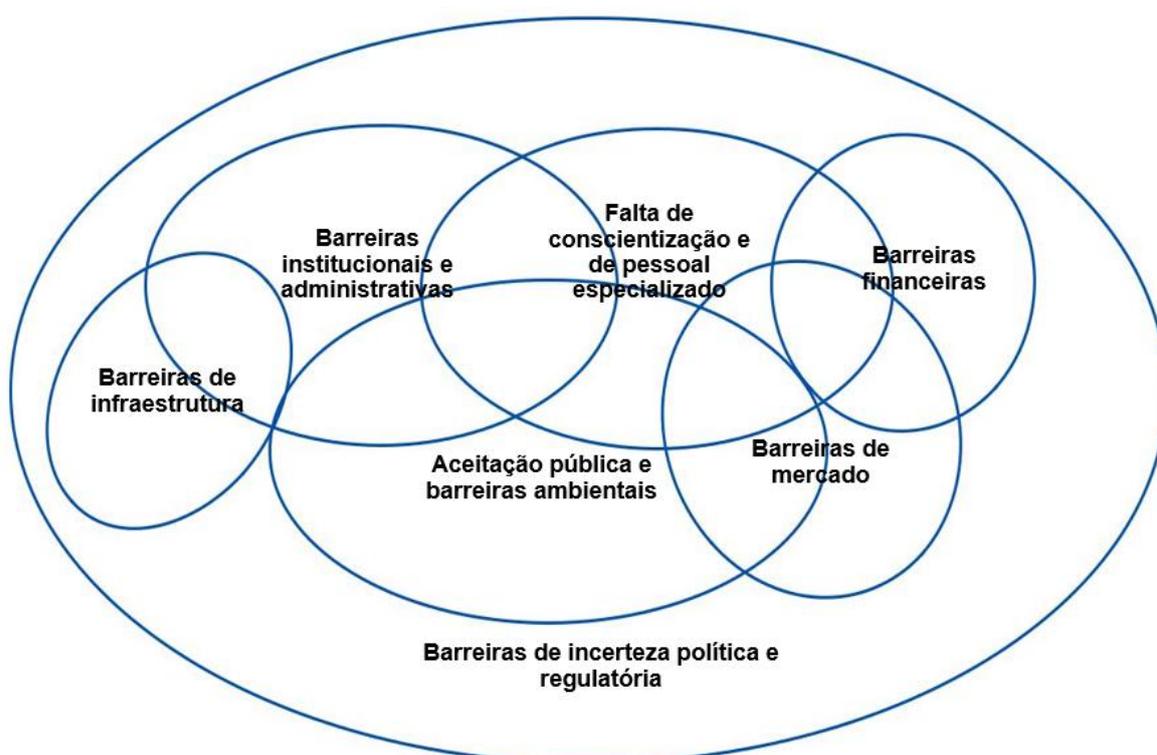
podendo impedir um aumento significativo na contribuição para uma matriz energética mais renovável e sustentável no futuro. As barreiras econômicas e não-econômicas podem ser classificadas da seguinte forma: as **barreiras econômicas** dizem respeito aos custos diretos de uma determinada tecnologia em comparação com as tecnologias concorrentes, levando em conta a internalização de todos os custos externos e as condições ideais. As **barreiras não-econômicas** se relacionam com fatores que impedem a implantação (independentemente de quão alta é a disposição a pagar) ou levam a custos mais elevados do que os preços necessários. Estas barreiras não-econômicas podem ser diferenciadas ainda mais, como (IEA, 2011):

- **Barreiras de incerteza política e regulatória:** se relacionam com a descontinuidade e/ou com a instabilidade das políticas e marcos regulatórios. A garantia do investimento no longo prazo é um fator primordial para que os investidores tenham segurança e para que a política tenha um efeito positivo;
- **Barreiras institucionais e administrativas:** incluem procedimentos de licenciamento complicados ou lentos. Políticas institucionais claras, coerentes e de longo prazo são necessárias para que não haja inseguranças no mercado;
- **Barreiras de mercado:** tais como estruturas de preços oscilantes e não-competitivos entre energias renováveis e fósseis, informações assimétricas, falhas de mercado, subsídios altos para combustíveis fósseis e o fracasso de métodos de custeio por incorporar custos sociais e ambientais ao preço final;
- **Barreiras financeiras:** associadas à ausência de oportunidades, como subsídios financeiros, incentivos fiscais e maior possibilidade de financiamento para novos empreendimentos em energias renováveis, uma vez que os geradores renováveis impõem altos custos sobre a cadeia elétrica como um todo;
- **Barreiras de infraestrutura:** que se centram na inflexibilidade do sistema para integrar/absorver energia renovável;
- **Falta de conscientização e de pessoal especializado:** relacionado ao conhecimento insuficiente sobre a disponibilidade e o desempenho das energias renováveis, bem como, o número insuficiente de trabalhadores qualificados;
- **Aceitação pública e barreiras ambientais:** ligadas aos impactos externalizados pela adoção e aceitação (ou não) das energias renováveis no mercado.

Isso mostra que barreiras econômicas e não-econômicas estão intimamente interligadas e dependentes umas das outras, não podendo ser simplesmente dissociadas, conforme visualizado na Figura 17. Assim, quando uma barreira surge, ou então é suprimida, outras também podem surgir afetando todos os demais campos.

Além disso, verifica-se que o desenvolvimento de fontes renováveis de energia em um país depende de vários fatores, indo além das condições macroeconômicas, e incluindo estrutura político-institucional, dinâmica do mercado de eletricidade, capacidade de infraestrutura, capacidade de intermitência das fontes geradoras, etc. Todos estes itens são computados para a promoção do desenvolvimento de energias renováveis (AZUELA; BARROSO, 2011).

**Figura 17 – Barreiras para o desenvolvimento de energias renováveis**



Fonte: Adaptado de IEA (2011).

Por barreiras econômicas e não-econômicas ao desenvolvimento de energias renováveis, Sen e Ganguly (2017) e Aquila e outros (2017) apontam que o maior obstáculo encontra-se na evolução e difusão dessas fontes no mercado (ainda baixas), podendo ser superada através de instrumentos políticos regulatórios que delimitem reduções de custos e tarifas instituídos sobre toda a cadeia energética dessas fontes, garantindo maior estabilidade e segurança política ao setor. Essas

incertezas regulatórias enfrentadas na atualidade pelo setor elétrico brasileiro, tornam o ambiente instável para investidores de projetos de geração de energia renovável. Para que ocorra a expansão neste sentido, governo e indústrias devem trabalhar em conjunto, implantando parcerias público-privadas para identificar os mercados-alvo e acelerar a implantação de protótipos a um custo mais baixo, e ainda, a desenvolver projetos de cogeração de energia, por exemplo. Isso possibilitará que as energias renováveis criem novas estratégias e nichos de mercado para os demais setores da economia, desempenhando um papel fundamental na atração de novos investimentos.

## 5.1. ANÁLISE DE FATORES ECONÔMICOS

Conforme analisado no item anterior, os investimentos e financiamentos em energias renováveis apresentam, em sua maioria, custos superiores aos necessários para a adoção das fontes tradicionais. Infere-se que os maiores obstáculos, neste sentido, não são técnicos, mas econômicos. Tolmasquim (2016) afirma que um dos aspectos mais relevantes em relação à geração de eletricidade, não somente à base de biomassa residual de cana-de-açúcar, mas a partir das demais fontes renováveis, é o custo de instalação e de operação dessas fontes que se mantém superiores aos sistemas tradicionais com combustíveis fósseis. Neste campo, Sultana, Kumar e Harfiel (2010) afirmam que o custo total da energia de resíduos da agricultura é maior até do que o custo da energia proveniente de fontes não-renováveis, a exemplo do gás natural, o que inibe a ação de investidores em utilizar a fonte residual como recurso energético.

Segundo a EPE (2014b) e Tolmasquim (2016), um dos fatores que acabam por tornar os custos de aproveitamento energético elétrico dos resíduos um processo de complexa viabilidade econômica, é o fato destes serem compostos por diversos dispêndios, tais como: da cadeia logística (desde a coleta destes resíduos até a entrega na unidade de conversão); de oportunidade e de remuneração ao produtor; do alto custo inicial do investimento; dentre outros. E todo esse custo adicional é contabilizado na tarifa final da energia e repassado ao consumidor.

Neste campo, para efeito de diagnóstico, pesquisas realizadas por Tolmasquim (2016) estimam que as faixas de custo nivelado da geração de eletricidade<sup>32</sup> oriunda dos resíduos agropecuários – agrícolas, florestais e pecuários – com aproveitamento em UTE's, possuem uma variação marginal compreendida entre US\$ 25 e 94 MWh, conforme visualizado na Tabela 13.

**Tabela 13 – Faixas de custo nivelado da geração elétrica obtida a partir de fontes renováveis e outras não-renováveis**

Fontes Energéticas		Faixas de Custo Nivelado da Geração Elétrica	
		Inicial	Final
<b>Resíduos Agropecuários</b>	Agrícola	US\$ 88 MWh	US\$ 94 MWh
	Florestal	US\$ 49 MWh	US\$ 89 MWh
	Pecuário	US\$ 25 MWh	US\$ 68 MWh
<b>Demais Renováveis</b>	Hidrelétrica (pequeno porte)	US\$ 30 MWh	US\$ 40 MWh
	Hidrelétrica (grande porte)	US\$ 20 MWh	US\$ 30 MWh
	Eólica	US\$ 30 MWh	US\$ 80 MWh
	Solar	US\$ 200 MWh	US\$ 356 MWh
	Oceânica	US\$ 340 MWh	US\$ 425 MWh
<b>Não-renováveis</b>	Nuclear	US\$ 50 MWh	US\$ 60 MWh
	Gás Natural	US\$ 65 MWh	US\$ 80 MWh
	Carvão Mineral	US\$ 29 MWh	US\$ 44 MWh

Fonte: Elaboração própria a partir de Tolmasquim (2016).

No entanto, estima-se que aperfeiçoamentos técnicos a serem desenvolvidos nos próximos anos poderão aumentar ainda mais a produtividade das centrais termelétricas e, certamente, trarão uma diminuição nos custos de produção desse tipo de energia, que ainda é considerada cara quando comparado à das hidrelétricas, porém, sob uma faixa de custo bem menor quando comparada às fontes solar, que demandam altos investimentos iniciais e operacionais em tecnologia, e oceânica<sup>33</sup>,

<sup>32</sup>Os custos nivelados de geração de eletricidade servem como um indicador geral dos custos de produção de energia elétrica por meio da comparação entre diferentes tecnologias.

<sup>33</sup>As faixas de custo nivelado da geração de eletricidade obtida a partir da fonte oceânica são de mais difícil avaliação, devido ao fato de haver pouca experiência de fabricação e implantação dessa tecnologia, especialmente em escala comercial. As estimativas, portanto, costumam ser baseadas na extrapolação de dados disponíveis de custos de protótipos baseados na energia cinética das ondas e correntes, na energia potencial das variações de maré, no gradiente térmico ou no gradiente de salinidade (TOLMASQUIM, 2016).

que em função da falta de experiência brasileira com esse tipo de fonte, acaba elevando a percepção de risco aos investidores, exigindo maiores taxas de retorno, e conseqüentemente, maiores custos com geração. Em síntese, para que a produção de energia elétrica a partir da biomassa residual possa ser implementada em larga escala, são necessários investimentos nos equipamentos das usinas e na modernização dos processos produtivos (CAMPOS et al., 2016).

O processo de análise econômica de utilização de resíduos em UTE's parte do estabelecimento de pressupostos conceituais relacionados à intenção empresarial em gerar energia de acordo com um critério empresarial. Usualmente, este critério é selecionado entre alternativas como as descritas por Coelho e Goldemberg (apud LEBRE et al., 2010): (i) gerar exclusivamente o montante de energia que é considerado pela empresa, (ii) queimar todo seu combustível através de tecnologias convencionais comercializando eventuais excedentes de carga, e (iii) gerar o máximo de energia possível com o combustível existente, apesar dos custos associados. Escolhido o critério, os principais itens considerados serão os lucros operacionais e não-operacionais gerados na instalação do empreendimento termelétrico, o mercado, a localização e a escala de produção.

Diante disto, diversos estudos, como os de Tolmasquim (2003; 2016), Caputo e outros (2005), Rentizelas; Tolis e Tatsiopoulos (2009), Felfli e outros (2011), Sultana; Kumar e Harfiel (2010), Castro; Brandão e Dantas (2010), Gold e Seuring (2011), e EPE (2014b), evidenciam com frequência, que as principais barreiras de aproveitamento de biomassa residual são os custos relativamente elevados de implementação, se comparada à quantidade de energia produzida em virtude dos projetos de biomassa serem na sua maioria projetos de pequena escala, de alto investimento inicial, dos custos elevados do tratamento e da logística da biomassa e do baixo custo dos combustíveis fósseis. Além disso, os projetos de biomassa residual tendem a ter que competir com os recursos escassos e dificuldades de financiamento adequado. Tais fatores criam uma barreira econômica que resulta em desanimar potenciais agentes financeiros e investidores de projetos de energia a partir de fontes residuais.

Caputo e outros (2005) afirmam que o preço da energia comercializada em LFA e LER oriunda de biomassa residual no mercado é considerado caro desde épocas remotas, devido às restrições de logística, uma variável fundamental na viabilização da biomassa residual, dada a sua característica inerente de dispersão sobre uma grande

área. Segundo Oliveira (2011), a logística do fornecimento de combustível dessa fonte é susceptível de ser complexa devido às características intrínsecas da matéria-prima, tais como o período limitado de disponibilidade e a sua distribuição geográfica sobre o território.

Adicional a esta análise está a descrita por Rentizelas; Tolis e Tatsiopoulos (2009), de que a maior parte do custo na geração de energia de biomassa origina-se das operações de logística. A cadeia logística da biomassa residual pode e assume diversas configurações e se dá em função de condições como infraestrutura local, armazenagem, tecnologia empregada, tipo de biomassa, sazonalidade da demanda, localização da usina, etc. Dentre estas condições, um dos principais problemas identificados relacionados com a logística, é a armazenagem, em função, especialmente, da disponibilidade sazonal da biomassa. Ainda segundo os autores, a literatura de exploração de energia de biomassa raramente investigou a questão do armazenamento de biomassa residual.

Além disso, a larga e crescente produção agropecuária brasileira atualmente está concentrada nas regiões Centro-oeste e, por ora, vem se expandindo para as regiões nordestinas, como o caso do MATOPIBA, no setor de grãos. Entretanto, verifica-se que UTE's que utilizam fontes residuais como insumo combustível, estão concentradas, majoritariamente, na região Sudeste do país, as quais tendem a enfrentar barreiras logísticas e de infraestrutura inviáveis para o transporte deste material.

A este respeito, uma cadeia de abastecimento eficiente e eficaz e uma gestão logística representam um parâmetro fundamental para se atingir resultados econômicos viáveis (GOLD; SEURING, 2011). Sendo assim, como possibilidade para resolver o problema logístico, menciona-se, como uma das alternativas, a utilização do método tecnológico de briquetagem, que fornece a esta fonte características interessantes como o aumento da possibilidade de armazenamento, a maior facilidade para a granulação e a menor higroscopicidade (capacidade de absorver água) (FELFLI et al., 2011).

Todavia, a utilização de resíduos em larga escala exige uma infraestrutura complexa para a sua implantação, necessitando de uma quantidade considerável de esforços coordenados para operar. Uma central geradora, utilizando diversos tipos de insumos, tais como os resíduos da agricultura, produtos da floresta e colheitas energéticas, envolve uma verdadeira rede de participantes, incluindo fazendeiros, indústrias

florestais e companhias de reflorestamento. Variações, tanto no mercado das indústrias envolvidas, como climáticas, afetam tanto o armazenamento, como a disponibilidade dos insumos. Além disso, a malha de transporte tem de estar apta a garantir a entrega do combustível em horários programados.

Idealmente, a área de coleta de insumos não deveria ser muito grande, a fim de evitar que o uso de energia para transporte e os impactos ambientais deste possam cancelar os benefícios adquiridos pelo uso dessa opção tecnológica. Essas questões certamente seriam atenuadas pela geração de empregos, por exemplo, em sistemas de pequeno porte, como comunidades distantes da malha energética (REIS; CUNHA, 2006).

Para tanto, conclui-se que existem condições mínimas de viabilidade econômica para os investimentos mais favoráveis, sendo que o financiamento melhora em muito a atratividade, mesmo para uma taxa de juros bastante alta como a brasileira se comparada às mundiais.

Entretanto, não há dúvida de que é fundamental a implantação de políticas adequadas para a comercialização de energia (preço de compra competitivo, incentivos às concessionárias, incentivos fiscais aos produtores de equipamentos) e para tecnologias mais eficientes (taxas de juros e condições de financiamento melhores).

Todavia, apesar de os fatores econômicos da cadeia produtiva de geração de energia obstaculizarem o potencial máximo de utilização das fontes residuais agropecuárias, ressalta-se que estes não são os únicos parâmetros relevantes na análise de sistemas energéticos em geral e de geração de eletricidade, em particular. No âmbito social por exemplo, como mencionado pela Associação Brasileira de Produtores e Florestas Plantadas (ABRAF, 2013), as atividades desse setor, que incluem pequenos agricultores e/ou produtores rurais, acabam por fixarem as populações no campo, agregam valor às cadeias produtivas do meio rural e auxiliam na melhoria da qualidade de vida dos agricultores.

## 5.2. ANÁLISE DE FATORES AMBIENTAIS

Um dos principais benefícios ambientais da utilização da biomassa reside no fato da maior parte dos combustíveis ter origem residual, ou seja, ao mesmo tempo que se

garante um maior aproveitamento dos recursos disponíveis, evita-se a disposição inadequada desses materiais.

De acordo com Reis e Cunha (2006), assim como nas usinas hidrelétricas, a produção de energia elétrica nas UTE's baseia-se na produção de energia mecânica, a qual aciona um motor gerador elétrico. A diferença básica em relação às hidrelétricas, reside no fato de que nas termelétricas, a energia mecânica é produzida pela transformação de energia térmica, originada por processos de combustão ou de fissão nuclear (caso específico das centrais nucleares).

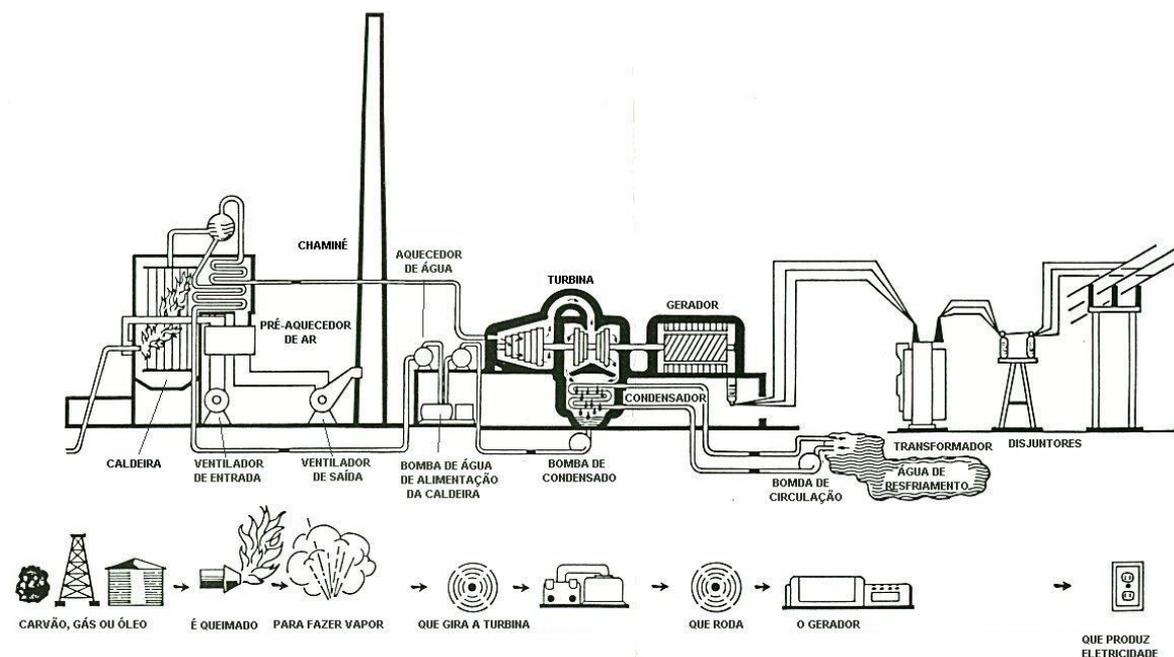
Nesse contexto, o impacto ambiental das UTE's é bastante dependente de dois itens: o tipo de combustível ou recurso natural usado, e, obviamente, da tecnologia. O primeiro, se dá em função das emissões aéreas provenientes do processo de combustão dos subprodutos, que irá variar conforme a composição química do combustível utilizado. O segundo, se dá em função do aprimoramento e aporte tecnológico utilizado.

Ao se fazer uma análise das vantagens ambientais da utilização de resíduos agropecuários como fonte combustível em UTE's, têm-se como benefícios: o reaproveitamento de resíduos que seriam aterrados; a preservação de recursos minerais fósseis que seriam extraídos/explorados pela demanda industrial; a diminuição no percentual de emissões de GEE, por ser uma fonte menos poluente; a possibilidade de maior praticidade para estocar, converter e transportar este insumo energético; bem como, a própria configuração dessas usinas, que são constituídas por um sistema de funcionamento ambientalmente sustentável. Neste sentido, as externalidades ambientais positivas da produção e uso dos resíduos agropecuários justificam a adoção de políticas públicas no país.

Quando analisados os itens que compõem esse sistema, como o visualizado na Figura 18, observa-se a existência de: uma caldeira, uma chaminé, uma turbina, um sistema condensador, um gerador e bombas de água. A caldeira é responsável pelo aquecimento da água. A chaminé libera os gases já tratados com o objetivo de abatimento dos poluentes, entre eles  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , HCl, produzidos pela queima do combustível e com um sistema de captação consegue reter a fuligem produzida. A turbina aproveita a energia do vapor da água que gira suas pás, recebendo energia mecânica. O sistema condensador é responsável por condensar o vapor da água que movimenta a turbina. O gerador transforma a energia mecânica da turbina

em energia elétrica. E as bombas de água são responsáveis pela movimentação da água reaproveitável por todo o sistema gerador (ALBUQUERQUE, 2010), fazendo da produção de energia a partir da queima destes resíduos uma alternativa ambientalmente viável a ser incorporada na matriz elétrica brasileira.

**Figura 18 – Etapas do processo de geração de eletricidade em UTE's a vapor**



Fonte: PET CIVIL UFJF (2013).

Em princípio, a utilização dos resíduos em UTE's pode ser considerada como uma fonte limpa para as matrizes energética e elétrica brasileiras, uma vez que o carbono emitido é recuperado no plantio das culturas e a fumaça produzida na queima dos resíduos não causa danos ambientais, em virtude de sua baixa toxicidade e retenção da fuligem em filtros que torna-se adubo para plantações futuras. Adicionalmente, essa fonte energética possibilita a emissão de créditos de carbono sob as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo<sup>34</sup> (MDL), comercializáveis em bolsas de

<sup>34</sup>Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): por meio deste mecanismo, os países desenvolvidos podem ampliar as possibilidades de cumprirem suas metas de redução de emissões de GEE estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto, pois podem adquirir Certificados de Redução de Emissões (CRE), também conhecidos como créditos de carbono, originados por projetos que sejam implementados nos países em desenvolvimento, como o Brasil. Por sua vez, estes últimos podem, a partir da implantação de projetos que comprovadamente consigam reduzir as emissões de GEE ou sequestrar CO<sub>2</sub> atmosférico, gerar créditos de carbono e vendê-los aos países desenvolvidos, criando fontes adicionais de receita, possibilitando o aprimoramento tecnológico e contribuindo para o Desenvolvimento Sustentável desses países. Os órgãos encarregados de emitir os Certificados, são as agências reguladoras, que autorizam a emissão de gases poluentes, enquanto acompanham as

valores e serve como fonte de geração de eletricidade complementar às hidrelétricas nas estações de seca e crise hídrica.

Todavia, quando contrabalanceados os aspectos positivos e negativos oriundos da produção de eletricidade em UTE's, verifica-se que esse tipo de usina pode causar impactos ambientais indesejados, caso certas medidas de precaução não sejam tomadas. Sob essa ótica, no Quadro 5, apresentam-se as principais causas, impactos e propostas mitigadoras/compensatórias ambientais na geração de eletricidade em UTE's no Brasil.

**Quadro 5 - Principais causas, impactos e medidas compensatórias ambientais na geração de eletricidade em UTE's no Brasil**

(continua)

<b>Causa/Atividade</b>	<b>Impactos</b>	<b>Medidas Compensatórias</b>
Emissões aéreas de SO <sub>x</sub>	Dependendo da concentração: Participação na acidificação das chuvas.	Utilização de combustível com menor teor de enxofre; Remoção do enxofre antes da combustão (beneficiamento do enxofre durante a adição de neutralizantes); Remoção dos óxidos de enxofre após a combustão (dessulfurização); Dispersão em chaminés adequadas; Utilização de tecnologias modernas de combustão com maior eficiência (cogeração); Monitoramento das emissões, qualidade do ar, chuvas, águas e condições meteorológicas.
Emissões aéreas de CO <sub>2</sub>	Contribuição para o efeito estufa.	Implantação e manejo de florestas próximas às regiões das usinas para fixação de carbono; Utilização de tecnologias modernas de combustão com maior eficiência (cogeração).
Emissões aéreas de NO <sub>x</sub> , hidrocarbonetos e CO	Dependendo da concentração: Produção de oxidantes fotoquímicos; Diminuição da visibilidade; Participação na acidificação das chuvas.	Controle da combustão; Adoção de queimadores de baixa emissão de NO <sub>x</sub> ; Dispersão em chaminés adequadas; Uso de tecnologias de combustão com maior eficiência (cogeração); Monitoramento das emissões, qualidade do ar, chuvas, águas e condições meteorológicas.
Percolação da água da chuva nas áreas de estocagem do combustível sólido	Emissão de sólidos suspensos e alteração do potencial hidrogeniônico (pH); Contaminação do lençol freático;	Bacias de sedimentação ou decantação; Neutralização dos efluentes; Precipitação química de metais dissolvidos; Impermeabilização das áreas de estocagem; Monitoramento do lençol freático.

vendas dos créditos de carbono. Em linhas gerais, o MDL visa a mitigação das mudanças globais do clima (MACEDO, 2009).

### Quadro 5 - Principais causas, impactos e medidas compensatórias ambientais na geração de eletricidade em UTE's no Brasil

(conclusão)

Causa/ Atividade	Impactos	Medidas Compensatórias
Sistemas de água de resfriamento	Dependendo da tecnologia: Sistema aberto: Elevação da temperatura da água no corpo receptor Redução do oxigênio dissolvido. Sistema fechado/torre úmida: Névoas quimicamente ativas; Redução da visibilidade; Interação da névoa úmida com a pluma da chaminé (potencializa a acidificação atmosférica). Sistema fechado/torre seca: Não provoca o comprometimento dos recursos hídricos atmosféricos.	Estudo de dispersão térmica no curso d'água; Avaliação de impacto sobre o ecossistema aquático; Uso de torres de retenção de gotículas; Localização das torres, considerando as direções preferenciais dos ventos na região; Evitar a sobreposição de névoa/pluma; Usar aditivos químicos na água de resfriamento nas condições mínimas necessárias.
Resíduos sólidos do processo	Efeito estético indesejado; Ocupação de áreas extensas de depósito; Possibilidade de contaminação de recursos hídricos decorrente da percolação das chuvas; Poeiras/partículas fugitivas.	Utilização de resíduos sólidos como matéria-prima para outros processos industriais; Seleção de áreas para reposição dos resíduos; Implantação do aterro sanitário conforme especificação do órgão ambiental; Monitoramento da drenagem pluvial e de lixiviados, cortinas vegetais de proteção contra os ventos.
Emissões aéreas de material particulado	Dependendo da concentração: Interferência na fauna e flora.	Utilização de combustível com menores teores inertes; Remoção dos inertes antes da combustão (beneficiamento); Remoção dos inertes após a combustão (filtros); Dispersão em chaminés adequadas; Utilização de tecnologias modernas de combustão com maior eficiência (cogeração); Monitoramento das emissões, qualidade do ar, chuvas, águas e condições meteorológicas.

Fonte: Adaptado de Reis e Cunha (2006) e Tolmasquim (2016).

Conforme analisado no Quadro 5, os impactos ambientais causados a partir de UTE's no Brasil são notórios. Entretanto, segundo Oliveira; Henriques e Pereira Jr. (2010), os processos utilizados para a redução dos níveis de emissão de gases decorrentes da combustão de biomassa residual, mesmo que notórios, ainda assim, são significativamente menores do que os produzidos pela queima dos combustíveis fósseis e não trazem maiores impactos ambientais do que aqueles com que os quais o setor já vem lidando e encontrando soluções. A saber (REIS, CUNHA, 2006; OLIVEIRA, HENRIQUES, PEREIRA JR., 2010):

- O CO<sub>2</sub> que é liberado para a atmosfera pela utilização da biomassa residual na produção de energia elétrica, em princípio, não contribui para agravar o efeito estufa. No ciclo da exploração desse recurso, o balanço de emissão de CO<sub>2</sub> (pela queima) e absorção (pelo crescimento de florestas) tende a ser nulo;
- A emissão de NO<sub>x</sub>, por causa do nitrogênio presente na biomassa, é significativamente menor do que a produzida pela queima dos combustíveis fósseis;
- A emissão de SO<sub>2</sub> é significativamente baixa por causa dos baixos teores de enxofre. Assim, não há contribuição significativa para a formação de chuva ácida.

Quando o assunto são os biocombustíveis, é importante se ter em mente que, apesar dos benefícios ambientais de sua utilização (notadamente uma diminuição significativa nas emissões de GEE), ressalta-se que estes, sendo o resultado de um processamento químico, também podem, eventualmente, produzir danos ambientais, caso cuidados não sejam tomados. Sua produção e uso final em larga escala podem ter impactos graves, tais como a utilização de grandes quantidades de água, desaparecimento de florestas e redução da produção e do cultivo de alimentos, além da degradação do solo (PALACIO et al., 2012). Como principais efeitos ambientais considerados na avaliação do ciclo de vida dos biocombustíveis, podem ser verificados os dispostos no Quadro 6.

**Quadro 6 – Principais efeitos ambientais identificados e considerados na avaliação do ciclo de vida dos biocombustíveis**

<b>Matéria-prima</b>	<b>Processamento</b>	<b>Mercados</b>
Erosão do solo Arraste de nutrientes Arraste de pesticidas Uso da terra (conversão) Biodiversidade	Poluição do ar Poluição das águas	Deslocamento do arraste de nutrientes e pesticidas Deslocamento da poluição do ar Deslocamento da poluição da água Deslocamento do uso do solo Deslocamento de GEE

Fonte: Palacio et al. (2012).

O biogás, por exemplo, disposto principalmente em aterros sanitários, é constituído basicamente por metano (CH<sub>4</sub>) (presente em maior quantidade) e CO<sub>2</sub>. Dois gases que precisam ter suas emissões devidamente controladas, em função de suas toxidades. Logo, investir no seu aproveitamento remete também a importantes

implicações ambientais, visto que, o CH<sub>4</sub> é um GEE com potencial de aquecimento cerca de 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub>, sendo responsável pelo percentual estimado de 25% do aquecimento global (FARIAS, 2010). Neste campo, como alternativa de aproveitamento energético direto do biogás gerado em aterros sanitários, tem-se a implantação de *flares* enclausurados<sup>35</sup>, independente da escolha de sua utilização energética (seja elétrica, térmica, veicular, iluminação a gás, etc.). Isto porque, em caso de falha no sistema de geração de energia ou outro tipo de aproveitamento, evita-se a emissão de CH<sub>4</sub> para a atmosfera e a consequente perda de créditos de carbono estabelecidos via MDL (MACEDO, 2009).

Já na produção do etanol, o chamado vinhoto<sup>36</sup>, por exemplo, pode constituir-se em um poluente ambiental nocivo, se não tratado devidamente. Trata-se de um resíduo dos mais significativos em termos de quantidade, visto que, para cada 1 litro de álcool produzido, produzem-se cerca de 12 litros de vinhoto. Esse resíduo pastoso é um forte poluente, quando simplesmente lançado em leitos de rios. Muito embora seu uso como fertilizante (ainda que pequeno), complemento na ração animal ou na produção de biogás (ainda reduzida) possa constituir-se em alternativas viáveis para a redução de seu caráter poluente, o vinhoto constitui-se, presentemente, em preocupação ambiental que acompanha a produção do etanol (FARIAS, 2010).

O caso do etanol deixa claro uma das questões “enganadoras” quando o assunto são biocombustíveis, o fato de que não se pode levar em conta o percentual poluente apenas da utilização do produto em si, mas de todas as etapas que incorporam sua cadeia produtiva. Quando considerada toda a cadeia produtiva, o “balanço ambiental”, aparentemente favorável, pode revelar-se desfavorável.

Na produção do biodiesel, há de se considerar dois importantes problemas. O primeiro deles, é o de como efetuar o tratamento e o descarte da grande quantidade de água contaminada com álcool e hidróxido de sódio, resultantes da etapa lavagem do biocombustível. O segundo problema, advém da grande quantidade de glicerina

---

<sup>35</sup>*Flares* enclausurados: construídos em aço carbono e isolados internamente com fibra cerâmica, possuem queimadores internos fixados em um coletor inferior, interligados com o duto do biogás. Este duto principal de biogás, por sua vez, apresenta uma bifurcação, destinada ao envio do gás para os sistemas de geração de energia ou outras finalidades de reaproveitamento antes da queima (MACEDO, 2009).

<sup>36</sup>Vinhoto: também conhecido por ‘vinhaça’, ‘tiberna’ ou ‘restilo’, constitui-se em um resíduo pastoso e de forte odor, resultante da destilação fracionada do caldo da cana-de-açúcar fermentado para a produção do etanol (EPE, 2017).

obtida como subproduto na síntese do biodiesel, que é contaminada no processo. Para que ela possa posteriormente ser utilizada e comercializada no mercado, deve ser purificada. Problemas estes, que exigem o emprego de processos potencialmente danosos ao meio ambiente.

Uma vez que a produção de biocombustíveis provém da cultura majoritária de espécies vegetais, a produção em larga escala de biocombustíveis requer, inevitavelmente, a produção em larga escala dessas espécies vegetais. Ora, aumenta-se a produção dessas espécies, basicamente, com aumento da área plantada ou com aumento de produtividade. E aumentar a área plantada pode significar (embora não necessariamente), o aumento do desmatamento. Assim, observa-se que, como em qualquer atividade agrícola em larga escala, a produção de espécies vegetais para a produção de biocombustíveis tem também um custo ambiental que precisa ser adequadamente avaliado, quer do ponto de vista da ecologia, quer do ponto de vista econômico, a fim de que um aparente ganho não se traduza, a médio e longo prazo, em prejuízos.

Uma das observações mais contundentes que os críticos da produção em larga escala de biocombustíveis costumam fazer, é que essa produção terminaria por comprometer, em alguma medida, a produção de alimentos (FOREST et al., 2014), com conseqüente aumento dos preços de venda deste último (HAVLÍK et al., 2011). Entretanto, esta suposição pode ser antagônica. Segundo Goldemberg e outros (2010), a produção de biocombustíveis pode se expandir sem disputar espaço com a produção de alimentos e ainda causar menos impacto ambiental se houver mais pesquisa científica e tecnológica e maior interação com políticas públicas de desenvolvimento econômico e social no país.

No Brasil, com uma produção de alimentos bastante significativa, que o coloca na condição, inclusive, de exportador de várias *commodities* (MAPA, 2016), e contando ainda com muitas áreas já desmatadas, um acréscimo na produção de oleaginosas e de cana-de-açúcar pode ocorrer sem que seja necessário ampliar o desmatamento ou utilizar áreas tradicionalmente empregadas para a produção de alimentos. Num país em que se optou por utilizar não apenas uma ou duas, mas todo um conjunto de espécies vegetais oleaginosas, em função, em grande parte, do atrelamento do PNPB a programas de natureza social, a produção dessas oleaginosas acaba por contribuir

para a preservação de determinadas espécies, bem como para a fixação das populações rurais no campo.

Perceba que, ainda que fosse demonstrada a não correlação entre os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> e o aquecimento global (fato que retiraria dos biocombustíveis, uma de suas grandes “forças”), ainda restaria a questão estratégica relativa à necessidade de todo e qualquer país de se tornar autossuficiente em termos de energia.

### 5.3. ANÁLISE DE FATORES TECNOLÓGICOS

Conforme analisado no Capítulo 3, das rotas tecnológicas de conversão energética dos resíduos agropecuários em termos de produção de biocombustíveis e geração de eletricidade existentes em nível mundial, a digestão anaeróbica, a transesterificação, a briquetagem e peletização, e a combustão direta, já são aplicadas comercialmente no Brasil, o que resulta em uma vantagem competitiva nos investimentos em relação às alternativas que requerem a importação de equipamentos. Ao passo que, tecnologias mais avançadas como a gaseificação e a pirólise, ainda se encontram em estágio de desenvolvimento e demonstração para grandes potências.

Neste campo, Lora e outros (2012) ressaltam que o atual estágio de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos relacionados com a geração de eletricidade a partir de resíduos não tem atingido, na maioria dos casos, o estágio comercial esperado. No caso brasileiro, o que se depreende é que questões econômicas, como baixos investimentos em P&D, elevados custos de investimento com capital inicial e poucas ofertas comerciais, justificam os entraves para o aproveitamento energético dos resíduos para a produção de eletricidade por meio, inclusive, da modalidade de Geração Distribuída (TOLMASQUIM, 2016). Assim, como desafio, está o desenvolvimento técnico e comercial em larga-escala de plantas com alta eficiência e a garantia de fornecimento contínuo a um preço baixo.

Identificam-se como atuais barreiras à penetração da tecnologia no mercado brasileiro: a falta de uma política para a viabilização da mesma no país, como ocorreu com as UTE's a gás natural em que foram criadas condições para implementação desse tipo de usina, como o Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT); a falta de informação dos tomadores de decisão com relação às tecnologias existentes para

a questão dos resíduos sólidos; a não contabilização dos custos ambientais e da saúde na análise de viabilidade das diferentes opções tecnológicas tradicionais e alternativas para a geração de energia elétrica; para as opções (tradicionais ou alternativas) de disposição e aproveitamento dos resíduos sólidos; e ainda, a necessidade das usinas em ter que gerar energia a um custo competitivo com as demais fontes de geração existentes atualmente (TOLMASQUIM, 2003; TORQUATO, RAMOS, 2013).

Muito embora os resíduos agropecuários ainda se configurem como uma fonte energética com ínfima participação na geração de eletricidade no Brasil (exceção do bagaço da cana) e o país invista pouco em infraestrutura (GALVÃO JR.; PAGANINI, 2009), evidencia-se que tal realidade não é devida à falta de tecnologias disponíveis, e sim, principalmente, à melhoria da eficiência de processo. Sob esta perspectiva, há a necessidade de incentivos que melhorem o desempenho do setor no que se refere à inovação tecnológica, como maiores investimentos para redução do custo de produção e, ainda, uma diminuição do preço por kWh, possibilitando assim uma maior competitividade via preço nos leilões de energias alternativas.

#### 5.4. ANÁLISE DE FATORES REGULATÓRIOS

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com o processo ou a atividade que lhes deu origem, e neste(a) inclui suas características e constituintes, bem como a comparação desses constituintes com outros resíduos e substâncias cujo impacto ao meio ambiente e à saúde humana é sabido. Isto posto e considerando a crescente preocupação da sociedade com relação às questões ambientais e ao Desenvolvimento Sustentável, a ABNT criou uma Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos (CEET), para revisar a Norma Brasileira nº 10.004/2004, de classificação dos resíduos sólidos, visando aperfeiçoá-la e, desta forma, fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos (ABNT, 2004). Para os efeitos desta Norma, aplica-se a seguinte definição para resíduos sólidos: “resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem

industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (...)” (ABNT, 2004, p.1).

Adicional a esta Norma, em 2010, deu-se o início a uma articulação institucional envolvendo três entes federados: governo (união, estados e municípios), setor produtivo e sociedade, na busca de soluções para problemas graves e de grande abrangência territorial que vinham comprometendo a qualidade de vida dos brasileiros. Tal articulação, culminou na instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada através da Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010a) e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010 (BRASIL, 2010b). A PNRS, ao estabelecer um conjunto de princípios, objetivos, diretrizes, metas e instrumentos adotados pelo governo federal, no âmbito da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, tinha como objetivo primordial, o incentivo à formação de associações intermunicipais, para que houvesse compartilhamento das tarefas de planejamento, fiscalização e prestação de serviços de acordo com tecnologias adequadas à realidade regional, permitindo o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Como instrumento de auxílio à execução da PNRS, foi criado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de atuação de 20 anos, a ser revisado e atualizado a cada quatro anos. Elaborado por intermédio da articulação de 12 órgãos e entidades governamentais (instituídos como Comitê Interministerial da PNRS), com apoio do IPEA, e sob coordenação do MMA, o referido plano contempla as responsabilidades compartilhadas dos geradores de resíduos, do poder público e dos consumidores em relação à gestão dos resíduos sólidos, designa a subdivisão dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos em Planos Municipais de Resíduos Sólidos, e estabelece o limite temporal de quatro anos para ações de eliminação de lixões e de implantação de destinação ambientalmente adequada dos rejeitos nos estados e municípios brasileiros. O ano de 2014 era o prazo final para que os municípios e as empresas tomassem as devidas providências em relação a todos os itens mencionados no plano. Entretanto, dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016) revelaram que apesar dos esforços empreendidos e dos avanços registrados, principalmente a partir de 2010, os índices registrados ao final de 2014 mostraram que a situação da gestão

de resíduos no Brasil está bastante distante da proposta. Ainda segundo a Associação, é sabido que apenas 10% dos municípios brasileiros tomaram as devidas providências. Tal fato, culminou na prorrogação do prazo final para 31 de julho de 2021.

Em síntese, a Lei nº 12.305/2010 instituiu, de fato, um novo marco regulatório para os resíduos, tendo como diretriz basilar a seguinte ordem de prioridade: não geração; redução; reutilização; reciclagem; tratamento; e disposição final ambientalmente adequada, e considerando, de acordo com Sousa (2012), as variáveis socioeconômica, ambiental e tecnológica desde sua origem. Todavia, ao se comparar os dados mais atuais do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicados pela ABRELPE (2016), verifica-se que a evolução na gestão de resíduos no país ainda tem sido bastante lenta, apresentando até mesmo uma estagnação em pontos como os dos acordos setoriais de logística reversa, por exemplo, o que impede a plena aplicação da Lei.

A institucionalizada PNRS “determina que os resíduos sólidos devam ser tratados e recuperados por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, antes de sua disposição final” (ABRELPE, 2015, p. 13). Tendo isto em vista, a referida Lei, em seu art. 3º, traz distinções quanto ao tratamento. São os conceitos de resíduos sólidos e rejeitos, e os de destinação final ambientalmente adequada e disposição final ambientalmente adequada.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

(...)

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

(...)

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem

outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010a).

Ao fazer essa diferenciação, a Lei nº 12.305/2010 define as ações e os destinos mais apropriados a cada um deles. Destaca-se, nos conceitos elucidados, que a destinação final refere-se a resíduos sólidos que possuem potencial de tratamento, enquanto a disposição final refere-se a rejeitos que não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a).

São exemplos de tratamentos passíveis de serem aplicados no país: a compostagem, a reciclagem, a disposição em aterros sanitários e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010a). Contudo, o objetivo desta pesquisa centra-se especialmente neste último, tendo como produtos principais a eletricidade e os biocombustíveis, e tomando especificamente como insumo para essas produções, os resíduos sólidos agropecuários. Ainda de acordo com a Lei supracitada, em seu art. 9º, §1º, “poderão ser utilizadas tecnologias visando a recuperação energética dos resíduos sólidos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica, ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de GEE aprovados pelo órgão ambiental” (BRASIL, 2010a).

Além da referida Lei supracitada, a legislação brasileira contempla outros instrumentos regulatórios para o aproveitamento energético de resíduos sólidos agropecuários. Um levantamento acerca do arcabouço legal brasileiro neste sentido é apresentado no Quadro 7.

#### **Quadro 7 – Arcabouço legal para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos agropecuários no Brasil**

(continua)

Arcabouço Legal	Descrição
Lei nº 10.438/2002	Dispõe sobre a expansão de oferta de energia elétrica emergencial, a recomposição tarifária extraordinária, sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e institui o PROINFA. Regulamentada pelos Decretos nºs 4.541/2002 e 5.025/2004.

## Quadro 7 – Arcabouço legal para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos agropecuários no Brasil

(conclusão)

Arcabouço Legal		Descrição
<b>Leis</b>	Lei nº 11.097/2005	Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz elétrica brasileira. Alterada pela Lei nº 13.033/2004. Alterada novamente pela Lei nº 13.263/2016.
	Lei nº 12.305/2010	Institui a PNRS, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010.
	Lei nº 11.488/2007	O Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) exonera o pagamento de PIS/COFINS na importação de maquinário para geração de energia renovável.
<b>Decreto</b>	Decreto nº 2.003 /1996	Regulamenta a produção de energia elétrica por PIE e APE.
<b>Notas Técnicas</b>	NT ANEEL 0.043/2010	Dispõe sobre os principais instrumentos regulatórios utilizados no Brasil e outros países para a Geração Distribuída de pequeno porte, a partir de fontes renováveis de energia.
	NT EPE DEA 15/2014	Dispõe sobre o inventário energético de resíduos rurais.
	NT EPE DEA 17/2014	Dispõe sobre a economicidade e competitividade de aproveitamento energético de resíduos rurais.
	NT EPE DEA 13/2015	Dispõe sobre estudos da demanda de energia 2050.
<b>Resoluções Normativas</b>	RN ANEEL nº 77/2004	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Alterada pelas Resoluções Normativas nºs 271/2007 e 745/2016.
	RN ANEEL nº 271/2007	Estabelece procedimentos com redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de distribuição e transmissão para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte eólica, solar, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada seja menor ou igual a 500 kW.
	RN ANEEL nº 390/2009	Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de UTE's e de outras fontes alternativas de energia, e os procedimentos para registros de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida.
	RN ANEEL nº 485/2012	Dispõe sobre as condições gerais para o acesso de minigeração e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.
	RN ANEEL nº 687/2015	Altera a RN nº 482/2012 e os módulos I e III dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST).
	RN ANP nº 8/2006	Estabelece as especificações de óleo diesel e mistura óleo diesel/biodiesel – B2 de uso rodoviário.
	RN ANP nº 7/2008	Estabelece as especificações do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional.
	RN ANP nº 45/2014	Estabelece as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o biodiesel em território nacional.
	RN ANP nº 8/2015	Estabelece as especificações do biometano, orienta sobre a aplicação e uso do biometano oriundo de resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinados ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.
RN ANP nº 21/2016	Estabelece regras para os agentes envolvidos no uso de combustível experimental e suas misturas com combustíveis ou biocombustíveis especificados.	
<b>Portaria</b>	Port. MME nº 44/2015	Dispõe sobre a contratação de geração própria de unidade consumidora.

Fonte: Adaptado de Galiza (2017).

Além de estar expressamente prevista nas disposições da PNRS como uma das alternativas de destinação ambientalmente adequada de resíduos, a recuperação energética, segundo Maier e Oliveira (2014), é hoje uma realidade ao redor do mundo, como nos Estados Unidos, China, Japão, França, etc. e uma alternativa concreta para vias de destinação dos resíduos em várias localidades.

Além da geração de energia elétrica que pode ser comercializada no ACR (via leilões, realizados pela ANEEL) ou no ACL (onde geradores e compradores têm liberdade para negociação), o tratamento e a recuperação energética de resíduos remete a outras externalidades positivas passíveis de serem mensuradas, como: a redução do volume de rejeitos a serem encaminhados para disposição final, contribuindo para a diminuição de área necessária para aterros sanitários, bem como o prolongamento de sua vida útil; a substituição de fontes fósseis de energia altamente poluidoras, com vistas à otimização de recursos naturais; a solução para destinação final dos resíduos não recicláveis, recomendada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o qual está baseado nas diretrizes da ONU; e uma possível e importante redução nos gastos com saúde, advindos da melhoria das condições ambientais (OLIVEIRA; ROSA, 2003).

Além disso, outro ponto tratado pela PNRS, é o da responsabilidade compartilhada, que envolve, além de ações com foco na minimização dos impactos ambientais provocados pela disposição inadequada dos resíduos, a promoção de geração de trabalho, emprego e renda, por meio da inclusão social. A geração de renda por meio dos resíduos, segundo estudos da ABRELPE (2013; 2015) e do IPEA (2016), está no fato de que estes possuem um grande valor econômico em termos de reciclagem e reaproveitamento. Ainda de acordo com esses estudos, o percentual de geração de resíduos vem crescendo a cada ano, aumentando, conseqüentemente, a demanda por serviços de logística, infraestrutura e, principalmente, recursos humanos e financeiros. Neste contexto, o Brasil vem perdendo cerca de R\$ 8 bilhões por não ter políticas adequadas voltadas para a reciclagem e reaproveitamento (ABRELPE, 2015). Com isso, o resíduo que poderia servir como matéria-prima para outro bem ou outra finalidade, acaba tendo como destino final a deposição em aterros, uma prática ainda, segundo Maier e Oliveira (2014), bastante comum no país.

Assim, os obstáculos político-institucionais podem ser um dos principais problemas com relação ao desenvolvimento da agroenergia no país, devido, principalmente, à

necessidade de uma melhor compreensão por parte de algumas instituições com relação aos resíduos. Durante muito tempo as instituições se basearam em sistemas convencionais de geração de energia em larga escala (modelo centralizado), sistemas estes diferentes da biomassa residual. Integrar novas formas de energia nos sistemas de energia existentes requer um longo tempo. Na década de 1980, quase todos os fornecedores principais de energia pertenciam ao poder público ou a grandes corporações, os quais sempre impuseram grandes dificuldades para que os pequenos produtores independentes de energia se incorporassem ao mercado (TOLMASQUIM, 2003). Essa situação está mudando rapidamente, uma vez que as alterações do setor energético inseridas na legislação criaram as figuras do APE e PIE, e da Geração Distribuída, que passaram a competir diretamente com os empreendimentos já existentes. Logo, o grau de abertura do mercado e, conseqüentemente, a introdução da concorrência, resultam numa melhor alocação de recursos, numa expansão do setor, e na geração de confiabilidade e melhor preço para o consumidor.

O que se depreende é que a estrutura reguladora e legal, em níveis nacionais, estaduais ou regionais, também pode frequentemente ser uma barreira, pois como a legislação está fortemente baseada em fontes de energia convencionais, a energia renovável é frequentemente posta de lado em relação à convencional. Dessa forma, fica evidente que a expansão de fontes novas e renováveis de energia requer políticas energéticas e creditícias específicas, com sustentação legislativa que assegure, por exemplo, (i) aos produtores dessas fontes efetivo acesso à rede nacional de distribuição ou a uma integração com outras linhas locais de energia; (ii) o estabelecimento de metas de expansão dessas fontes nos leilões de energia nova; (iii) a redução dos altos custos com geração (que conseqüentemente, reduz o custo nivelado da energia) e da mitigação de barreiras de mercado, tornando-as mais competitivas com relação às tecnologias baseadas em combustíveis fósseis; ou ainda, (iv) que estimule o desenvolvimento de projetos de P&D voltados à injeção de eletricidade proveniente do biogás e biometano na rede de energia, incluindo-os entre as fontes de energia de reserva.

Todavia, o que se observa em vários setores da sociedade brasileira, tanto na esfera pública quanto privada, é que existem políticas públicas no país inter-relacionadas com energia e gestão de aproveitamento de resíduos. Algumas dessas políticas desenvolvidas em âmbito federal são listadas no Quadro 8.

**Quadro 8 – Síntese das principais políticas e órgãos inter-relacionados com energia e gestão de resíduos no Brasil**

Ministério	Divisão Responsável	Políticas, Programas e Serviços
MME	Secretaria de Planejamento; EPE.	PNEF; PROINFA; PNE 2050.
MDSA	Secretaria Especial de Agricultura Familiar e Desenvolvimento Agrário;  Departamento de Biocombustíveis.	Projetos de Agricultura Familiar; PNPB.
MAPA	EMBRAPA.	Programa BiogásFert; Política da Agroenergia.
Ministério das Cidades	Secretaria de Saneamento Ambiental.	Programas Municipais de Resíduos Sólidos; Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás (PROBIOGÁS).
MMA	IBAMA;  Secretaria de Assistência e Desenvolvimento Social;  Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental/ Gerência de Resíduos Perigosos e Tecnologias Limpas;  Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano/ Departamento de Resíduos Sólidos.	Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA); Política Florestal; PNRS; PNFP; Programa de Gerenciamento de Resíduos Perigosos. Gestão ambiental para a produção mais limpa e ecoeficiente, e gestão de passivos e áreas contaminadas; Reciclagem e reaproveitamento (Projetos e cooperativas de inclusão social e econômica de catadores de material reciclável <sup>1</sup> ); Projeto de MDL de redução de emissões em aterros de resíduos sólidos <sup>2</sup> .
Interministerial	-	Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).
Ministério da Saúde	Secretaria de Vigilância da Saúde.	Serviços de vigilância de doenças e agravos relacionados à contaminação do ar e do solo por resíduos perigosos.

Fonte: Elaboração própria a partir de Wiecheteck (2009); Bley Jr. (2015); ABIOGAS (2015).

Notas: (1) Coordenação com os Ministérios do Desenvolvimento Social, das Cidades e do Trabalho;  
(2) Atuação conjunta com o Ministério das Cidades.

Como visto no Quadro 8, é notória a existência de programas/políticas energéticas no cenário energético brasileiro, as quais têm sido consideradas no planejamento do setor, mas, que de modo geral, são conduzidas de forma esparsa e independentes, uma vez que estas têm se voltado muito mais a atender necessidades locais ou momentâneas dos mais diversos tipos. Muitas dessas políticas apresentam algum grau de descontinuidade, enquanto outras permanecem muito mais no campo das ideias, nem sempre com resultados práticos. Neste campo, citam-se como exemplos, àquelas descritas por Reis e Cunha (2006), como: políticas voltadas a uma melhor integração entre órgãos e instituições do setor energético com aqueles do setor

ambiental; políticas voltadas à maior utilização de fontes renováveis no setor de transportes; políticas de formação e capacitação de pessoal; políticas de universalização do atendimento, combate ao desperdício e à conservação de energia; políticas voltadas ao aperfeiçoamento da regulação e governança; dentre outras.

O Brasil, um dos maiores países agrícolas do mundo, com condições climatológicas propícias e disponibilidade de matéria-prima, solo e água excepcionais para o desenvolvimento de programas de produção de biocombustíveis, sendo ainda referência, em produção, distribuição e consumo em grande escala do etanol obtido a partir da cana-de-açúcar (PALACIO et al., 2012), precisa urgentemente desenvolver-se estratégica e politicamente, a fim de maximizar e expandir ainda mais este potencial que lhe é concedido. Quanto ao biodiesel, em especial, reitera-se que a maior barreira para a máxima expansão do aproveitamento deste biocombustível é político-intitucional, em função, especialmente, da redução de subsídios governamentais ao PNPB (FERREIRA; LEITE, 2010).

Além disso, existem diversas espécies oleaginosas no país passíveis de extração do óleo vegetal que permitiriam a descentralização geográfica da produção, tais como os óleos provenientes do babaçu, dendê, buriti, etc. É necessário estabelecer uma norma brasileira que exprima as especificações para o biodiesel a partir de outras fontes. E a partir da elaboração desta norma, homologar o biodiesel para cada um destes insumos, de modo que suas características atendam às especificações desta norma adotada. Há de se destacar que a falta ou inadequação de regulamentação para um produto ou subproduto, retarda o desenvolvimento local de tecnologias e a transferência de conhecimento.

Um biocombustível precisa ser lançado no mercado com qualidade e disponibilidade consistente. “O biogás bruto, tal como sai de um biodigestor, por exemplo, não é um combustível, mas matéria-prima. Já o biometano, que é derivado do biogás, ele sim, é um biocombustível possível de apresentar qualidade e disponibilidade firme no cenário nacional das energias renováveis confiáveis” (BLEY JR., 2015, p. 34). Segundo Coluna (2016), do potencial estimado de quase 100 milhões de m<sup>3</sup> diários de biometano que o Brasil produz, quase metade é oriundo de resíduos agrícolas, excetuando o bagaço da cana-de-açúcar, com 47,8 milhões de m<sup>3</sup> diários. Logo depois vêm os resíduos da pecuária, com 35 milhões de m<sup>3</sup> diários. Neste campo, a palha e o vinhoto, oriundos da produção do etanol, seriam capazes de gerar atualmente cerca

de 14 milhões de m<sup>3</sup> diários. O que se observa, portanto, é que todo esse potencial poderia ser aproveitado para a geração de energia elétrica, mas os gargalos existentes vão além da ausência de infraestrutura adequada. As questões de logística, de custo de investimento necessário, de políticas regulatórias, das especificações dessas fontes para a comercialização, entre outras, têm grande influência sobre esse aspecto.

Nesse contexto, de acordo com Bley Jr. (2015), a importância do biogás e do biometano como fontes de energia renovável e estocável, ainda não foi reconhecida. Teoricamente, existem algumas iniciativas públicas para promover o incentivo destes biocombustíveis no país, no entanto, na prática, o aumento da sua participação vem ocorrendo lentamente. Ressalta-se, portanto, a necessidade de incentivar a maior participação destes biocombustíveis no *mix* energético brasileiro.

Para tanto, deve-se estabelecer políticas de incentivos aplicáveis a toda a cadeia produtiva dos biocombustíveis, com parcerias público-privadas firmadas entre governo e indústrias, levando em consideração as especificidades regionais. Como exemplos dessas políticas, citam-se: desoneração fiscal; financiamento para aprimorar o aproveitamento dos resíduos; acesso facilitado ao crédito agrícola; equipamentos e acesso à terra para plantio de matéria-prima nova; incentivo para a produção de tecnologias mais eficientes; bem como, programas de apoio e financiamento (agrícola e para empreendimentos), para investimento no plantio de oleaginosas com condições diferenciadas, como o existente para fontes de biomassa e alternativas cujos fins remetem à geração elétrica. Esses pontos traduzem-se em externalidades econômicas e sociais positivas, já que fazem com que haja uma produção pulverizada no país.

Por fim, são elencadas na seção 6, Considerações Finais, as conclusões obtidas e recomendações de pesquisas futuras, bem como, a contribuição esperada a partir da realização deste estudo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ocupar posição de destaque no *ranking* dos países que mais investem em energias renováveis no mundo; de emitir quantias de GEE's inferiores às dos países pertencentes a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE); e de despender constantes esforços pelo setor energético (como planos, políticas e programas governamentais) para redução do uso dos combustíveis fósseis e introdução de fontes alternativas, o Brasil ainda possui uma matriz energética constituída, em sua maioria, de derivados de petróleo e de outras fontes não-renováveis.

Nesse contexto, os resíduos sólidos agropecuários surgem como uma alternativa que pode contribuir para a resolução dessa situação, por meio da geração de energia elétrica e de biocombustíveis. Todavia, a participação desta fonte renovável ainda é ínfima no setor energético brasileiro e com previsões futuras não muito satisfatórias, ficando aquém de seu enorme potencial de expansão, em detrimento de entraves que surgem antes mesmo da fase de implantação das unidades produtivas e *a posteriori*. É necessário que barreiras sejam enfrentadas neste sentido.

Assim, este estudo se propôs a analisar quais fatores têm obstaculizado os resíduos sólidos agropecuários de serem fontes promissoras e altamente potenciais na produção de energia elétrica e de biocombustíveis no Brasil, tomando como base aspectos econômicos, ambientais, tecnológicos e regulatórios. Quanto aos resultados verificados, considerando-se as evidências empíricas encontradas pela aplicação da metodologia adotada, permitiu-se elencar algumas considerações, quais sejam:

- O atual cenário da atividade agropecuária no Brasil, que coloca o país como um dos maiores produtores agropecuários do mundo, e a quantidade de resíduos gerados por esta atividade, mostram forte potencial energético, embora este potencial ainda seja pouco explorado no país, podendo ser maximizado;
- De fato, ao se utilizar matérias-primas residuais como insumo combustível, reduz-se o custo com a necessidade de utilização de outra matéria-prima, e diminuem-se os custos dos municípios para a disposição desses resíduos, que é evitado pelo uso das tecnologias de conversão energética atuais no mercado. Entretanto, verificou-se que existem dispêndios ao longo de toda a cadeia produtiva que corroboram por

inviabilizar economicamente a produção energética oriunda de resíduos da atividade agropecuária no país, tais como: da cadeia logística (principalmente), que inclui altos investimentos iniciais com as plantas de geração, altos custos de operação e manutenção das usinas, etc.;

- Visualizou-se também que, na atualidade, os custos da energia elétrica gerados a partir dessa fonte residual com diferentes tecnologias, indicam sua inviabilidade quando comparado à outras fontes renováveis convencionais, como a hidrelétrica (de pequeno e grande porte) e a eólica. Diante dos altos investimentos, há necessidade de acelerar os trabalhos de PD&I para enfrentar esta situação atuando em três frentes: (i) eficiência tecnológica e energética, que reduz a pressão do crescimento da demanda de energia e proporciona ganhos ambientais; (ii) aumento da participação de fontes renováveis de energia; (iii) e novas tecnologias, que contemplem as matérias-primas: etanol, biodiesel, biomassa, biogás, resíduos agropecuários, etc., subsidiando assim a formulação de políticas públicas no setor energético. Somado a estes fatores, adiciona-se a necessidade de ações em termos de aumentar o conhecimento técnico no meio rural, políticas para superar a falta de acesso a capital e melhorias logísticas;

- Verificou-se que o aproveitamento energético de resíduos agropecuários gerados no processo produtivo do campo não remete a impactos graves ao meio ambiente, pois é facilmente reutilizado como adubo, fertilizante e fonte de energia. Pode ser considerado uma fonte limpa para as matrizes energética e elétrica brasileiras, uma vez que o carbono liberado na queima do material é recuperado/compensado no crescimento do plantio de novas culturas e a fumaça produzida na combustão dos resíduos não causa danos ambientais, em virtude de sua baixa toxicidade e da retenção da fuligem em filtros;

- Há plantas tecnológicas eficientes para o aproveitamento do potencial energético de resíduos agropecuários, inclusive, com tecnologia disponível no mercado brasileiro atualmente. Observou-se ainda que, para grande parte das tecnologias de conversão de resíduos, não há maiores problemas técnicos. Neste campo, menciona-se que estudos estão sendo realizados para o desenvolvimento de tecnologias ainda não difundidas no mercado nacional, como o caso da gaseificação e da pirólise. Além disso, ficou evidenciado que os resíduos têm a seu favor fatores técnicos e comerciais vantajosos, como a elevada escala de geração em uma única

planta, com a possibilidade de produção de calor (sob processos térmicos), eletricidade (sob processos mecânicos e térmicos) e na forma de combustíveis (sob processos bioquímicos e termoquímicos). O que se depreendeu, no entanto, foi que os altos investimentos iniciais com plantas de geração inibem a expansão do setor. Neste sentido, segere-se que sejam realizadas pesquisas relativas ao desenvolvimento de plantas comerciais de alta eficiência com garantia de fornecimento contínuo de energia a um preço baixo;

- Quanto aos aspectos regulatórios brasileiros avaliados, que dispõem sobre a geração e comercialização da energia obtida a partir de resíduos, evidenciou-se que políticas públicas voltadas ao reaproveitamento de produtos e/ou resíduos existem e têm sido consideradas no planejamento do setor energético, mas de forma esparsa, sendo desenvolvidas e conduzidas, via de regra, de forma independente. É necessária sinergia entre as políticas de produção agropecuária, de saneamento, industriais e energéticas. Apesar disso, os maiores entraves regulatórios político-institucionais evidenciados consistem nos incentivos fiscais e nos subsídios financeiros oferecidos pela esfera governamental federal (via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)), que ainda são baixos, frente à demanda energética que aumenta a cada ano no país;

- Uma vez instaladas as bases de uma política sustentável para o uso dessas matérias-primas, o governo deveria tomar a iniciativa de contribuir na infraestrutura e no apoio financeiro e institucional para a tecnologia, tanto em âmbito local como regional, como: isenção ou reembolso de taxas aplicadas ao uso de fontes renováveis de energia, como forma de aumentar a participação destas na matriz energética; redução dos impostos e das tarifas de transmissão de energia a um preço mínimo; maior crédito aos geradores de energias renováveis; aumento dos programas de consórcio e seguro rural. Além disso, cooperativas podem ser formadas para coordenar e garantir a distribuição dos insumos, e a geração de energia pode ser iniciada em uma escala relativamente pequena para ser expandida gradualmente;

- Outro obstáculo visualizado é a relação desfavorável entre os custos de um projeto energético e seus benefícios comerciais. Apesar das potenciais oportunidades econômicas encontradas no ambiente de negócios brasileiro, a relação entre o custo de projetos energéticos e seu benefício comercial muitas vezes não é suficientemente atraente para investidores. Além disso, sob a perspectiva técnica, a maioria dos

projetos de alta eficiência desenvolvidos até hoje no Brasil dependeu de conhecimentos que foram importados. Conseqüentemente, a alta necessidade por importação, seja de mão-de-obra ou de equipamentos, acaba por encarecer a realização de novos projetos, impactando negativamente a viabilidade financeira dos empreendimentos;

- No que se refere à política social, enfatizou-se que o aproveitamento energético dos resíduos remete a externalidades positivas a serem mensuradas, como as possibilidades de geração de empregos e receitas no país. Como consequência disso, o governo pode integrar suas estratégias energéticas e de desenvolvimento de forma a obter os melhores retornos de natureza socioeconômica dos incentivos dados e investimentos efetuados.

Por fim, no Quadro 9, encontram-se sintetizados os principais aspectos examinados no trabalho, os resultados obtidos a partir das análises econômica, ambiental, tecnológica e regulatória realizadas e comentários que tangem a utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil.

**Quadro 9 – Síntese das análises econômica, ambiental, tecnológica e regulatória identificadas a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil**

(continua)

Descrição	Desafios/ Obstáculos	Oportunidades	Comentários
<b>Fatores Econômicos</b>			
Custos da cadeia logística da biomassa residual agropecuária (colheita, transporte, armazenamento, etc.)	X		Os entraves se devem, principalmente, em função dos altos custos com a necessidade de transporte e acondicionamento do material residual, que é distribuído esparsamente ao longo do território brasileiro. Somado a isto, estão as precárias condições de logística, especialmente dos transportes terrestre e portuário, que o país detém na atualidade. Há a necessidade de acelerar os trabalhos de PD&I de soluções logísticas e tecnológicas para facilitar o recolhimento dessa biomassa e disponibilização nas plantas de geração.
Custos de instalação e operação das usinas à biomassa residual	X		Existência de altos investimentos iniciais com plantas de geração. Além disso, materiais e peças de reposição desses sistemas muitas vezes não estão disponíveis no Brasil, afetando diretamente o custo com a manutenção. Há a necessidade de acelerar os trabalhos de P&D neste sentido.

**Quadro 9 – Síntese das análises econômica, ambiental, tecnológica e regulatória identificadas a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil**

(continuação)

Descrição	Desafios/ Obstáculos	Oportunidades	Comentários
Custo total da energia proveniente de resíduos em comparação ao custo da energia proveniente de fontes não-renováveis	X		As fontes renováveis de energia em geral ainda possuem faixas de custo nivelado superior às fontes tradicionais não-renováveis. Há a necessidade de aperfeiçoamentos técnicos de modo que aumentem ainda mais a eficiência energética e tragam uma diminuição nos custos de produção desse tipo de energia.
Custo de oportunidade e remuneração ao produtor rural	X		Elevado tempo de retorno financeiro do capital investido pelo produtor em seu negócio. Este fator cria uma barreira econômica que resulta em desanimar potenciais agentes financeiros e investidores de projetos de energia a partir de fontes residuais.
Custo de tratamento prévio (beneficiamento) da matéria-prima residual	X		São necessárias uma grande quantidade de resíduos para que se possa atingir um valor alto de seu potencial energético, de modo a gerar excedentes e tornar o processo de beneficiamento economicamente rentável. Neste campo, cita-se como possibilidade tecnológica para a diminuição desse tipo de custo, o incentivo à prática de torrefação da biomassa, capaz de produzir um combustível de biomassa sólida de qualidade consistente, alta densidade energética e com propriedades próximas à do carvão vegetal.
Facilidades de crédito e existência de programas de financiamento		X	O governo federal incentiva com recursos financeiros projetos que demonstrem a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais da energia.
Localização geográfica das UTE's a biomassa residual no país	X		Usinas concentradas majoritariamente na região Sudeste do país, e, distantes da maior malha produtiva agropecuária do país: as regiões Centro-oeste e Sul. Haveria, portanto, a necessidade de criar infraestrutura de distribuição de energia próxima à área agricultável.
Rede de infraestrutura e malha de transportes nacional	X		O Brasil possui uma malha de transportes precária. Há a necessidade de uma rede de infraestrutura adequada para garantir a entrega do combustível no horário programado.
Custos socioeconômicos gerados		X	Permitem agregar valor às cadeias produtivas de base rural e possibilitam o aumento do uso de mão-de-obra, gerando empregos e receitas para o país.
<b>Fatores Tecnológicos</b>			
Tecnologias disponíveis no mercado brasileiro voltadas à produção de energia a partir de fontes residuais		X	Na atualidade o mercado brasileiro dispõe de tecnologias de conversão energética dos resíduos agropecuários, que se dão sob rotas bioquímica (Digestão Anaeróbica), termoquímica (Transesterificação), térmica (Combustão Direta) e de densificação (Briquetagem e Peletização).

**Quadro 9 – Síntese das análises econômica, ambiental, tecnológica e regulatória identificadas a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil**

(continuação)

Descrição	Desafios/ Obstáculos	Oportunidades	Comentários
Plantas comerciais com garantia de fornecimento contínuo de energia a preços baixos	X		O país ainda conta com plantas comerciais de garantia de fornecimento contínuo de energia a preços altos. Há a necessidade de acelerar os trabalhos de PD&I neste sentido.
Escala de geração de energia em uma única planta		X	Os resíduos tem a seu favor este fator técnico, com possibilidades de produção de calor, eletricidade e na forma de combustíveis. Isso permite otimizar o aproveitamento de todo o potencial da matéria-prima e evita desperdícios de capacidade.
Estágio de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos de geração de energia	X		O atual estágio de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos relacionados com a geração de energia a partir de resíduos não tem atingido o estágio comercial esperado. São necessários investimentos nos equipamentos geradores das usinas e na modernização dos processos produtivos.
<b>Fatores Ambientais</b>			
Utilização de fontes residuais como recurso energético		X	Ao mesmo tempo que se garante um maior aproveitamento dos recursos disponíveis, evita-se a disposição inadequada desses materiais.
Emissão aéreas de materiais particulados e GEE		X	Dependem da concentração. Mas de modo geral, o percentual de emissões de materiais particulados e de GEE's é baixo, se comparado àqueles gerados pelo óleo diesel convencional. O carbono emitido é recuperado no plantio das culturas e a fumaça produzida na queima dos resíduos não causa danos ambientais em virtude de sua baixa toxicidade e retenção de fuligem em filtros, que acaba tornando-se adubo para plantações futuras. Além disso, a implantação e o manejo de florestas próximas às regiões das usinas para fixação do carbono, têm sido realizada como medida compensatória.
Impacto ambiental provocado pelas UTE's		X	Dependem do tipo de combustível e da tecnologia empregada. No caso das UTE's à biomassa, em função das exigências e especificações estabelecidas pelos órgãos ambientais, como licenças de operação e relatórios ambientais, os maiores impactos sentidos são aqueles já permitidos mediante legislação brasileira.
Rejeitos gerados pelos processos produtivos		X	Assim como qualquer outra atividade industrial, os processos produtivos energéticos resultam em resíduos e em casos especiais, como o dos biocombustíveis, geram rejeitos contaminantes (metais) que, quando lixiviados, podem comprometer corpos d'água, lençol freático, vegetação, etc. Há a necessidade de efetuar o tratamento e o descarte desse material de acordo com as exigências dos órgãos ambientais. Ainda assim, esse fator não tem sido um obstáculo, mas um processo pelo qual o setor já vem lidando e encontrando soluções.

**Quadro 9 – Síntese das análises econômica, ambiental, tecnológica e regulatória identificadas a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil**

(conclusão)

Descrição	Desafios/ Obstáculos	Oportunidades	Comentários
Aumento do desmatamento e comprometimento da produção de alimentos		X	Caso específico para a cadeia produtiva de bicombustíveis no país. Todavia, um acréscimo na produção de oleaginosas e de cana pode ocorrer sem que seja necessário ampliar o desmatamento ou utilizar áreas tradicionalmente empregadas para a produção de alimentos.
<b>Fatores Regulatórios</b>			
Políticas públicas brasileiras voltadas ao reaproveitamento de produtos		X	Existem e têm sido consideradas no planejamento do setor energético, mas de forma esparsa. É necessária sinergia entre as políticas de produção agropecuária, de saneamento, industriais e energéticas.
Incentivos fiscais oferecidos pela esfera governamental federal	X		Os incentivos fiscais adotados atualmente ainda são baixos, frente à demanda energética que aumenta a cada ano no país. O aumento desses instrumentos poderia ser aplicado de várias formas, como: isenção ou reembolso de taxas aplicadas ao uso de fontes renováveis de energia, como forma de aumentar a participação destas na matriz energética; redução dos impostos e das tarifas de transmissão de energia a um preço mínimo; maior crédito aos geradores de energias renováveis; aumento dos programas de consórcio e seguro rural; formalização das cooperativas de pequenos produtores com base na geração distribuída de eletricidade; etc.
Subsídios financeiros oferecidos pela esfera governamental federal	X		Como fontes de energia renovável são frequentemente intensivas em capitais iniciais, o governo federal poderia oferecer maiores subsídios financeiros para essas tecnologias, estabelecendo, ou um valor por kW (\$/kW), ou uma porcentagem (%) sobre o investimento total, somando-se àqueles já existentes na atualidade oferecidos pelo BNDES, como forma de apoio a investimentos em geração e distribuição local de energia renovável, ao desenvolvimento tecnológico e a cadeia produtiva do setor de energias alternativas e renováveis.
Implantação, reativação e fechamento de UTE's no país		X	Mesmo com uma queda significativa no número de usinas implantadas no país e do elevado grau de endividamento das UTE's por falta de maiores subsídios financeiros governamentais, o que se observa é que houve um aumento de usinas que foram reativadas. Como ação regulatória de incentivo neste sentido cita-se a criação de linhas de financiamento com o objetivo de elevar a eficiência das unidades e incrementar a exportação de energia.

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, intencionou-se ao final desta pesquisa: (i) apresentar o potencial de disponibilidade para o aproveitamento dos resíduos agropecuários como fonte de geração de energia, aliado às rotas tecnológicas convencionais atualmente disponíveis no mercado brasileiro e às possibilidades de comercialização da energia gerada; (ii) analisar os principais fatores que imputam obstáculos para que a utilização energética dessa fonte não tenha sido suficientemente explorada até o momento no Brasil; e ainda, como sugestão de estudos futuros, (iii) induzir a promoção de novas pesquisas científicas e aplicadas, especialmente, no que se refere ao desenvolvimento de tecnologias e métodos que tornem essa fonte energética cada vez mais viável econômica e competitivamente.

Assim, este trabalho pretendeu contribuir na promoção de estudos ligados ao setor energético. Para isto, manteve-se o objetivo de desenvolver o assunto de forma clara e acessível. Para orientar possíveis aprofundamentos dos assuntos aqui enfocados, sugere-se a leitura exploratória a partir da bibliografia utilizada.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, M. A.; AGALGAONKAR, A. P.; MUTTAQI, K. M. Climate change mitigation with integration of renewable energy resources in the electricity grid of New South Wales, Australia. **Renewable Energy**, v. 66, p. 305-313, 2014.

ABIB [Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável]. **Potencial de Biomassa Energética no Brasil**. Curitiba (PR): ABIB, 2012. 58 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Brasileiro Biomassa Florestal e Industrial e Agroindustrial**. Curitiba (PR): ABIB, 2015. 154 p.

\_\_\_\_\_. **Biomassa**. Curitiba (PR): ABIB, 2017. Disponível em: <<https://www.brasilbiomassabioenergia.com.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

ABIOGÁS [Associação Brasileira de Biogás e de Biometano]. **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano (PNBB)**. São Paulo: ABIOGÁS, 2015. 69 p.

ABIOVE [Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais]. **Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel**: estatística. São Paulo: ABIOVE, 2017. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

ABIOVE [Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais]/APROBIO [Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil]/UBRABIO [União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene]. **Biodiesel**: oportunidades e desafios no longo prazo. São Paulo: ABIOVE/APROBIO/UBRABIO, 2016. 12 p.

ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **Norma NBR nº 10.004**: resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

\_\_\_\_\_. **Norma NBR ISO 50.001**: sistemas de gestão da energia – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 24 p.

ABRACEEL [Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia]. **Diferenças entre Consumidores Livres e Cativos**. Brasília, 2017. Disponível em: <[www.abraceel.com.br](http://www.abraceel.com.br)>. Acesso em: 6 abr. 2017.

ABRAF [Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas]. **Anuário Estatístico**. Ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 142 p.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**. São Paulo: ABRELPE, 2013. 172 p.

\_\_\_\_\_. **Caderno Informativo sobre Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo: ABRELPE, 2014. 54 p.

\_\_\_\_\_. **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2015. 48 p.

\_\_\_\_\_. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2016. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)>. Acesso em: 20 fev. 2017.

AHMED, A.; UDDIN, G. S.; SOHAG, K. Biomass energy, technological progress and the environmental kuznets curve: evidence from selected european countries. **Biomass & Bioenergy**, v. 90, p. 202-208, 2016.

AIR LIQUIDE [Sociedade Portuguesa do Ar Líquido]. **Pilha de Combustível**. Algés (POR), 2015. Disponível em: <<http://www.airliquide.pt/pt/as-suas-necessidades-sao/o-hidrogenio-como-vector-energetico/pilha-de-combustivel-vector-energetico/pilha-de-combustivel-1.html#.V3cKwNlrJdg>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

ALBUQUERQUE, A. R. L. **Bioeletricidade com Eficiência, uma Oportunidade para o Brasil**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/artigo/bioeletricidade-com-eficiencia-uma-oportunidade-para-o-brasil>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

ALVES, L. A.; UTURBEY, W. Environmental degradation costs in electricity generation: the case of the brazilian electrical matrix. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6204-6214, 2010.

AMBIENTE ENERGIA. **Geração de Bioenergia no Brasil: panorama atual e perspectivas**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/03/geracao-de-bioenergia-brasil-panorama-atual-e-perscpetivas/25772>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

ANASTÁCIO, M. C. F. **Produção de Energia na Forma de Biogás a partir de Resíduos Animais para o Desenvolvimento Rural**. 2010. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação Integrada em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto (POR), 2010.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004**. Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Brasília: ANEEL, 18 ago. 2004.

\_\_\_\_\_. **Resolução normativa nº 271, de 3 de julho de 2007**. Altera a redação dos arts. 1º e 3º da Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004. Brasília: ANEEL, 3 jul. 2007.

\_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. Ed. Brasília: ANEEL, 2008a. 236 p.

\_\_\_\_\_. **Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica**. Brasília: ANEEL, 2008b. 67 p.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 17 abr. 2012.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE)**. Brasília: ANEEL, 2013. 193 p.

\_\_\_\_\_. **Micro e Minigeração Distribuída**: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2014. 28 p.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 687, de 17 de abril de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Brasília: ANEEL, 17 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. **Boletim de Informações Gerenciais**. Brasília: ANEEL, 2016a. 73 p.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 745, de 22 de novembro de 2016**. Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, que estabelece procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 22 nov. 2016b.

\_\_\_\_\_. **Banco de Informações da Geração (BIG)**. Brasília: ANEEL, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ANGARITA, E. E. Y.; ROCHA, M. H.; LORA, E. E. S.; OSVALDO, J. V.; TORRES, E. A.; ALVES, C. T.; RESTREPO, S. Y. G. Biocombustíveis de primeira geração: biodiesel. In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (Coords.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. v. 1, cap. 3, p. 173-309.

ANP [Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis]. **Resolução Normativa nº 15, de 17 de julho de 2006**. Estabelece as especificações de óleo diesel e mistura óleo diesel/biodiesel – B2 de uso rodoviário, para comercialização em todo o território nacional, e define obrigações dos agentes econômicos sobre o controle da qualidade do produto. Rio de Janeiro: ANP, 19 jul. de 2006.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 7, de 19 de março de 2008**. Fica estabelecida no Regulamento Técnico ANP, parte integrante desta Resolução, a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional. Rio de Janeiro: ANP, 19 mar. 2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 7, de 9 de fevereiro de 2011**. Ficam estabelecidas, por meio da presente Resolução, as especificações do álcool etílico anidro combustível ou etanol anidro combustível e do álcool etílico hidratado combustível ou etanol hidratado combustível, contidas no Regulamento Técnico ANP nº 3/2011, parte integrante desta Resolução, e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializem o produto em todo o território nacional. Rio de Janeiro: ANP, 9 fev. 2011.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 45, de 25 de agosto de 2014**. Estabelece a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3/2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Rio de Janeiro: ANP, 26 ago. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 8, de 30 de janeiro de 2015**. Estabelece as especificações do Biometano, oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais, contidas no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. Rio de Janeiro: ANP, 2 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Ano base 2015. Rio de Janeiro: ANP, 2016. 265 p.

APROSOJA [Associação dos Produtores de Soja do Brasil]. **Série Histórica Área-Produtividade**. Brasília: APROSOJA, 2016. Disponível em: <<http://aprosojabrasil.com.br/2016/>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

AQUILA, G.; PAMPLONA, E. O.; QUEIROZ, A. R.; ROTELA JR., P.; FONSECA, M. N. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1090-1098, 2017.

ATADASHI, I. M.; AROUA, M. K.; AZIZ, A. A. Biodiesel separation and purification: a review. **Renewable Energy**, v. 36, n. 2, p. 437-443, 2011.

ATLAS SEIS [Sistemas de Energia para a Indústria e Serviços]. **Tratamento do Biogás: siloxanos**. São Domingos de Rana (POR): ATLAS SEIS, 2017. Disponível em: <<http://www.atlasseis.com/produtos-servicos/biogas.html>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

AZEVEDO, D. B.; MALAFAIA, G. C.; CAMARGO, M. E. Análise do comportamento do consumo energético no setor agropecuário. **Revista de Política Agrícola**, a. 16, n. 3, p. 49-57, 2007.

AZUELA, G. E.; BARROSO, L. A. Design and performance of policy instruments to promote the development of renewable energy: emerging experience in selected developing countries. **Energy and Mining Sector Board Discussion Paper**, n. 22, p. 1-60, 2011.

BATISTA, E. R.; RAMOS, N. P.; LUCHIARI JR., A. **Bioeletricidade no Setor Sucroalcooleiro Paulista: participação no mercado de carbono, perspectivas e sustentabilidade**. Jaguariúna (SP): EMBRAPA, 2009. 35 p.

BATISTA, R. R. **Rotas de Aproveitamento Tecnológico de Resíduo Orgânico Agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café – destinadas à geração de energia**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2014.

BECKER, J.; RAZA, W. Theory of regulation and political ecology: an inevitable separation? **Ambiente & Sociedade**, a. 2, n. 5, p. 5-17, 1999.

BERNARDO, A.; RODRIGUES, S.; OLIVEIRA, G. **Participação de Usinas de Cana na Geração de Energia do País poderia ser Seis Vezes Maior**. São Paulo: Globo 2013. Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

BIODIESELBR. **Processo de Produção do Biodiesel**. Curitiba (PR), 2017. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/usinas/>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

BLEY JR., C. **Biogás: a energia invisível**. 2. ed. São Paulo: CIBIOGÁS, 2015. 231 p.

BLEY JR., C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M; OLIVEIRA, M. M. **Agroenergia da Biomassa Residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Brasília: Technopolitik, 2009. 140 p.

BRASIL. Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975. Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 15 nov. 1975.

\_\_\_\_\_. Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 18 jan. 1991.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 11 set. 1996.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 7 ago. 1997.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 18 out. 2001.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 27 abr. 2002a.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 4.541, de 23 de dezembro de 2002. Regulamenta os arts. 3º, 13º, 17º e 23º da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 24 dez. 2002b.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 12 nov. 2003.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho

de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 16 mar. 2004a.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 5.025, de 30 de março de 2004. Regulamenta o inc. I e os §§ 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), primeira etapa, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 31 mar. 2004b.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 31 jul. 2004c.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz elétrica brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 199 e 10.636, de 30 de outubro de 2002; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 14 jan. 2005.

\_\_\_\_\_. Lei nº 6.048, de 27 de fevereiro de 2007. Altera os arts. 11, 19, 27, 34 e 36 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 28 fev. 2007.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 3 ago. 2010a.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 24 dez. 2010b.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis; o § 1º do art. 9º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores; as Leis nºs 10.336, de 19 de dezembro de 2001, e 12.249, de 11 de junho de 2010; o Decreto-Lei nº 509, de 20 de março de 1969, que dispõe sobre a transformação do Departamento dos Correios e Telégrafos em empresa pública; a Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios; revoga a Lei nº 7.029, de 13 de setembro de 1982; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 19 set. 2011.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 8.375, de 11 de dezembro de 2014. Define a política agrícola para florestas plantadas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 12 dez. 2014.

\_\_\_\_\_. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 24 mar. 2016.

CALLÉ, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. (Orgs.). **Uso da Biomassa para a Produção de Energia na Indústria Brasileira**. Campinas (SP): UNICAMP, 2005. 447 p.

CAMPOS, A. F.; MORAES, N. G. **Tópicos em Energia: teoria e exercícios com respostas para concursos**. Rio de Janeiro: Synergia, 2012. 216 p.

CAMPOS, A. F.; PAGEL, U. P.; SCARPATI, C. B. L.; SANTOS, L. T. Utilização da biomassa para geração de energia elétrica: uma análise dos aspectos econômicos e sustentáveis: In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 54., 2016, Maceió. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2016.

CANAL BIOENERGIA. **Biogás: potencial pouco explorado**. Goiânia, 2016. Disponível em: <[www.canalbioenergia.com.br](http://www.canalbioenergia.com.br)>. Acesso em: 10 fev. 2017.

CAPUTO, A. C.; PALUMBO, M.; PELAGAGGE, P. M.; SCACCHIA, F. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. **Biomass & Bioenergy**, v. 28, n. 1, p. 35-51, 2005.

CAROLINO, J.; CAMPOS, A. F. Energia eólica: oportunidades e desafios para o Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 9., 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), 2014.

CARVALHO, L. G. **Produção de Biocombustíveis a partir da Biomassa de Dendê (*Elaeis guinaeensis*)**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CASSINI, S. T. A.; COELHO, S. T.; GARCILASSO, V. P. Biogás: biocombustíveis ANP. In: PERLINGEIRO, C. A. G. (Org.). **Biocombustíveis no Brasil: fundamentos, aplicações e perspectivas**. Rio de Janeiro: Synergia, 2014. v. 1, cap. 5, p. 135-167.

CASTALDI, M. J. Perspectives on sustainable waste management. **Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 5, p. 547-562, 2014.

CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. A. **O Potencial da Bioeletricidade, a Dinâmica do Setor Sucreenergético e o Custo Estimado dos Investimentos**. Rio de Janeiro: Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), 2010. 28 p.

CCEE [Câmara de Comercialização de Energia Elétrica]. **Resultado Consolidado dos Leilões de Energia Elétrica por Contrato**. São Paulo: CCEE, 2017a. Disponível em: <[www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br)>. Acesso em: 22 abr. 2017.

\_\_\_\_\_. **Onde Atuamos/Comercialização**. São Paulo: CCEE, 2017b. Disponível em: <[www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br)>. Acesso em: 22 de abr. 2017.

CEMIG [Companhia Energética de Minas Gerais]. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012. 369 p.

CENBIO [Centro Nacional de Referência em Biomassa]. **Atlas de Bioenergia do Brasil**. 2. ed. São Paulo: CENBIO, 2012. 66 p.

\_\_\_\_\_. **Banco de Dados de Biomassa no Brasil**. São Paulo: CENBIO, 2016. Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

CETESB [Companhia Ambiental do Estado de São Paulo]. **Gases do Efeito Estufa**. Pinheiros (SP): CETESB, 2017. Disponível em: <<http://proclima.cetesb.sp.gov.br/material-de-apoio/efeito-estufa/gases-do-efeito-estufa/>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

CGEE [Centro de Gestão e Estudos Estratégicos]. **Geração de Energia Elétrica a partir de Biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**. Brasília: CGEE, 2001. 11 p.

CHENG, J. J.; TIMILSINA, G. R. Status and barriers of advanced biofuel technologies: a review. **Renewable Energy**, v. 36, n. 12, p. 3541-3549, 2011.

CHERUBINI, F.; STRØMMAN, A. H. Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 437-451, 2011.

CHIARAMONTI, D.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 6, p. 1056-1086, 2007.

CHONG, Y. T.; TEO, M. K.; TANG, L. C. A lifecycle-based sustainability indicator framework for waste-to-energy systems and a proposed metric of sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 797-809, 2016.

CNPE [Conselho Nacional de Política Energética]. **Resolução Normativa nº 3, de 21 de setembro de 2015**. Autoriza e define diretrizes para comercialização e uso voluntário de biodiesel. Brasília: CNPE, 14 out. 2015.

COELHO, S. T. **Mecanismos para a Implementação da Cogeração de Eletricidade a partir de Biomassa: um modelo para o estado de São Paulo**. 1999. 278 f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COLUNA, N. M. E. **Análise do Potencial Energético dos Resíduos Provenientes da Cadeia Agroindustrial da Proteína Animal no Estado de São Paulo**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CONAB [Companhia Nacional de Abastecimento]. **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-açúcar no Brasil: análise do desempenho da safra 2009/2010**. Brasília: CONAB, 2011. 160 p.

\_\_\_\_\_. Grãos safra 2014/2015. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Brasília: CONAB, v. 2, n. 3, 2015a. 134 p.

\_\_\_\_\_. Grãos safra 2015/2016. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Brasília: CONAB, v. 3, n. 3, 2015b. 152 p.

\_\_\_\_\_. Grãos safra 2016/2017. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Brasília: CONAB, v. 4, n. 5, 2017. 166 p.

COSTA, C. **Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica**: lições da experiência europeia para o caso brasileiro. 2006. 233 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; NADALETI, W. C.; ROSSI, E.; FEIDEN, A.; CAMARGO, M. P.; CREMONEZ, F. E.; KLAJN, F. F. Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 415-428, 2015.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 296 p.

D'ECCLESIA, R. L. Introduction to the special issue on recent developments in energy commodities markets. **Energy Economics**, v. 53, p. 1-4, 2016.

EMBRAPA [Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária]. **Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais**. Brasília: EMBRAPA, 2012. 6 p. (Folder).

\_\_\_\_\_. **Principais Fontes de Biomassa por Região no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2014. (Mapa).

ENERGIA LIMPA. **Usina Termelétrica Abastecida por Resíduos de Cana-de-açúcar**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://blogatti1967.blogspot.com.br/2013/01/usina-termeletrica-abastecida-por.html>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]/MME [Ministério de Minas e Energia]. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2007. 372 p.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Economicidade e competitividade de aproveitamento energético de resíduos rurais. **Nota Técnica DEA 17/2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014a. 42 p.

\_\_\_\_\_. Inventário energético de resíduos rurais. **Nota Técnica DEA 15/2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014b. 51 p.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015a. 232 p.

\_\_\_\_\_. Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos dez anos (2015-2024). **Nota Técnica DEA 03/2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2015b. 78 p.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional**. Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016a. 292 p.

\_\_\_\_\_. Cenários de oferta de etanol e demanda do ciclo otto. **Nota Técnica 02/2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2016b. 29 p.

\_\_\_\_\_. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis**. Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 68 p.

FARIAS FILHO, M. C.; ARRUDA FILHO, E. J. M. **Planejamento da Pesquisa Científica**. São Paulo: Atlas, 2013. 168 p.

FARIAS, R. F. **Introdução aos Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010. 76 p.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. 3. ed. Santa Maria (RS): UFSM, 2014. 319 p.

FELFLI, F. F.; MESA, J. M.; ROCHA, J. D.; FILIPETTO, D.; LUENGO, C. A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, n. 1, p. 236-242, 2011.

FERREIRA, H. S.; LEITE, J. R. M. (Orgs.). **Biocombustíveis – Fonte de Energia Sustentável?:** considerações jurídicas, técnicas e éticas. São Paulo: Saraiva, 2010. 313 p.

FOREST, R.; FOREST, M.; COSTA, J. S.; RUVIARO, C. F. Segurança alimentar e sua relação com a expansão do programa de biocombustíveis. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 3, p. 99-111, 2014.

GALIZA, J. J. M. **Análise Técnica e Regulatória da Geração de Energia a partir do Biogás de Aterros Sanitários no Espírito Santo**. 2017. 270 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

GALVÃO JR., A. C.; PAGANINI, W. S. Aspectos conceituais da regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 79-88, 2009.

GARAGORRY, F. L.; MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A. MATOPIBA: evolução recente da produção de grãos. **Nota Técnica 9**. Campinas (SP): EMBRAPA, 2015. 69 p.

GE, X.; MATSUMOTO, T.; KEITH, L.; LI, Y. Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, n. 169, p. 38-44, 2014.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Orgs.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120 p.

GIANETTI, B. F.; DEMÉTRIO, J. F. C.; BONILLA, S. H.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Energy diagnosis and reflections towards Brazilian sustainable development. **Energy Policy**, v. 63, p. 1002-1012, 2013.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GOG, A.; ROMAN, M.; TOÇA, M.; PAIZS, C.; IRIMIE, F. D. Biodiesel production using enzymatic transesterification - current state and perspectives. **Renewable Energy**, v. 39, n. 1, p. 10-16, 2012.

GOLD, S.; SEURING, S. Supply chain and logistics issues of bioenergy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 1, p. 32-42, 2011.

GOLDEMBERG, J. Are biofuels ruining the environment? **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 4, n. 2, p. 109-110, 2010.

GOLDEMBERG, J.; CRUZ, C. H. B.; OSSEWEIJER, P.; ALPER, H.; GONÇALVES, C. Energia expandida: o uso de terras ociosas pode ampliar a produção de biocombustíveis e de alimentos. **Pesquisa FAPESP**. São Paulo: FAPESP, n. 172, p. 36-37, 2010.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

HAVLÍK, P.; SCHNEIDER, U. A.; SCHMID, E.; BÖTTCHER, H.; FRITZ, S.; SKALSKÝ, R.; AOKI, K.; CARA, S. D.; KINDERMANN, G.; KRAXNER, F.; LEDUC, S.; MCCALLUM, I.; MOSNIER, A.; SAUER, T.; OBERSTEINER, M. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5690-5702, 2011.

IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. **Estatística da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 94 p.

IBÁ [Indústria Brasileira de Árvores]. **Relatório Ibá 2015**. São Paulo: IBÁ, 2015. 80 p.

IEA [International Energy Agency]. **Renewable Energy: policy considerations for deploying renewables**. Paris: IEA, 2011. 76 p.

\_\_\_\_\_. **Key World Energy Statistics 2016**. Paris: IEA, 2016. 80 p.

INNOCENTE, A. F. **Cogeração a partir da Biomassa Residual de Cana-de-açúcar: estudo de caso**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Energia na Agricultura) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

IPEA [Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada]. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília: IPEA, 2010. 640 p.

\_\_\_\_\_. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília: IPEA, 2012. 134 p.

\_\_\_\_\_. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. Brasília: IPEA, 2016. 110 p.

IRENA [International Renewable Energy Agency]. **Renewable Energy Statistics 2016**. United Arab Emirates: IRENA, 2016. 300 p.

LEBRE, E. L. R.; SOARES, J. B.; OLIVEIRA, L. B.; LAURIA, T. Sustainable expansion of electricity sector: sustainability indicators as an instrument to support decision making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 14, p. 422-429, 2010.

LI, Y.; PARK, S. Y.; ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 821-826, 2011.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3496-3502, 2011.

LINS, M. E.; OLIVEIRA, L. B.; SILVA, A. C. M.; ROSA, L. P.; PEREIRA JR., A. O. Performance assessment of alternative energy resources in Brazilian power sector using data envelopment analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 898-903, 2012.

LIU, Z.; LIAO, W.; LIU, Y. A sustainable biorefinery to convert agricultural residues into value-added chemicals. **Biotechnology for Biofuels**, v. 9, n. 197, p. 1-9, 2016.

LIZCANO, J. V. **Poder Calorífero, Energia e Cinzas da Biomassa de Cana-de-açúcar Irrigada por Gotejamento, para Diferentes Variedades, Lâminas e Processos de Maturação**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ÁNGEL, J. D. M.; LEITE, M. A. H.; ROCHA, M. H.; SALES, C. A. V. B.; MENDOZA, M. A. G.; CORAL, D. S. O. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (Coords.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. v. 1, cap. 6, p. 411-493.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. 99 p.

MACEDO, L. V. (Coord.). **Manual para Aproveitamento de Biogás: aterros sanitários**. São Paulo: ICLEI, 2009. 80 p.

MAIER, S.; OLIVEIRA, L. B. Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil's waste policy: the case of Rio de Janeiro. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, n. 1, p. 484-498, 2014.

MAPA [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento]. **Plano Nacional de Agroenergia**. Período base 2006/2011. 2. ed. Brasília: MAPA, 2006. 110 p.

\_\_\_\_\_. **Cadeia Produtiva da Agroenergia**. Brasília: MAPA, 2007. 112 p.

\_\_\_\_\_. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília: MAPA, 2012. 173 p.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico da Agroenergia**. Ano base 2014. Brasília: MAPA, 2015a. 205 p.

\_\_\_\_\_. **Plano Agrícola e Pecuário**. Período base 2014/2015. Brasília: MAPA, 2015b. 92 p.

\_\_\_\_\_. **Plano Agrícola e Pecuário**. Período base 2015/2016. Brasília: MAPA, 2016. 50 p.

MARTÍNEZ, J. D.; MAHKAMOV, K.; ANDRADE, R. V.; LORA, E. E. S. Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its applications using internal combustion engines. **Renewable Energy**, v. 38, n. 1, p. 1-9, 2012.

MARTINS, G. A. **Estudo de Caso: uma estratégia de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2006. 106 p.

MDSA [Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário]. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: inclusão social e desenvolvimento territorial**. Brasília: MDSA, 2012. 48 p.

MICHEL JR., R. J. S. **Obtenção do Álcool Etilico Hidratado, com Graduação Alcoólica para Uso Automotivo: validação de um processo em batelada**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MMA [Ministério do Meio Ambiente]. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2012, 104 p.

\_\_\_\_\_. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC): Acordo de Paris, Conferência das Partes e Protocolo de Kyoto**. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gb.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

MME [Ministério de Minas e Energia]. **Ranking Mundial de Energia e Socioeconomia**. Período base 2012/2013/2014. Brasília: MME, 2015. 8 p. (Boletim).

MOLINO, A.; LAROCCA, V.; VALERIO, V.; MARTINO, M.; MARINO, T.; RIMAURO, J.; CASELLA, P. Biofuels and bio-based production via supercritical water gasification of peach scraps. **Energy & Fuels**, v. 30, n. 12, p. 10443-10447, 2016.

MORAES, R. J. **Setor Sucroalcooleiro: regime jurídico ambiental das usinas de açúcar e álcool**. São Paulo: Saraiva, 2011. 251 p.

MOREIRA, J. M. A. P. Potencial de participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 363-372, 2011.

MOREIRA, P. F.; MILLIKAN, B. (Orgs.). **O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: oportunidades e desafios**. 2. ed. Brasília: International Rivers Network, 2012. 102 p.

NERY, E. **Mercados e Regulação de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 722 p.

NOGUEIRA, L. A. H. Perspectivas do bioetanol para a América Latina. In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (Coords.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. v. 2, cap. 14, p. 897-906.

OLIVEIRA, C. M. **Energia da Biomassa e o Potencial do Brasil**. Curitiba (PR): ABIB, 2015. 58 p.

OLIVEIRA, L. B.; HENRIQUES, R. M.; PEREIRA JR., A. O. Use of wastes as option for the mitigation of CO<sub>2</sub> emissions in the Brazilian power sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 3247-3251, 2010.

OLIVEIRA, L. B.; ROSA, L. P. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. **Energy Policy**, v. 31, n. 14, p. 1481-1491, 2003.

OLIVEIRA, L. G. S. **Aproveitamento Energético de Resíduos Agrícolas: o caso da agroeletricidade distribuída**. 2011. 282 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PALACIO, J. C. E.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J.; DEL OLMO, O. A. Biocombustíveis, meio ambiente, tecnologia e segurança alimentar. In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (Coords.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. v. 1, cap. 1, p. 1-46.

PAGEL, U. R. CAMPOS, A. F.; CAROLINO, J. Economia sustentável: uma análise da aplicabilidade e viabilidade de resíduos sólidos agrícolas na produção da agroenergia. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 54., 2016, Maceió. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2016.

PAGEL, U. R. CAMPOS, A. F.; SCARPATI, C. B. L. Economia sustentável: viabilidade da produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos rurais no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 10., 2016, Gramado. **Anais...** Itajubá: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), 2016.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

PET CIVIL UFJF [Programa de Educação Tutorial de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora]. **Usina Termelétrica**. Juiz de Fora (MG), 2013. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2013/04/24/usina-termeletrica-de-juiz-de-fora/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

PHANPHANICH, M.; MANI, S. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 1246-1253, 2011.

- PORTAL DO AGRONEGÓCIO. **Biodiesel**. Brasília, 2017. Disponível em: <www.portaldoagronegocio.com.br>. Acesso em: 18 fev. 2017.
- RAY, S.; GHOSH, B.; BARDHAN, S.; BHATTACHARYYA, B. Studies on the impact of energy quality on human development index. **Renewable Energy**, v. 92, p. 117-126, 2016.
- REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**. 2. ed. Barueri: Manole, 2011. 460 p.
- REIS, L. B.; CUNHA, E. C. N. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. Barueri: Manole, 2006. 243 p.
- RENTIZELAS, A. A.; TOLIS, A. J.; TATSIPOULOS, I. P. Logistic issues of biomass: the storage problem and the multi-biomass supply chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 887-894, 2009.
- RICO, J. A. P.; SAUER, I. L. A review of brazilian biodiesel experiences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 513-529, 2015.
- RODRIGUES, R. M. **Pesquisa Acadêmica: como facilitar o processo de preparação de suas etapas**. São Paulo: Atlas, 2007. 200 p.
- ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais... Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial (SBERA)**, 2011.
- RYCKEBOSCH, E.; DROUILLOM, M.; VERVAEREN, H. Techniques for transformation of biogas to biomethane. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1633-1645, 2011.
- SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E. A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M. S.; MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011.
- SALINO, P. J. **Energia Eólica no Brasil: uma comparação do Proinfa e dos novos leilões**. 2011. 110 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SALOMOM, K. R.; TIAGO FILHO, G. L. (Orgs.). Série energias renováveis. **Biomassa**. Itajubá (MG): FAPEPE, 2007. 36 p.
- SANTOS, F. A. **Análise da Aplicação da Biomassa da Cana como Fonte de Energia Elétrica: usina de açúcar, etanol e bioeletricidade**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SARKAR, N.; GHOSH, S. K.; BANNERJEE, S.; AIKAT, K. Bioethanol production from agricultural wastes: an overview. **Renewable Energy**, v. 37, n. 1, p. 19-27, 2012.

SEN, S.; GANGULY, S. Opportunities, barriers and issues with renewable energy development – a discussion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 1170-1181, 2017.

SEMWAL, S.; ARORA, A. K.; BADONI, R. P.; TULI, D. K. Biodiesel production using heterogeneous catalysts. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 2151-2161, 2011.

SILVA, N. F. **Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: o caso da energia eólica**. 2006. 263 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, D. A. L.; DELAI, I.; MONTES, M. L. D.; OMETTO, A. R. Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 532-547, 2014a.

SILVA, R. A.; FELIX, K. K. F.; SOUZA, M. J. J. B.; SIQUEIRA, E. S. Gestão dos resíduos sólidos no meio rural: o estudo de um assentamento da região nordeste do Brasil. **Gestão e Sociedade**, v. 8, n. 20, p. 593-613, 2014b.

SOUSA, C. O. M. **A Política Nacional dos Resíduos Sólidos: avanços e desafios**. 2012. 100 f. Monografia (Pós Graduação Lato Sensu) – Faculdade de Direito da Fundação Armando Álvares Penteado, São Paulo, 2012.

SOUSA, E. L. L.; MACEDO, I. C. (Orgs.). **Etanol e Bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: UNICA, 2010. 310 p.

SOUZA, A. P.; LEITE, D. C. C.; PATTATHIL, S.; HAHN, M. G.; BUCKERIDGE, M. S. Composition and structure of sugarcane cell wall polysaccharides: implications for second-generation bioethanol production. **BioEnergy Research**, v. 6, n. 2, p. 564-579, 2013.

SOUZA, T. R. **Geração de Energia através da Palha e do Bagaço de Cana-de-açúcar**. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Produção Industrial Sucrenergética), Programa de Pós-Graduação em Gestão de Produção Industrial Sucrenergética, Universidade Federal de São Carlos, Piracicaba, 2012.

SOUZA, V. H. A.; SANTOS, L. T.; PAGEL, U. R.; SCARPATI, C. B. L.; CAMPOS, A. Aspectos sustentáveis da da biomassa como recurso energético. **Revista Augustus**, v. 20, n. 40, p. 105-123, 2015.

STATTMAN, S. L.; HOSPES, O.; MOL, A. P. J. Governing biofuels in Brazil: a comparison of ethanol and biodiesel policies. **Energy Policy**, v. 61, p. 22-30, 2013.

STRANTZALI, E.; ARAVOSSIS, K. Decision making in renewable energy investments: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 885-898, 2016.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 768-775, 2009.

SUGANTHI, L.; SAMUEL, A. A. Energy models for demand forecasting – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 2, p. 1223-1240, 2012.

SULTANA, A.; KUMAR, A.; HARFIELD, D. Development of agri-pellet production cost and optimum size. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 14, p. 5609-5621, 2010.

TERRAPON-PFAFF, J.; DIENST, C.; KÖNIG, J.; ORTIZ, W. A cross-sectional review: impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 1-10, 2014.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 515 p.

\_\_\_\_\_. (Coord.). **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004. 488 p.

\_\_\_\_\_. **Energia Termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 417 p.

TORQUATO, S. A.; RAMOS, R. C. Biomassa da cana-de-açúcar e a geração de bioeletricidade: usinas signatárias ao protocolo agroambiental paulista. **Informações Econômicas**, v. 43, n. 5, p. 59-67, 2013.

TWENERGY. **Colombia apuesta por los Biodigestores para Generar Biogás en las Áreas Rurales**. Villavicencio (COL), 2017. Disponível em: <<http://twenergy.com/co/a/colombia-apuesta-por-los-biodigestores-para-generar-biogas-en-las-areas-rurales-1165>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

UNICA [União da Indústria de Cana-de-Açúcar]. **A Bioeletricidade da Cana em Números**: setembro de 2015. São Paulo: UNICA, 2015. 5 p.

UNIDO [United Nations Industrial Development Organization]. **O biogás**. Viena (AUT): UNIDO, 2016. 151 p.

WAHLEN, B. D.; WILLIS, R. M.; SEEFELDT, L. C. Biodiesel production by simultaneous extraction and conversion of total lipids from microalgae, cyanobacteria, and wild mixed-cultures. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 2724-2730, 2011.

WANG, L.; WELLERB, C. L.; JONES, D. D; HANNA, M. A. Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production. **Biomass & Bioenergy**, v. 32, p. 573-581, 2008.

WBA [World Bioenergy Association]. **Global Bioenergy Statistics 2015**. Stockholm (SWE): WBA, 2015. 64 p.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Florestais, Alternativas Tecnológicas e Propostas de Políticas ao Uso de Resíduos Florestais para Fins Energéticos**. Curitiba (PR): MMA, 2009. 40 p.