

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

MÁRCIA ELIANA FERREIRA

**Avaliação do Potencial de Produção de Biogás e Energia a partir de
Resíduos Agrícolas no Paraná**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2020

MÁRCIA ELIANA FERREIRA

Avaliação do Potencial de Produção de Biogás e Energia a partir de Resíduos Agrícola no Paraná.

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Bill Jorge Costa

CURITIBA

2020

Márcia Eliana Ferreira

Avaliação do Potencial de Produção de Biogás e Energia a partir de Resíduos Agrícola no Paraná.

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 24 de novembro de 2020.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Bill Jorge Costa, Dr.
Tecpar
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Bill Jorge Costa, Dr.
Tecpar

Prof. Carlos Eduardo Fortes Gonzalez, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

Ao meu filho, João Francisco
Obrigada pelo amor e pela compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu filho pelo amor, respeito, apoio e compreensão para que tudo fosse possível. Sem você nada teria acontecido. Você é a parte mais importante deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Rodrigues pela acolhida, aconteceu em um momento muito significativo.

Agradeço ao Prof. Dr. Bill Jorge Costa, seu apoio foi fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e em especial aos Professores do DAELT pelo apoio, respeito que sempre depositaram em mim.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná – UFPR pelo apoio e aulas no Departamento de Elétrica.

Agradeço aos meus amigos e colegas que de alguma forma ajudaram na minha trajetória acadêmica.

***“A terra provê o suficiente para satisfazer
as necessidades de todos os homens,
mas não sua ganância”***

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

FERREIRA, Márcia Eliana. **Avaliação do Potencial de Produção de Biogás e Energia a Partir de Resíduos Agrícola no Paraná.** 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Devido a questões ambientais e econômicas existe atualmente um grande interesse em fontes de energia renováveis. Neste contexto, o estado do Paraná pode se beneficiar com a exploração do seu potencial energético retirado do reaproveitamento da biomassa remanescente da agricultura e agroindústria para produção de biogás e para a geração de energia elétrica. O levantamento de resíduos agrícolas gera informações para tomada de decisões estratégicas, quanto ao melhor aproveitamento dos resíduos remanescentes após a colheita de cada safra. Assim, este estudo contribui para visibilizar este potencial presente no estado do Paraná em novas formas de geração de energia elétrica. Mais do que simplesmente garantir um abastecimento eficiente de energia, essas fontes alternativas surgem como solução para substituir a enorme dependência global em relação aos combustíveis fósseis e recursos hídricos. O resultado apresentado neste estudo está diretamente relacionado à produção de biomassa residual agrícola, massa básica e o poder calorífico. Evidencia que a utilização do resíduo da cana-de-açúcar apresentou a melhor produtividade energética, seguida das culturas de milho e trigo, respectivamente, quando comparado com as demais matérias-primas estudadas.

Palavras-chave: Biomassa, Resíduos Agrícolas, Geração de Energia.

ABSTRACT

FERREIRA, Márcia Eliana. Evaluation of the biogas and energy production potential from agricultural waste in Paraná. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Due to environmental and economic issues, there is currently a great interest in renewable energy sources. In this context, the state of Paraná can benefit from the exploitation of its energy potential taken from the reuse of the remaining biomass from agriculture and agribusiness for the production of biogas and for the generation of electric energy. The survey of agricultural residues generates information for making strategic decisions regarding the best use of the remaining residues after the harvest of each harvest. Thus, this study contributes to show this potential present in the state of Paraná in new ways of generating electricity. More than simply guaranteeing an efficient energy supply, these alternative sources appear as a solution to replace the enormous global dependence on fossil fuels and water resources. The result presented in this study is directly related to the production of agricultural residual biomass, basic mass and calorific value. It shows that the use of sugarcane residue showed the best energy productivity, followed by corn and wheat crops, respectively, when compared with the other raw materials studied.

Keywords: Biomass, Agricultural Waste, Power Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo final de energia por fonte.	16
Figura 2 – Matriz de produção de energia elétrica – Julho/2020.....	17
Figura 3 – Etapas do processo de produção de biogás e biofertilizante.	29
Figura 4 – Projeções da biomassa residual agrícola e seu conteúdo energético.....	39
Figura 5 – Ciclo Rankine.	40
Figura 6 – Produtividade e destinação da cana-de-açúcar – (2017 – 2027).	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico.....	19
Gráfico 2 – Distribuição do volume de biogás produzido no Brasil em 2019.	31
Gráfico 3 - Comportamento da área cultivada – Total no Brasil.	34
Gráfico 4 - Projeção da disponibilidade potencial da cana-de-açúcar para bioeletricidade.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtos, tipos, quantidade produzida, coeficiente técnico e poder calorífico inferior dos resíduos pesquisados, para o Estado do Paraná.....	41
Tabela 2 – Potencial Energético dos Resíduos Agrícolas no Paraná.	42

LISTA DE SIGLAS

ALEP	Assembleia Legislativa do Paraná
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social
CBIE	Centro Brasileiro de Infraestrutura
CBIOS	Créditos de Descarbonização
CH ₄	Gás Metano
CIBiogás	Centro Internacional de Energia Renovável
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DERAL	Departamento de Economia Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPARDES	Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
J/g	Joule por grama
kJ/kg	quilo Joule por quilograma
kJ	quilo Joule
kcal/m ³	quilocalorias por metros cúbicos
kg/ha	quilograma por hectare
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
MJ/m ³	Mega Joule por metros cúbicos
Mt/ano	Mega toneladas por ano
Nm ³	Normal metros cúbicos
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PIB	Produto interno Bruto
SEAB	Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do Paraná
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

tep

Tonelada equivalente de petróleo

UFPB

Universidade Federal da Paraíba

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Problemas e premissas.....	18
1.2	Justificativa	22
1.3	Objetivo Geral	24
1.4	Objetivos Específicos.....	24
1.4	Metodologia aplicada	25
1.5	Estrutura do trabalho	27
2	O biogás como fonte energética renovável	28
3	A produção agrícola no Paraná	33
4	Avaliação do potencial de produção de Biogás e Energia a partir dos resíduos da Agricultura no Paraná	37
4.1	Discussão e Conclusão.....	43
5	Considerações finais	53
	Referências	55

1 Introdução

O desenvolvimento da espécie humana desde os primórdios da humanidade está atrelado ao consumo de energia. Com a descoberta do fogo, o homem passou a utilizar a madeira para preparar seus alimentos, promover o seu conforto, proteção e outros fins. A base desta energia era obtida através de atividades extrativistas, aproveitava os recursos extraídos da natureza sem quaisquer preocupações com os impactos que poderiam acarretar para o meio ambiente, supunham que os recursos naturais eram fontes abundantes de energia, sem previsão de esgotamento.

Nos anos que compreenderam o século XIX, com a tecnologia da máquina a vapor, a biomassa de origem vegetal passou a ter papel relevante também para a obtenção de energia mecânica com aplicações em setores na indústria e nos transportes. Mesmo com o início da exploração dos combustíveis fósseis, como o carvão mineral e o petróleo, a lenha continuou desempenhando importante papel energético, principalmente nos países tropicais; o desmatamento continuou a destruir florestas importantes para preservação do habitat natural de várias espécies de animais e plantas (CORRÊA; BENITE, 2019).

Desde a metade do século XX este cenário está em constante transformação. A evolução dos processos industriais e o desenvolvimento da sociedade demandaram um aumento sistemático de energia. A sociedade começa a perceber os impactos de um consumo descontrolado dos recursos naturais e a finitude da grande maioria dos insumos energéticos utilizados na produção de energia em grande escala (LIMA; *et al.*, 2014).

A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas acelerou a produção de resíduos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas. O aumento desordenado da população e o crescimento sem planejamento de grandes núcleos urbanos dificultaram as ações e o manejo dos resíduos, os quais muitas vezes são depositados em locais não preparados para recebê-los, provocando graves problemas socioambientais (MMA, 2010).

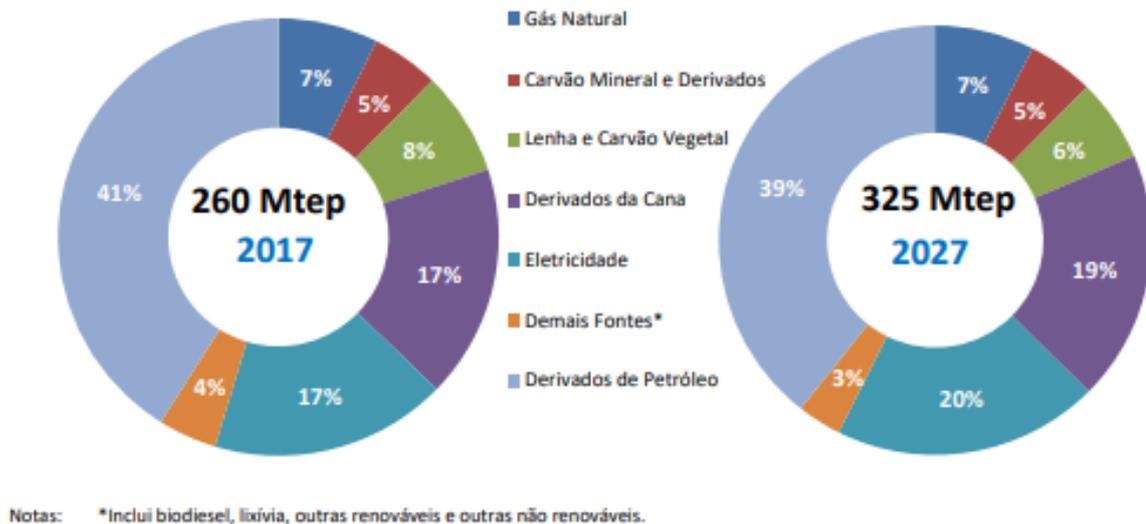
O Brasil é um grande gerador de resíduos orgânicos devido a sua população, larga produção agrícola, combustíveis, criação de animais e diversos processos produtivos que eliminam subprodutos com potenciais para aproveitamentos de diferentes formas. Assim, a produção de energias renováveis é uma das formas de aproveitamento de resíduos orgânicos, contribuindo ao mesmo tempo para o aumento da matriz energética mundial, redução de lançamentos de produtos inadequados no meio ambiente, geração de oportunidades de negócios, renda e maior desenvolvimento social e econômico (OLIVEIRA; FERREIRA; *et al.*; 2016).

Devido a questões ambientais há um maior interesse por fontes renováveis de energia e o Brasil pode se beneficiar reaproveitando a biomassa remanescente da agricultura e agroindústria para a produção de biogás e para a geração de energia, evitando o acúmulo de resíduos, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos, tendo em vista que a tecnologia do biogás pode ter como coproduto fertilizantes orgânico minerais (RAO; *et al.*, 2007; KOMINKO; *et al.*, 2017), bem como incentivar a sustentabilidade do crescimento da produção agrícola (IPEA, 2012).

Porém, para o aproveitamento dos resíduos agrícolas e sua conversão em geração de energia, há dependência do desenvolvimento e da implementação de tecnologias de processamento que utilizem o potencial energético de cada tipo de biomassa.

De acordo com dados publicados pela Balanço Energético Nacional (BEN), 2019, o Brasil em 2018 supriu a demanda interna de eletricidade com 83,3% de fontes renováveis. Entre tais fontes, a hídrica representou 66,6%, a eólica 7,6%, solar 0,54% e a biomassa destacou-se com 8,5%. As expectativas de evolução da matriz de consumo de energia por fonte, para a década de 2017 até 2027, mostram a tendência de crescente eletrificação do País. A Figura 1 indica estudos desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) sobre o consumo final de energia por fonte (EPE, 2018).

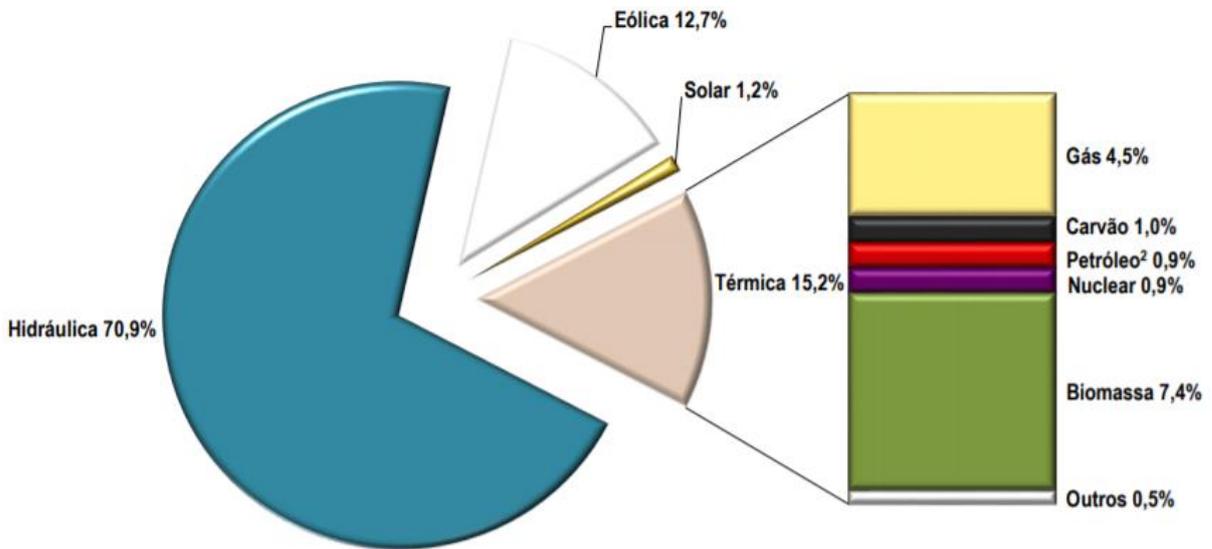
Figura 1 – Consumo final de energia por fonte.



Fonte: EPE (2018).

Atualmente, a matriz energética brasileira, no que diz respeito à geração de energia elétrica é predominantemente renovável com destaque para a geração hídrica, conforme os dados apresentados na Figura 2, extraídos do Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. Demonstra que a geração hidroelétrica correspondeu a 70,9% do total gerado no país. É seguida pela geração por fonte eólica na matriz de produção de energia elétrica do Brasil, representando 12,7% em julho/2020. Já a participação de usinas térmicas representou 15,2%. As fontes renováveis, hidráulica, biomassa, eólica e solar representaram 92,2% da geração de energia elétrica e a biomassa compõe 7,4% da matriz energética, considerando-se os empreendimentos em operação. A partir dos dados apresentados também pode ser observado o aumento da geração por térmicas que utilizam a biomassa como consequência da maior disponibilidade de combustível para geração, comportamento típico sazonal da fonte (MME, 2020).

Figura 2 – Matriz de produção de energia elétrica – Julho/2020.



Fonte: MME, (2020).

O uso do biogás gerado a partir da biomassa constituída pelos resíduos da produção agrícola, impulsiona o segmento de geração energia. É capaz de se adaptar a distintas escalas produtivas e a diferentes ambientes geográficos, se destinando a múltiplas finalidades, como energia elétrica, térmica ou veicular. Ao mesmo tempo, o biogás é um importante instrumento para a busca da sustentabilidade ambiental, social e econômica, atua no combate à poluição, promovendo a distribuição energética descentralizada e representando um produto de alto valor agregado (SENAI/PR, 2016).

Para avaliar as potencialidades da energia gerada através do biogás e dos resíduos agrícolas em território paranaense, é necessário estudar o desempenho de um dos principais setores econômicos no estado, o setor agrícola, capaz de gerar resíduos adequados à biodigestão e produção de energia (eletricidade, calor e vapor).

O Paraná apresenta um enorme potencial de energia renovável, destacando-se dentre elas a biomassa agrícola, por possuir grandes áreas cultiváveis. O levantamento do potencial de resíduos agrícolas gera informações para a tomada de decisões estratégicas, como a escolha de regiões ou municípios que apresentem logísticas favoráveis à instalação de plantas de bioenergia (SCARLAT; *et al.*, 2011).

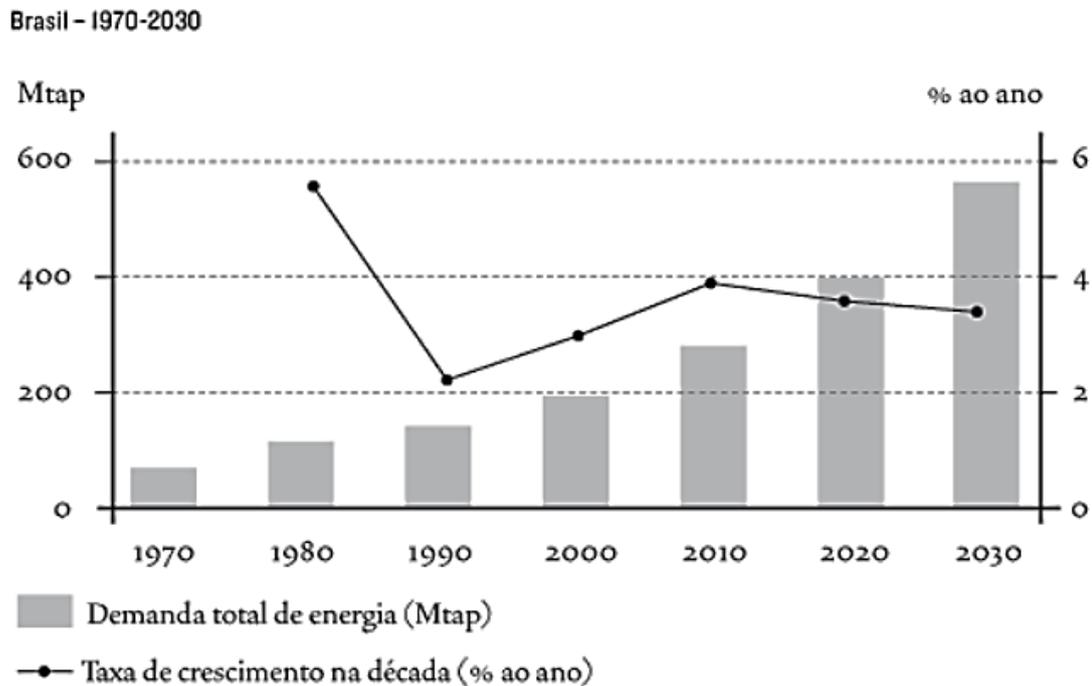
Também contribui para o planejamento de suprimento e disponibilidade de matéria-prima para a geração de energia a partir da biomassa residual, devido a sua sazonalidade, provendo informações para o gerenciamento e a exploração dessa fonte energética (CORREL; *et al.*, 2014).

Assim, este estudo contribui para destacar e mostrar a necessidade de se investir em novas formas de geração de energia. Mais do que simplesmente garantir um abastecimento eficiente de energia, essas fontes alternativas surgem como solução para substituir a enorme dependência em relação aos combustíveis fósseis e recursos hídricos.

1.1 Problemas e premissas

Historicamente a demanda por energia no Brasil acompanha o crescimento econômico, o qual impulsiona a necessidade eminente de substituição das matrizes energéticas a fim de se atender às demandas da economia nacional. Por estar atrelada à produção econômica, a demanda por energia torna-se um termômetro da atividade econômica do país. O gráfico 1 indica que no início da década de 1970 ocorreu aumento da demanda por energia. Em dias atuais e para a próxima década, há exigência da diversificação da matriz energética e aumento na produção de energia para suprir a demanda e alavancar o desenvolvimento de modo sustentável no Brasil (TOLMASQUIM; *et al.*, 2007).

Gráfico 1 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico.



Fonte: TOMASQUIM; *et al.* (2007).

A crise do petróleo que ocorreu durante a década de 1970 confirmou a importância da diversificação da matriz energética através de novas fontes de energia, embora os combustíveis fósseis ainda desempenhem o principal papel de matéria-prima para o consumo mundial de energia (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008).

A utilização da biomassa é uma alternativa viável para a substituição dos combustíveis fósseis e poluentes, como o petróleo e o carvão, devido a ampla utilização de produtos procedentes da biomassa como álcool, biogás e biodiesel de óleos vegetais nos motores de combustão interna (CORRÊA; BENITE, 2019).

A biomassa é uma das fontes renováveis para geração de energia com maior potencial de crescimento para próximos anos (MOURA; DALPONT; MICHELS, 2017). A matéria-prima procedente da biomassa é muito requisitada em usinas termelétricas para geração de eletricidade, a partir de processos como sua combustão direta (TOLMASQUIM, 2016). Porém, se faz necessário observar que nem toda a produção

primária passa a incrementar a biomassa vegetal, pois parte dessa energia acumulada é empregada no ecossistema para sua própria manutenção e conservação do solo.

A biomassa ocupa posição de destaque em relação a outras formas de energias renováveis devido à alta densidade energética. Produzida a partir de uma grande variedade de materiais, possui baixo custo e baixas emissões de gases poluentes quando comparada a produção de energia a partir do petróleo, além da facilidade de armazenamento, câmbio e transporte (SENAI/PR, 2016).

Outra vantagem que pode ser destacada é a semelhança entre motores e sistemas de produção de energia de biomassa e de energia fóssil. A substituição não teria um efeito tão impactante nem na indústria de produção de equipamentos nem nas bases instituídas para transporte e fabricação de energia elétrica (UFPB, 2011). Essencialmente no Brasil a maior parte dos equipamentos que convertem a biomassa em energia é de fabricação nacional, portanto não há a necessidade de importação, como acontece com outras fontes de energia.

Apesar das vantagens apresentadas acima, a produção de biomassa pode prejudicar a conservação das florestas e originar novas áreas desmatadas. Também há a dificuldade na logística para armazenar a biomassa *in natura* e os seus resíduos sólidos e sua eficiência energética é reduzida quando comparada ao petróleo.

A produção da biomassa para a geração de energia implica na utilização de grandes áreas, com práticas de monoculturas, gerando impactos ambientais significativos sobre a biodiversidade e os modos de produção, como a destruição da fauna e da flora com extinção de algumas espécies, contaminação do solo e mananciais de água por uso de adubos e agrotóxicos manejados inadequadamente (COELHO; *et al.*, 2002).

Os principais obstáculos para um maior uso da biomassa na geração de energia elétrica são a baixa eficiência termodinâmica das plantas, a necessidade de maior gerenciamento do uso e ocupação do solo, devido à falta de regularidade no suprimento (sazonalidades da produção), o cultivo de monoculturas, a perda de biodiversidade, o uso intensivo de defensivos agrícolas, etc. Esses entraves tendem a ser contornados a médio e longo prazos pelo desenvolvimento, aplicação e aprimoramento de novas e eficientes tecnologias de conversão energética da

biomassa (CORTEZ; BAJAY; BRAUNBECK, 1999) e por meio dos incentivos instituídos pelas políticas do setor elétrico, para acelerar e estimular o desenvolvimento do uso da biomassa, gerando desenvolvimento de novos negócios com conseqüente geração de novos empregos, trazendo estabilidade ao setor e favorecendo novos investimentos que serão garantidos por uma política setorial mais favorável, sempre baseado no desenvolvimento econômico, social, ambiental e tecnológico.

O Brasil possui um grande desafio nas próximas décadas que é promover a expansão da matriz energética, buscando soluções para atender os crescentes requisitos de serviços de energia e, ao mesmo tempo, satisfazer critérios na área de sustentabilidade ambiental e econômica. Assim, a geração de energia através de biomassa pode contribuir para diminuição da dependência de combustíveis fósseis e das hidrelétricas, diversificando a matriz energética do país sem que esta perca seu caráter renovável.

No Paraná, uma alternativa para suprir o crescimento da demanda por eletricidade e servir como fonte de geração de potencial energético é a utilização de resíduos originados nas atividades agrícolas para a geração de eletricidade e biogás, quantificando os principais tipos de biomassa e a complementariedade entre as diferentes culturas, com objetivo de gerar subsídios para a elaboração de políticas que busquem promover alternativas de aproveitamento energético destes (SENAI/PR, 2016).

Para isto, há necessidade de desenvolvimento de estudos de análise da viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento dos resíduos, levando em consideração a facilidade, o custo de coleta, transporte e armazenagem desse material, grau de desenvolvimento tecnológico dos processos de conversão e instalações de usinas de bioenergia.

1.2 Justificativa

A produção de biogás e energia a partir de resíduos por meio da digestão anaeróbica, processo de degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio, tem se tornado um processo promissor em todo o mundo porque promove a redução do volume de resíduos antes do descarte final, transformando um passivo ambiental em um valioso recurso para a geração de bioenergia (CAILLOT, 2017).

Na agricultura são geradas grandes quantidades de resíduos que são deixados no solo para a sua reestruturação emitindo gases e impactando o meio ambiente ou são utilizados na alimentação do gado (VARDANEGA; PRADO; MEIRELES, 2015).

O Estado do Paraná possui grande desenvolvimento no setor agrícola e após as colheitas, resulta uma grande disponibilidade de resíduos de biomassa agrícola, como as cascas de cereais, resíduos resultantes da colheita mecanizada e outros (SOUZA; SORDI; OLIVA, 2002).

Segundo o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico, em agosto de 2020, a biomassa já apresentava boa participação na matriz energética brasileira, tanto que contribuiu com aproximadamente 9% de toda a eletricidade consumida no país (MME, 2020).

As perspectivas de crescimento no país para a utilização do uso da biomassa residual agrícola na geração de biogás e eletricidade são consideradas promissoras. Junto com as energias eólica e solar, a biomassa deve ser num futuro próximo uma das formas de energia com maior capacidade de desenvolvimento (SENAI/PR, 2016). Diversas empresas que produzem sua própria energia já estão substituindo os combustíveis fósseis que movimentavam seus empreendimentos por fontes alternativas, como a biomassa.

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a

cogeração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2005).

A quantidade de biomassa produzida no Brasil é expressiva, podendo alcançar 1 Giga de toneladas em 2030. Entretanto, os resíduos de biomassa gerados nas atividades agroindustriais ainda são subutilizados, comumente deixados para decomposição natural, sem aproveitamento da energia neles contida e gerando passivos ambientais importantes. Dessa forma, as biomassas produzidas no país necessitam de avaliações mais precisas quanto ao seu potencial de utilização como produtos energéticos (MORAES; MASSOLA; *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o estímulo à utilização da biomassa proveniente da agricultura para a geração de energia elétrica e biogás surge como uma alternativa para a promoção da produção e do uso sustentável de fontes alternativas de energia. O mundo dedica atenção ao grave problema do uso inconsciente dos recursos naturais, do aquecimento global, da poluição, da escassez de água e de energia e do desflorestamento. Nessa perspectiva, este trabalho discute as possibilidades de geração de energia a partir do uso dessa biomassa, do ponto de vista econômico e sustentável, destacando seu aproveitamento na diversificação da matriz energética brasileira.

Em adição, destaca-se um aspecto de fundamental importância: existe um enorme potencial de produção de resíduos agrícolas no Paraná, mas sua contribuição à produção de biogás é particularmente mais produtiva quando tais materiais são adicionados a matérias-primas líquidas, como é o caso dos dejetos originados das atividades pecuárias.

Isto se justifica pelo fato de os resíduos agrícolas terem natureza lignocelulósica e sua biodigestão, desta forma, é dificultada quando são utilizadas de maneira pura (SENAI/PR, 2016).

Logo, considera-se que os processos de codigestão de biomassa agrícola e pecuária são prioritários. Com a codigestão, estima-se que os fatores de produção de metano no biogás aumentam em 10% (ADEME, 2009) e a destinação prioritária dos resíduos agrícolas seria voltada para a codigestão com resíduos pecuários de suínos e aves (EPE,2014).

Finalmente, o Paraná tem uma forte atividade pecuária, com geração de um grande volume anual de dejetos originados da criação de suínos, bovinos e aves. De acordo com a EPE (2014), o estado produz cerca de 27.477 Mt/ano de resíduos na pecuária, sendo 1.546 Mt/ano de suínos, 8.488 Mt/ano de bovinos e 17.445 Mt/ano de aves.

1.3 Objetivo Geral

Avaliar o potencial da produção de biogás e energia a partir do uso de biomassa disponível no Estado, com foco em resíduos oriundos das atividades agrícolas do Paraná, promovendo alternativas de aproveitamento energético destes e considerando as tecnologias de conversão da biomassa residual de origem vegetal disponíveis no Estado do Paraná.

1.4 Objetivos Específicos

Com base no objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Descrever aspectos que envolvam o aproveitamento da biomassa residual agrícola para geração de energia elétrica e biogás;
- Efetuar levantamento de dados atualizados da produção agrícola;
- Revisar estudos que envolvam o aproveitamento da biomassa residual agrícola no Paraná;
- Identificar o volume de agro-resíduos gerados;
- Estimar o potencial energético dos resíduos para a produção de biogás e energia;
- Apresentar sugestões de trabalhos futuros.

1.4 Metodologia aplicada

O presente capítulo aborda o enquadramento do tema dentro da área de Engenharia Elétrica, conjuntamente com a metodologia aplicada também apresenta um breve histórico da utilização da biomassa como fonte energética, seguido de uma apresentação do cenário atual da utilização desta fonte para este fim.

Protocolo de Pesquisa

O protocolo de pesquisa da presente dissertação visa apresentar as etapas das atividades para a utilização dos resíduos agrícolas para geração de energia elétrica.

A preparação do estudo engloba a parte introdutória, justificativa, os objetivos gerais, os objetivos específicos referente ao tema da pesquisa.

A primeira etapa do trabalho consistiu na apresentação do uso do biogás como energia renovável, processo para obtenção do biogás, sua conversão em eletricidade e as formas de utilização para geração de energia, bem como, apresenta o potencial de produção no Paraná e sua contribuição na matriz energética.

A segunda etapa do trabalho consistiu na coleta de dados relacionados às produções agrícolas no Paraná, de acordo com as informações contidas nos bancos de dados abertos do Departamento de Economia Rural (DERAL), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB), Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A terceira etapa do trabalho envolveu a aquisição e a organização de dados estatísticos e técnicos a respeito das principais fontes de biomassa no Paraná, bem como o potencial de tais fontes para aplicações no segmento de geração de energia elétrica.

Foram consultadas fontes diversas, incluindo literaturas técnicas sobre o tema (periódicos, livros, trabalhos de conclusão de cursos e normas técnicas) e dados obtidos de publicações e bancos de dados e *websites* de vários órgãos governamentais como o Ministério de Minas e Energia (MME) e órgãos coligados como a EPE, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre outros.

Os índices de resíduos gerados no processamento e na produção de produtos agrícolas foram extraídos da literatura, bem como os poderes caloríficos daqueles resíduos. A partir desse conjunto de dados foi possível estimar o potencial de produção de biogás e energia. De acordo com a SEAB, os principais produtos agrícolas cultivados no Paraná são a soja, milho, trigo, arroz, amendoim, cana-de-açúcar e feijão.

Em uma primeira abordagem as biomassas foram tratadas individualmente dentro destas categorias e as informações apresentadas em formato de tópicos como definição, características físicas e biológicas, processos produtivos, impactos ambientais e sociais, etc. São apresentadas as técnicas mais utilizadas comercialmente ou com destaque na área de pesquisa, referentes à transformação das biomassas visando seu aproveitamento energético. Cada técnica é descrita resumidamente de forma a passar um conhecimento básico sobre ela.

Na última parte deste projeto é dado enfoque à utilização das biomassas para geração de energia elétrica, apresentando quais são os meios mais utilizados e estudados atualmente para a conversão da energia contida na biomassa em energia elétrica. Por fim, são feitas considerações a respeito de possíveis áreas para estudos futuros e análises e conclusões relacionadas às informações aqui apresentadas.

1.5 Estrutura do trabalho

A elaboração deste trabalho foi organizada seguindo a estruturação de capítulos:

- Capítulo 1: Introdução aos estudos sobre biomassa para geração de energia, panorama histórico da utilização da biomassa como fonte de energia e perspectivas futuras da produção de biogás e energia a partir do uso de biomassa de origem residual agrícola na diversificação da matriz energética no Paraná.
- Capítulo 2: Conceito e abordagem quanto ao biogás como fonte energética renovável;
- Capítulo 3: Apresentação da produção agrícola no Estado do Paraná;
- Capítulo 4: Avaliação do potencial de produção de biogás e energia a partir dos resíduos da agricultura no Paraná;
- Capítulo 5: Conclusões, considerações finais sobre o trabalho desenvolvido e propostas de trabalhos futuros.
- Referências

2 O biogás como fonte energética renovável

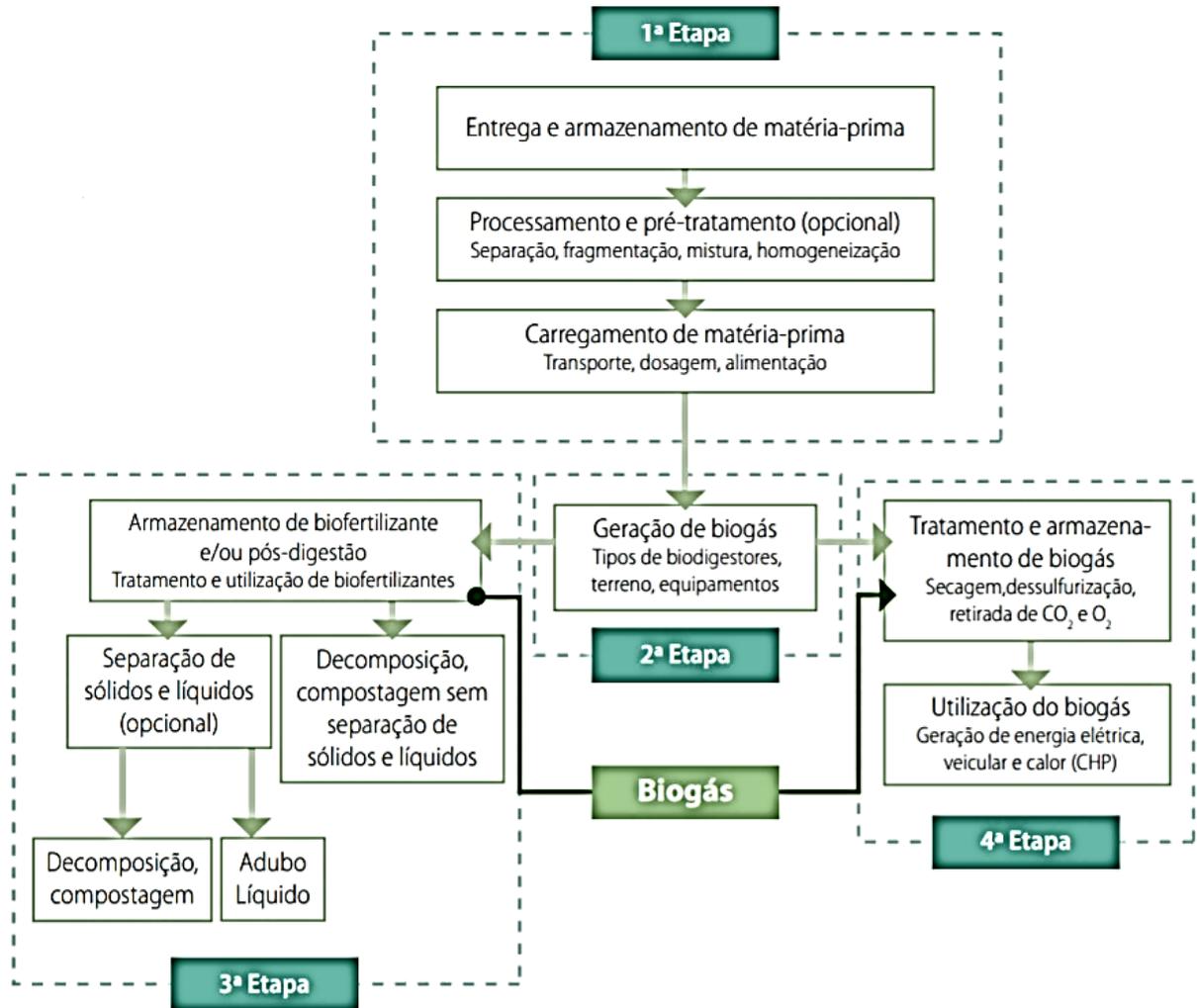
Com o aumento dos resíduos gerados a partir do processo produtivo de resíduos agro industriais, surge uma demanda para tratamento, conversão e aproveitamento energético. Dentre as soluções disponíveis, a produção de biogás no Estado do Paraná possui destaque e assim promove alternativas para o aproveitamento energético dos efluentes.

Biogás é um biocombustível gasoso obtido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias fermentadoras anaeróbias que liberam uma mistura de gases, principalmente metano e dióxido de carbônico, além de pequenas quantidades de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, entre outros produtos com potencial energético. As percentagens de cada produto na composição variam de acordo com as características dos resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão (MATA-ALVAREZ; *et al.*, 2014).

A geração de energia elétrica utilizando o biogás pode acontecer através de dois processos, o da conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão que ativa um gerador e do processo da queima do biogás em caldeiras. O biogás também pode ser purificado para a geração de biometano, que é equivalente ao gás natural veicular (CBIE, 2018).

A tecnologia para a obtenção do biogás é relativamente simples, com capacidade de adaptação a diferentes sistemas produtivos e escalas, conferindo-lhe um significativo poder de abrangência geográfica e de grande potencial, seja para uso térmico, elétrico ou veicular. Contribui também para a diminuição da poluição por resíduos industriais, agropecuários e urbanos e geração energética descentralizada (SENAI/PR, 2016). A Figura 3 ilustra o processo da produção do biogás.

Figura 3 – Etapas do processo de produção de biogás e biofertilizante.



Fonte: Senai/PR, (2016).

Devido ao alto teor de metano contido no biogás, a sua utilização é indicada para a geração de energia térmica em caldeiras, fornos, turbinas a gás e em motores de combustão interna, tipo ciclo Otto. Para aumentar o poder calorífico, rendimento térmico e eliminar a característica corrosiva devido à presença de gás sulfídrico e água contidos no biogás, se faz necessário o tratamento e purificação (OLIVEIRA, 2005).

O emprego do biogás como matéria-prima para a indústria acontece na utilização do metano como síntese de uma série de compostos orgânicos, podemos citar como exemplo, o metanol (OLIVEIRA, 2009). Este processo consiste na retirada

de parte do gás carbônico através de processos químicos, no biogás essa concentração é de 30 a 45% e passa a ser ajustada para 22,6% de CO₂ e de 77,4% de CH₄ que é considerada a concentração ideal (BNDES, 2018).

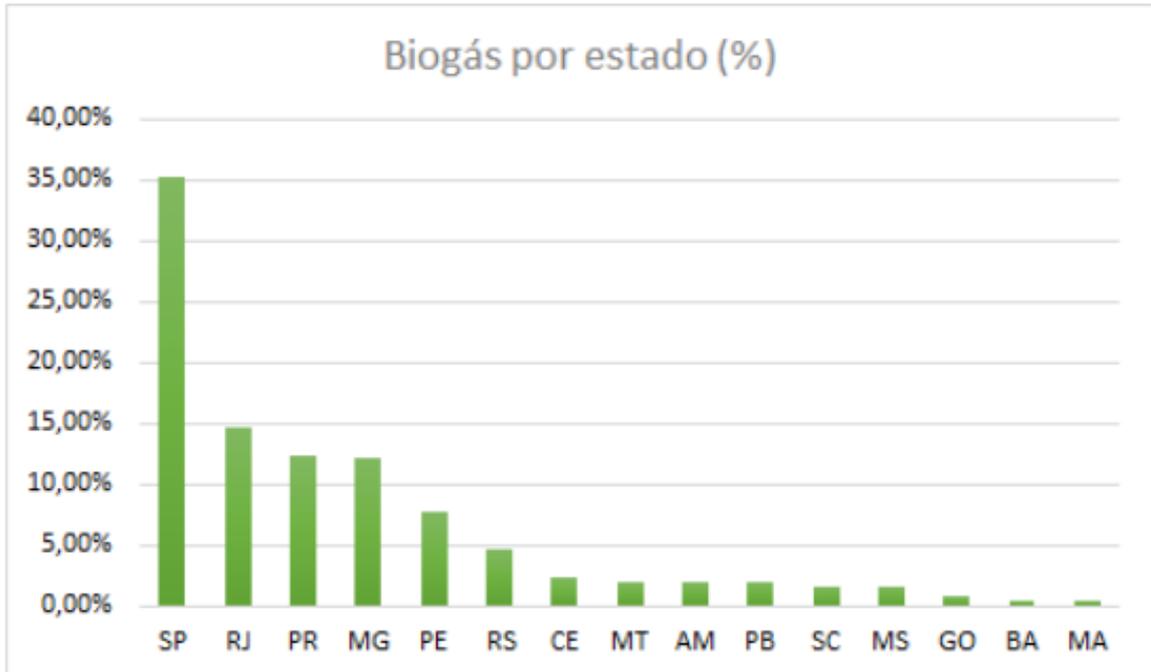
O poder calorífico do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa e varia de 5000 a 7000 kcal/m³. Se submetido a processos de purificação pode gerar um índice de até 12000 kcal/m³. O metano é um gás incolor e altamente combustível. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha (EPE, 2007).

Outra alternativa para a utilização do biogás é empregá-lo como combustível veicular, sendo necessária a sua purificação, retirando tanto o gás sulfídrico que é altamente corrosivo e ocasiona problemas internos ao motor, quanto o CO₂ para aumentar o poder calorífico do gás e a autonomia veicular.

O biofertilizante é o resíduo aquoso de natureza orgânica que pode ser utilizado na fertilização do solo, tendo origem na fermentação dos resíduos orgânicos no interior dos biodigestores para a obtenção do biogás. Contribui para o restabelecimento do teor de húmus, melhorando as propriedades físico-químicas e as atividades microbianas do solo. Pode ser diluído ou aplicado diretamente, dependendo das condições locais de infraestrutura e necessidade e em qualquer tipo de cultura agrícola (ASTALS; *et al*, 2012).

Segundo o CIBiogás (2020), no ano de 2019 existiam 548 plantas de biogás no país, sendo que destas, o número de plantas que o utilizam para aplicações energéticas são 521 plantas, produzindo 1,3 bilhões de (Nm³ano). O Paraná, de acordo com o Gráfico 2, ocupa a terceira posição com 170 milhões de Nm³, cerca de 12,5% da produção nacional.

Gráfico 2 – Distribuição do volume de biogás produzido no Brasil em 2019.



Fonte: CIBiogás (2020).

O Paraná é o estado de maior potencial na região sul em termos de produção de biogás, conforme o gráfico 2 (CIBiogás, 2020). A maioria das usinas instaladas utiliza o bagaço da cana-de-açúcar como fonte principal de geração, porém o estado apresenta grande potencial de geração de biogás por possuir um setor industrial e agroindustrial com forte representação no cenário nacional (SENAI/PR, 2016).

A participação do biogás na matriz energética nacional é pequena quando comparada a outras fontes de geração de energia. De acordo com dados consolidados para 2018, encontrados no Balanço Energético Nacional 2020, o biogás participa com 0,1% entre as fontes de energia primária no país. Considerando apenas as fontes renováveis, o biogás tem 1,0% de participação.

Mesmo o estado possuindo uma vocação para a produção do biogás, ocorre a necessidade de ampliação da sua escala de produção e mapeamento do desempenho de um dos principais setores econômicos do estado, capaz de gerar resíduos para o processo de biodigestão, a partir de culturas oleaginosas, cana-de-açúcar e amido.

Segundo Oliveira (2011), dentro do mapeamento e estudos durante toda a vigência do plantio, a sazonalidade e a rotação de culturas em uma mesma região se tornam de suma importância, pois indicam a disponibilidade de resíduos e que tipo de biomassa estará disponível para a conversão de energia.

A maneira mediante a qual a energia solar armazena-se na planta é muito importante para determinar o processo tecnológico a ser empregado para obter e transformar a energia da biomassa. Conforme os resíduos agrícolas e os resíduos agroindustriais são gerados podem haver destinações finais diferenciadas entre eles, devido ao custo de logística e armazenamento, a empregabilidade dos resíduos agrícolas na adubação e correção do solo e para ração de animais (NOGUEIRA; LORA, 2003). Para os resíduos agroindustriais, a adequação do seu aproveitamento é consequência necessária da correta destinação final (PELIZER; *et al.*, 2007).

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

3 A produção agrícola no Paraná

O Estado do Paraná apresenta um grande desenvolvimento no setor agrícola, e por isso ocorre a disponibilidade de resíduos de biomassa, como as cascas de cereais e resíduos resultantes da colheita mecanizada (SOUZA; SORDI; OLIVA, 2002).

Dados publicados pelo IBGE (2020), referente a safra nacional de 2019, demonstram que o Brasil atingiu 241,5 milhões de toneladas, sendo maior que o recorde de 2017 (238,4 milhões de toneladas), com 3,1 milhões de toneladas a mais produzidas. O resultado representa uma alta de 6,6% superior à obtida em 2018 (226,5 milhões de toneladas), aumento de 15 milhões de toneladas.

O arroz, o milho e a soja foram os três principais produtos que somados, representaram 92,8% da estimativa da produção e responderam por 87% da área a ser colhida. Em relação a 2018, houve acréscimos de 7% na área do milho (declínio de 2,2% no milho de primeira safra e aumento de 10,9% no milho de segunda safra), quanto à produção, houve expansão de 23,6% para o milho (crescimentos de 0,9% no milho de 1ª safra e de 34,1% no milho de 2ª safra). Também houve acréscimos na área de plantio de 2,6% e de 41,9% da soja e algodão herbáceo respectivamente, porém no que se refere à produção houve decréscimo de 3,7% na safra colhida da soja e acréscimo de 39,8% na safra do algodão. Com a safra de arroz houve declínio de 9,3% na área plantada e conseqüentemente houve decréscimo na produção de 12,6% no arroz.

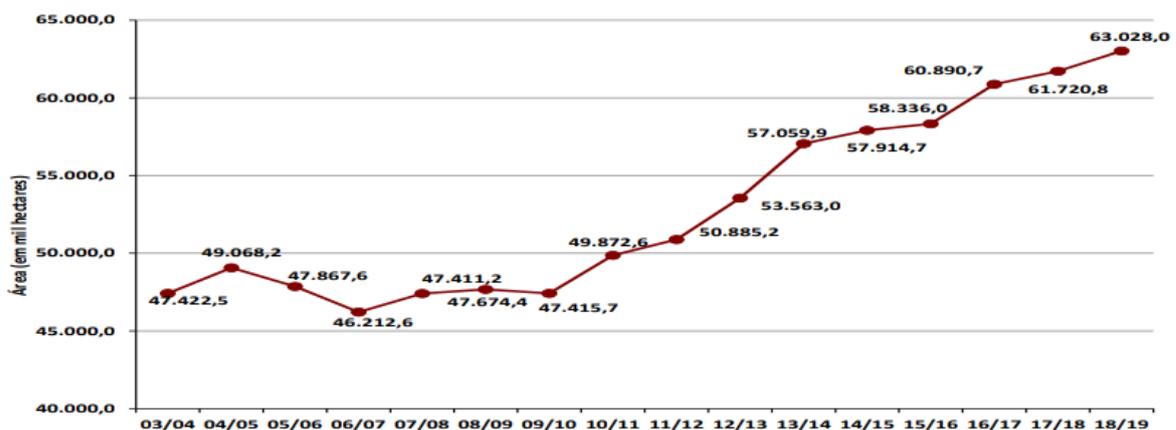
Mato Grosso lidera como maior produtor nacional de grãos com uma participação de 28%, seguido pelo Paraná (14,9%), Rio Grande do Sul (14,3%), Goiás (10%), Mato Grosso do Sul (7,9%) e Minas Gerais (6%) que, somados, representaram 81,1% do total nacional. Entre as grandes regiões, o volume da produção do Centro-Oeste foi de 111,5 milhões de toneladas (46,2%); do Sul, 77,2 milhões de toneladas (32%); do Sudeste, 23,7 milhões de toneladas (9,8%); do Nordeste, 19,2 milhões de toneladas (7,9%) e do Norte, 9,8 milhões de toneladas (4,1%).

Em 2019, a área a ser colhida deve ser de 63,2 milhões de hectares, um crescimento de 3,7% frente à área colhida em 2018, aumento de 2,2 milhões de hectares. Em relação a novembro deste ano, a estimativa da área a ser colhida apresentou crescimento de 41,2 mil hectares.

A Agricultura no Brasil é uma atividade sólida e produtiva. O país reúne inúmeras vantagens comparativas que o fazem capaz de atuar como líder no mercado mundial de produtos agrícolas (EPE, 2007).

Conforme dados apresentados pela CONAB, (2019), a área plantada de grãos no Brasil, para a safra 2018/19 está estimada em 63.028 mil hectares, conforme o Gráfico 3. A perspectiva é de aumento de 2,1% em relação à safra passada, equivale a um acréscimo de 1.307 mil hectares, influenciado pelo incremento nas áreas de algodão, soja e milho segunda safra.

Gráfico 3 - Comportamento da área cultivada – Total no Brasil.



Fonte: CONAB (2019).

Segundo estimativa apresentada pela CONAB (2019), a soja, milho, arroz e algodão são as principais culturas produzidas no país. Juntos, esses quatro produtos correspondem a 94,4% de tudo o que será produzido nessa safra. A produção da soja deverá ser de 113,8 milhões de toneladas, o milho, distribuído entre a primeira e

segunda safras, poderá atingir 94 milhões de toneladas, o arroz, 10,6 milhões e o algodão em pluma, 2,6 milhões de toneladas. Também há expectativa de aumento da produção para o amendoim e mamona para esta safra. O feijão possui três safras e a estimativa é que sejam produzidos 3,1 milhões de toneladas. A produtividade alcançada é positiva e deverá ser a segunda maior registrada na série histórica da CONAB.

De acordo com o DERAL (2020), o levantamento da Safra de Verão 2020/21 no Paraná aponta uma área total a ser plantada de 6,06 milhões de hectares. Aumento de aproximadamente 1%, em comparação com o ciclo anterior de 5,99 milhões de hectares de área cultivada. O Estado deverá produzir em torno de 24,3 milhões de toneladas de grãos nesta safra, volume levemente inferior ao total obtido na safra de 2019/20, quando foram colhidas 24,7 milhões de toneladas.

Os bons preços obtidos, tanto para a soja quanto para o milho, influenciaram os produtores, que aumentaram suas áreas cultivadas, enquanto a do feijão apresentou redução. Estas três culturas somadas representam quase a totalidade da área de grãos na primeira safra. A soja, com 5,53 milhões de hectares ou 91% da área total; o milho, com 358,6 mil hectares ou 6% do total; e o feijão, com uma área de 149,6 mil hectares, que representa 2% do total (SEAB, 2020).

Segundo dados extraídos do DERAL (2020), para o plantio do milho é feita uma estimativa de área de 356 mil hectares com uma expectativa de produção de 3,4 milhões de toneladas, uma redução de 3% comparativamente à safra 2019/2020. Em relação à segunda safra de milho de 2019/2020, a produção total esperada é de 11,7 milhões de toneladas, uma redução de 10% quando comparado ao potencial produtivo inicial. Com o avanço da colheita no Estado, a comercialização do cereal atingiu 59% da produção esperada.

Para o plantio da safra 2020/2021 de soja no Paraná, as primeiras estimativas são de um pequeno aumento na área a ser cultivada, de aproximadamente 5,53 milhões de hectares, em comparação com o ciclo anterior, o aumento é de 1,2%. Se confirmada, essa será a maior área já destinada para plantação da soja no Estado. A produção estimada é de 20,38 milhões de toneladas, cerca de 1,4% inferior aos 20,66 milhões de toneladas colhidas na safra 2019/20, que se explica pelo fato de que, no

ciclo anterior, a produção ficou acima do esperado pelos técnicos que acompanham a cultura (SEAB, 2020).

Dados da safra 2020/2021 de trigo para o Estado demonstram que haverá perda de aproximadamente 200 mil toneladas no Estado, o que corresponde a 5% do potencial produtivo de 3,7 milhões de toneladas, trazendo a estimativa de agosto para 3,47 milhões de toneladas. Caso o Estado consiga produzir mais de 3 milhões de toneladas, pode-se considerar um bom resultado frente a tantas dificuldades impostas à triticultura. Apenas a safra de 2016 apresentou uma produtividade acima de 3.000 kg/ha até hoje no Estado, sendo que entre 2017 e 2019, os danos climáticos fizeram os rendimentos ficarem abaixo de 2.600 kg/ha (DERAL, 2020).

4 Avaliação do potencial de produção de Biogás e Energia a partir dos resíduos da Agricultura no Paraná

Devido a grandes áreas cultiváveis no Estado do Paraná, o levantamento de dados sobre o potencial energético dos resíduos agrícolas torna-se necessário para que haja aproveitamento dos resíduos orgânicos, combatendo a poluição e produção de energia e assim gerando oportunidades de negócios, renda e maior desenvolvimento social e econômico.

A agricultura no Brasil é uma atividade sólida com grande produtividade e representação (EPE, 2007). O aumento da produção agrícola no Brasil, conseqüentemente, gera maior quantidade de resíduos, evidenciando a necessidade de tratamento afim de minimizar o impacto ambiental.

Pesquisas tem levantado o potencial de utilização destes resíduos para gerar energia a partir da produção de biocombustíveis, dentre eles o biogás. Para que haja desempenho satisfatório na utilização da biomassa para geração de energia, tanto em termelétrica quanto na fabricação de biocombustível, há questionamentos quanto à viabilidade econômica, altamente influenciada pela proximidade à fonte de produção, custos de transporte e de manuseio, teores de umidade e sistemas de processamento e preparação para tecnologias mais eficientes (CARDOSO, 2012).

Para Vardanega; *et al.* (2015) as vantagens na utilização destes resíduos estão principalmente em serem renováveis, tendo o sol como insumo energético; serem armazenáveis, estarem disponíveis em grandes quantidades e ao fato de não competirem com o uso da terra para a produção de alimentos. Além disso, estes resíduos são fontes com interesses comerciais para produção de produtos com valor agregado, ajudando a diminuir o volume de resíduos gerados nas colheitas.

De acordo com o IPARDES, o agronegócio é responsável por 33,9% do Produto Interno Bruto (PIB) do Paraná, valor que em 2017 chegou a R\$ 142,2 bilhões. Os estudos foram feitos pelo órgão vinculado à Secretaria de Estado do Planejamento e Projetos Estruturantes. Com a ajuda do clima e o solo fértil, a agricultura paranaense contribuí para a diversificação da produção agrícola, desempenhando papel

fundamental no crescimento econômico do Estado. Os produtos agrícolas possuem importante peso na balança comercial, principalmente no setor exportador e calcula-se que a agricultura paranaense seja responsável por aproximadamente 30% da produção nacional de grãos (SEAB, 2020).

A mensuração da biomassa residual e o estabelecimento da cadeia de abastecimento são preliminares para a produção de energia baseada nestas fontes de matéria-prima (ZAMBRZYCKI, 2018). A produção de energia por unidade de área permite uma visualização do potencial energético da cultura, que é o resultado da combinação entre a produção de biomassa por área e a qualidade energética, mensurada pelo poder calorífico da biomassa (LIMA; *et al*, 2011).

Para avaliar o potencial energético dos resíduos agrícolas deve-se considerar o poder calorífico da planta, ou seja, a quantidade de energia liberada em forma de calor pela combustão completa de uma unidade de massa de material (CENGEL; BOLES, 2006). O poder calorífico pode ser apresentado como Poder Calorífico Superior (PCS) ou Poder Calorífico Inferior (PCI), dependendo se o calor liberado pela condensação da água de constituição da biomassa, formada durante a combustão em razão da presença de hidrogênio em sua composição química elementar for ou não considerada.

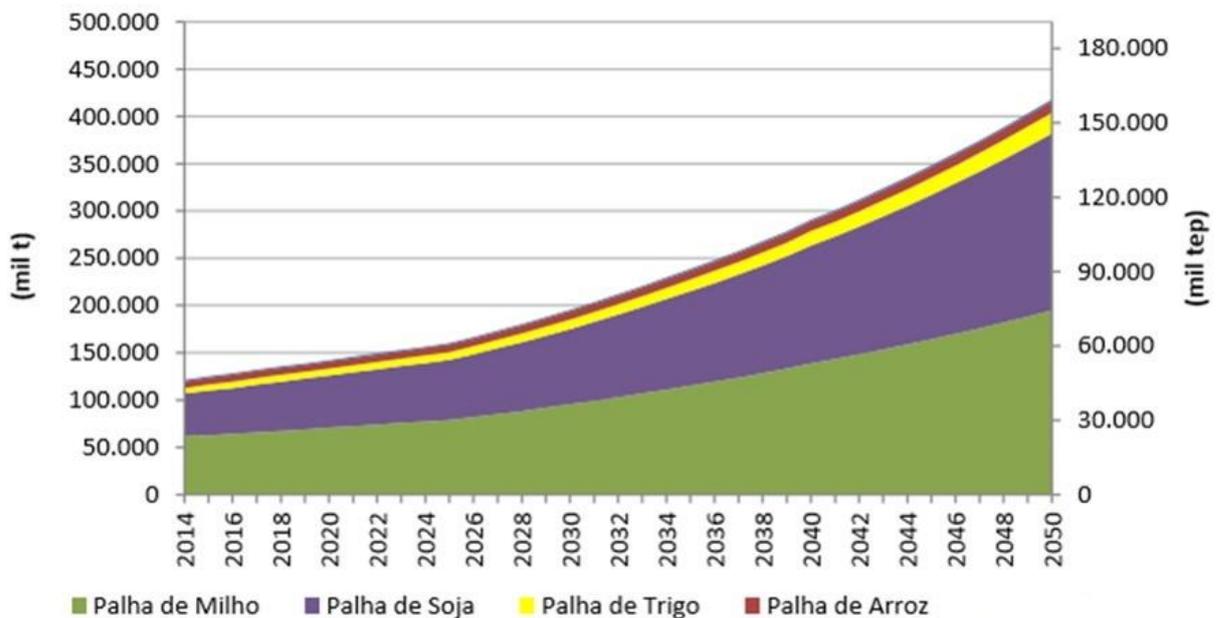
A diferença entre o PCI e o PCS é a quantidade de energia requerida para evaporar a água de formação obtida a partir da oxidação do hidrogênio do combustível. O PCI não considera o calor latente da condensação da umidade dos produtos. Como a temperatura dos gases de saída é maior que a temperatura de condensação, o calor latente não é utilizado. Assim, quanto menor a umidade da biomassa maior a eficiência energética da combustão (CORTEZ; *et al.*, 2008). Elevadas quantidades de carbono e hidrogênio são elementos positivamente correlacionados ao maior poder calorífico, enquanto o alto teor de oxigênio, possui relação contrária (RAMOS e PAULA; *et al.*, 2011).

Cascas e outros resíduos originários das atividades agrícolas podem ser utilizados como combustíveis para a geração de energia. O potencial disponível nestes resíduos corresponde a volumes significativos de energia subaproveitada que podem ser utilizadas como um combustível para conversão de energia elétrica e calor

em grupos de geradores, turbinas a gás ou ciclos combinando turbina a gás e a vapor (McKENDRY, 2002).

Os resíduos das áreas de beneficiamento, como cascas de produtos vegetais, possuem potencial energético. Sua aplicação em queimadores ajuda a resolver o problema da disposição final destes resíduos. Em 2014, a produção de biomassa residual agrícola foi superior a 47 milhões de tep, representando cerca de 18% do consumo final de energia do país naquele ano. Em 2050, a produção de biomassa residual agrícola deve superar 159 milhões de tep, um crescimento de 240%, conforme figura 4 (EPE, 2018).

Figura 4 – Projeções da biomassa residual agrícola e seu conteúdo energético.

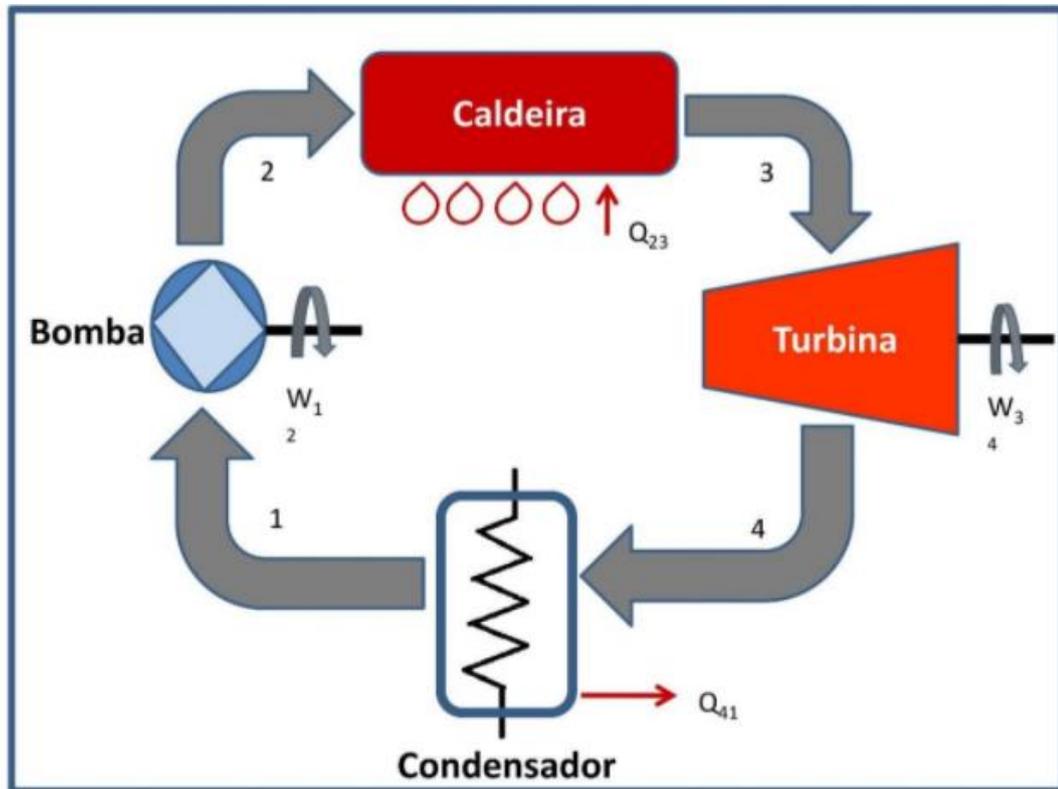


Fonte: EPE (2018).

A produção de energia elétrica a partir de biomassas residuais apresenta-se promissora na ajuda para suprir a demanda por energia no Brasil. Estima-se que 90% de toda energia elétrica produzida mundialmente ocorre através do ciclo de Rankine, conforme Figura 5, que consiste num ciclo termodinâmico reversível, capaz de converter calor em trabalho. O setor sucroalcooleiro brasileiro emprega esse tipo de

sistema, utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como principal biomassa residual (ROCHA; *et al.*, 2017).

Figura 5 – Ciclo Rankine.



Fonte: Rocha; *et al.*, (2017).

Para determinar o potencial teórico energético dos resíduos agrícolas foi utilizada a Equação 1.

$$Pot = (PxR)xPCIx 1000 \quad (1)$$

onde:

Pot = Potencial energético gerado a partir de resíduos agrícolas (Joule);

P = Produção total da cultura com resíduo;

R= Coeficiente técnico (tonelada de resíduos/tonelada de produção);

PCI = Poder calorífico Inferior (KJ/Kg);

1000 = Fator de conversão (toneladas para quilogramas).

A quantidade de resíduos agrícolas por cultura foi determinada através do coeficiente técnico definido em literatura, o qual expressa a quantidade de resíduo

gerada em relação à quantidade de grãos produzida e comercializada (NONES, 2014).

Este estudo apresenta o potencial total de resíduos, não desconsidera as quantidades de usos concorrentes ou que sua utilização possa ter impedimento de ordem operacional ou ambiental e a parcela deixada no campo para ciclagem dos nutrientes e da matéria orgânica do solo.

A Tabela 1 apresenta a cultura agrícola, o tipo de resíduos, a quantidade produzida na safra 2019/2020, o coeficiente técnico e o poder calorífico inferior dos principais resíduos agrícolas obtidos de culturas no Paraná.

Tabela 1 – Produtos, tipos, quantidade produzida, coeficiente técnico e poder calorífico inferior dos resíduos pesquisados, para o Estado do Paraná.

Cultura	Resíduo	Coeficiente técnico (ton resíduo/ton produto)	PCI dos resíduos (kcal/kg)	Produção (Mil ton)
Soja	Palhada	1,40 ¹	3,421 ¹	20.773,9 ³
Milho	Palhada	2,2 a 2,9 ²	4024 ²	15.223,7 ³
	Sabugo	0,3 a 0,6 ²	4201 ²	
Trigo	Palhada	1,4 ²	4000 ²	3.322,4 ³
Arroz	Haste e folha	1,3 a 1,8 ²	3,344 ²	145,3 ³
	Cascas	0,22 ²	3,200 ²	
Amendoim	Cascas	0,3 ²	4190 ²	5,8 ³
Cana-de-açúcar	Bagaço	0,270 ²	3855 ²	40.294,3 ³
Feijão	Palhada		4080 ²	587,1 ³
	Vagem	0,53 ²	3800 ²	
Total				80.352,5

Fonte: Adaptado pelo autor ¹ NONES, (2014), ² DIAS; *et al.*, (2012), ³ DERAL (2020).

O potencial energético apresentado é referente a energia térmica disponível no resíduo agrícola antes de qualquer processo de conversão. A Tabela 2 apresenta a quantidade de energia térmica que pode ser gerada a partir dos resíduos agrícolas considerados no estudo.

Tabela 2 – Potencial Energético dos Resíduos Agrícolas no Paraná.

Cultura	Área Cultivada (Mil ha)	Produção (Mil ton)	Potencial Energético Gerado (J)
Soja	5.511,2	20.773,9	99.494 10 ⁶
Milho	2.637,1	15.223,7	153.150 10 ⁹ (Palhada) 31.977 10 ⁹ (Sabugo)
Trigo	1.114,2	3.322,4	18.605 10 ⁹
Arroz	18,3	145,3	728.825 10 ³ (Hastes) 102.291 10 ³ (Casca)
Amendoim	2,0	5,8	7.290 10 ⁶
Cana-de-açúcar	579,7	40.294,3	41.940 10 ⁹
Feijão	379,3	587,1	1.269 10 ⁹ (Palhada) 1.182 10 ⁹ (Vagem)
Total			248.231 10⁹ Joule

Fonte: O autor, (2020).

De acordo com os dados de produção agrícola fornecidos pelo DERAL (2020), o potencial energético de geração estimada a partir dos resíduos agrícolas no Paraná com referência à safra de 2019/2020 é de 248.231 GJ, com produção de 80.352,5 mil toneladas de alimentos numa área plantada 10.241 mil ha.

A cultura da cana-de-açúcar, do milho e do trigo foram as que demonstraram um melhor aproveitamento em relação ao potencial energético gerado através dos resíduos agrícolas.

Vale ressaltar que as áreas de plantio da cana-de-açúcar, do milho e do trigo equivalem a 10,52%, 47,85% e 20,22%, respectivamente, da área de plantio da soja em território paranaense.

4.1 Discussão e Conclusão

Com a alta representatividade da produção agrícola paranaense, gera-se a necessidade de levantamento de dados sobre os resíduos gerados após a colheita, a fim de que se justifique a decisão sobre a instalação de plantas que utilizem os resíduos para geração de energia e biogás, assim como o suprimento e a logística dos resíduos para gerenciamento e exploração dessa fonte energética (CORREL; *et al.*, 2014).

Um aspecto essencial relacionado à utilização energética dos resíduos, sobretudo dos restos de lavouras extensas são sua dispersão, que acarreta dificuldades de coleta e transporte. Por outro lado, o excesso dos resíduos deixados no solo após a colheita constituem um problema de caráter ambiental e sua disposição final é de difícil solução, sendo o uso energético uma saída oportuna e viável, já que reduz seu volume e seu potencial contaminante (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Com estudos e esforços para determinar o uso e potencial da biomassa, desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão e o reconhecimento das vantagens ambientais do uso da biomassa para controle das emissões de CO₂ e

enxofre, tornam mais eficaz a utilização dos resíduos agrícolas na geração de energia (ROSILLO-CALLE; et al., 2000).

Os resíduos agrícolas, quando em seu estado original, possuem baixa densidade energética, grande volume para transporte, umidade elevada, em torno de 50%, disponibilidade sazonal, variabilidade e composição. Essas características presentes na biomassa residual agrícola podem gerar problemas no transporte, na manipulação, no armazenamento e na combustão (YOSHIKAWA; et al., 2009).

Segundo Moura; et al. (2017) deve se adequar o armazenamento dos resíduos agrícolas para garantir o fornecimento da matéria prima para a geração de energia e biogás, evitando que haja alterações nas características fundamentais dos resíduos como o apodrecimento, inviabilizando à sua utilização.

A viabilidade econômica na utilização dos resíduos agrícolas na geração de energia é altamente influenciada pela proximidade à fonte de produção, custos de transporte e de manuseio, teores de umidade e sistemas de processamento e preparação para tecnologias mais eficientes (CARDOSO, 2012).

A retirada dos resíduos agrícolas do terreno de cultivo deve ser avaliada, pois quando permanecem na zona de plantio exercem importante papel agrícola, contribuindo para a proteção dos solos entre os períodos de colheita e novo plantio, retendo a umidade do solo, protegendo a biota, evitando a erosão e restaurando os nutrientes que foram extraídos pela planta (EPE, 2014). A viabilidade técnica de aproveitamento de resíduos de produtos agrícolas para produção de energia depende de vários fatores, tais como a facilidade de coleta e transporte desta fonte primária de energia, preferência em manter o resíduo no solo para evitar a erosão, destinação para fins não energéticos (ração animal) e grau de desenvolvimento tecnológico dos processos de conversão (SOUZA; SORDI; SOUZA, 2002). A quantidade de resíduos agrícolas representa, em geral, duas vezes mais a do produto colhido (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Os resíduos provenientes das atividades agrícolas têm um grande potencial de utilização para a produção de *pellets* e briquetes (biomassa densificada), tendo em vista suas baixas densidades, dificuldades no seu recolhimento e a incerteza na quantificação dos resíduos disponíveis (SANTOS; et al., 2013). São necessários

estudos mais específicos para uso dos resíduos agrícolas na geração de energia na forma de compactados, principalmente no que diz respeito à quantificação mais precisa e métodos específicos para recolhimento dos resíduos no campo para cada tipo de cultura agrícola (NONES, 2014).

A quantificação dos resíduos agrícolas expressa a relação percentual entre a quantidade total de biomassa gerada por hectare plantado de uma determinada cultura e a quantidade de produto economicamente aproveitável, o que é realizado com base nos índices de colheita (EPE, 2014).

Com relação à safra colhida de 2018/2019, a produção agrícola paranaense produziu 80.352,5 mil ton de alimentos numa área plantada 10.241 mil ha, com geração de potencial energético de 248.231 GJ. O destaque vale para as culturas do milho, cana-de-açúcar e trigo, que demonstraram um melhor aproveitamento em relação ao potencial energético gerado através dos resíduos agrícolas, de 185.127 GJ, 41.940 GJ e 18.605 GJ, respectivamente. Vale ressaltar que as áreas de plantio da cana-de-açúcar, do milho e do trigo equivale a 10,52%, 47,85% e 20,22% respectivamente às áreas de plantio da soja em território paranaense.

Conforme Forster-Carneiro; *et al.*, (2013), no caso da cultura do milho, os resíduos resultantes da colheita (caule, palha, casca, sabugo de milho), quando descartados ou utilizados como cobertura do solo, após a colheita mecanizada, tem ocasionado sérios problemas de pragas que proliferam em ambientes úmidos e protegidos. Se triturados e utilizados na alimentação animal, apresentam pouco valor nutricional. Porém, a palha de milho tem sido amplamente utilizada em estudos de produção de enzimas, por meio da fermentação em estado sólido, tanto como suporte quanto como fonte de nutrientes para microrganismos. Para aproveitamento da palha, do caule e das folhas do milho para geração de energia, se faz necessário o recolhimento, compactação e transporte dos resíduos e armazenagem, tornando sua utilização muito custosa devido aos gastos com o processo, transporte e armazenamento

O cálculo da disponibilidade de resíduos da cultura do milho é de 25-30% teor de umidade e a recomendação é que 60% destes resíduos fiquem no solo. Assim, considerando a retirada, o aproveitamento é de 40% destes resíduos (EPE, 2014).

Na transformação do milho em etanol, utiliza-se como insumo o amido presente no grão, que requer o cozimento e a hidrólise enzimática para a sacarificação. Deste ponto em diante, o processo para a produção de etanol é similar ao de cana convencional, com etapas de destilação, retificação e desidratação (EPE, 2018). Como subproduto obtém-se a vinhaça, com alta concentração de proteína (resíduos do milho e células mortas de levedura), que após passar por uma centrífuga gera farelo, óleo e água. O farelo é destinado à alimentação animal, o óleo de milho é comercializado e a água pode ser utilizada na adubação, pois contém fósforo.

Há vantagens em utilizar o milho para geração de energia, pelo fato de poder ser estocado, tornando possível a produção de etanol durante todo o ano. A produtividade média do etanol de milho é de quatro mil litros por hectare e 400 litros por tonelada de milho (EPE, 2018).

Embora haja a possibilidade de utilizar os resíduos da planta para geração de energia, na colheita mecanizada há o beneficiamento do grão onde são retirados o caule, folhas, palha e sabugo, deixando o grão de milho limpo. A palha, o caule e as folhas geralmente são descartados diretamente no solo. Já o sabugo, parte interna e mais densa do milho, é utilizado na fabricação de ração animal (SANTOS, 2014).

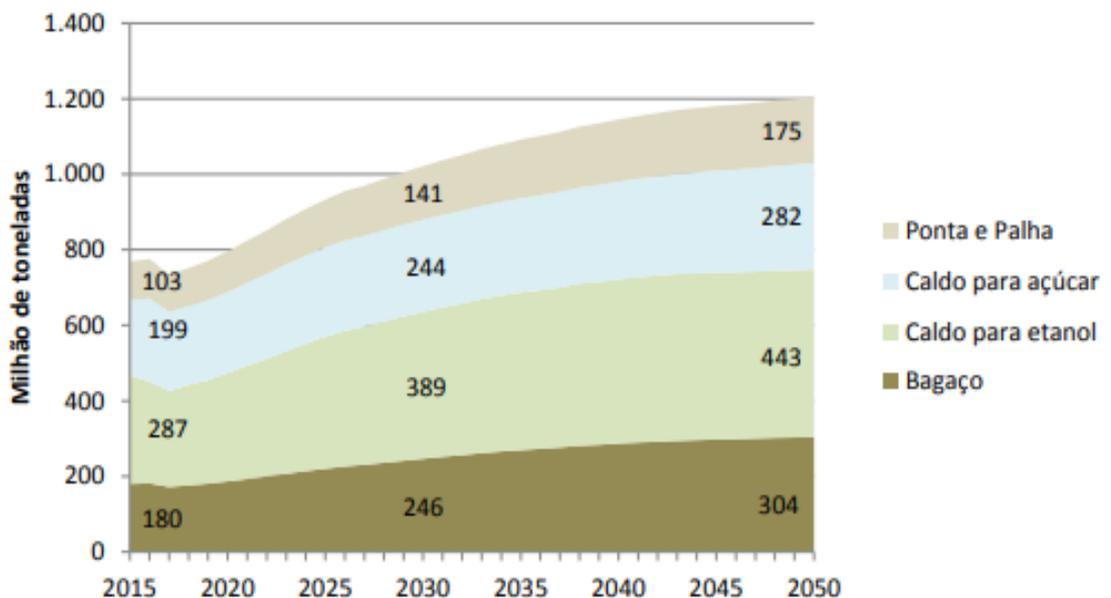
Na cultura do trigo, além do grão, o resto da planta é constituído por palha, caules e folhas. Após a colheita dos grãos, a palha pode ser queimada, retirada ou deixada no campo, porque depende de vários fatores, como a quantidade de resíduo gerada na safra, a próxima cultura a ser plantada, as condições climáticas, as necessidades nutricionais do solo e a inclinação do terreno. O cálculo de resíduos disponíveis da cultura do trigo em relação ao teor de umidade de 18-23% e 100% de perda de resíduos que permanecem no campo (FORSTER-CARNEIRO; *et al.*, 2013). No caso da palha de trigo, a recomendação é que 60% destes resíduos permaneçam no solo, considera a retirada e aproveitamento de 40% destes resíduos (EPE, 2014).

Para a cultura da cana-de-açúcar, cada 1.000 kg resultam em 220kg de resíduos, folhas e pontas. Estudos de avaliação da queima utilizando como base os resíduos da cana-de-açúcar revelam uma porcentagem de 30% de umidade (FORSTER-CARNEIRO; *et al.*, 2013). Os resíduos de cana-de-açúcar são responsáveis pelo maior potencial teórico de energia resultante da biomassa

energética para o estado do Paraná (SOUZA; SORDI; SOUZA, 2002). A conversão dos resíduos em eletricidade ou calor é feita por meio da cogeração.

Segundo dados publicados pela EPE (2018), no Brasil, o caldo extraído da cana-de-açúcar é utilizado para a produção de açúcar e de etanol de primeira geração, e o bagaço é utilizado como combustível nas caldeiras para cogeração de energia para autoconsumo e para exportação de eletricidade para o Sistema Interligado Nacional. Também se utiliza o bagaço, a palha e ponta para a produção de etanol de segunda geração. A vinhaça, um efluente residual gerado na fermentação do caldo para produção de etanol, pode ser biodigerido anaerobicamente para produção de biogás, juntamente com outras biomassas residuais disponíveis nas destilarias. O Gráfico 4 apresenta os dados dos subprodutos de origem da cana de açúcar projetados até 2050, calculados para atender a demanda de açúcar e álcool. A estimativa é que a produção de cana-de-açúcar deva crescer no período até 2050, chegando a 1,2 bilhão de toneladas.

Gráfico 4 - Projeção da disponibilidade potencial da cana-de-açúcar para bioeletricidade.



Fonte: EPE (2018).

De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2005) o bagaço de cana-de-açúcar, é uma das fontes com maior potencial para geração de energia elétrica no país. Devido à alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, com a introdução de variedades de cana desenvolvidas para maior produção de bagaço, visando à produção de etanol de segunda geração, pode levar a uma menor demanda de área plantada com cana acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira. Assim, uma enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço e palha tem sido disponibilizada, com usinas geradoras interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos Estados das regiões Sul e Sudeste. Além disso, o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro, tornando a opção ainda mais vantajosa (MORAES; MASSOLA; *et al.*, 2017).

O aproveitamento energético da biomassa residual gerada no processamento industrial da cana-de-açúcar, tanto na produção de calor quanto na de eletricidade, destina-se ao autoconsumo e à produção de excedentes de energia elétrica, exportados para o Sistema Integrado Nacional. A participação é importante não só para a diversificação da matriz elétrica, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período auxilia, portanto, a preservação dos níveis dos reservatórios das usinas hidroelétricas (ATLAS de ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

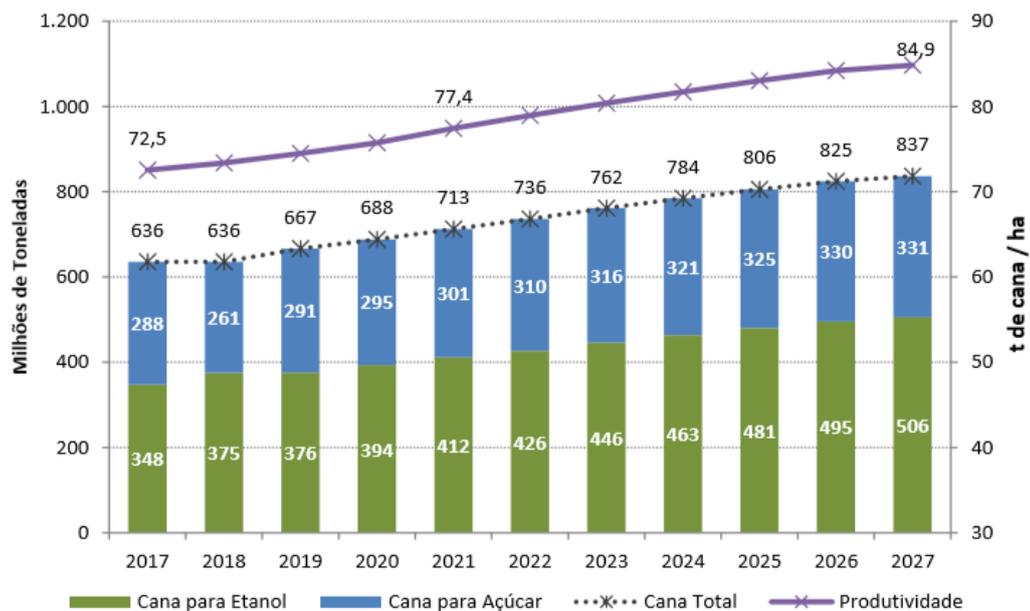
Iniciativas governamentais de fomento à renovação e modernização das instalações de cogeração aumentaram a eficiência de conversão da energia da biomassa e, conseqüentemente, a geração de excedentes e sua distribuição, contribuindo para a diversificação do setor e o aumento de sua receita. Dados do Banco de Informação da Geração (ANEEL, 2019) registram que a capacidade instalada de geração da biomassa de cana atingiu 11,4 GW com 404 usinas geradoras em outubro de 2019, representando 6,54% da matriz de energia elétrica nacional.

Segundo o BEN (2018), no Brasil a produção total de bagaço de cana no ano de 2017 foi de 165,612 milhões de toneladas, sendo 28,854 milhões de toneladas (17,42%) aplicadas em transformação (geração de energia elétrica) e 55,997 milhões

de toneladas (33,8%) no setor energético (energia consumida nos centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno). A parte da produção destinada à geração de energia elétrica corresponde a 6,15 milhões de tep e 71,48 TWh.

Ainda conforme estudos realizados pela EPE (2018) a cana de açúcar destinada para produção de energia representará, em 2027, aproximadamente 140 mil há, e deverá ser empregada preferencialmente na produção de etanol. No horizonte decenal, estima-se que a área de colheita passará de 8,7 milhões de hectares para 9,9 milhões a produtividade crescerá 1,6% a.a., atingindo 85 t/ha em 2027. A partir da área de colheita e produtividade, estima-se que a projeção de cana colhida cresça a uma taxa de 2,8% a.a., atingindo 837 milhões de toneladas em 2027, conforme a Figura 6. Nesse contexto, o percentual de cana destinada ao etanol varia de 55%, em 2017, para 60%, em 2027, aumento que se deve à maior demanda pelo biocombustível.

Figura 6 – Produtividade e destinação da cana-de-açúcar – (2017 – 2027).



Fonte: EPE (2018).

Aspectos negativos que podemos citar no cultivo da cana-de-açúcar são as interferências no solo e a possibilidade da formação de monoculturas em grande extensão de terras, que competem com a produção de alimentos. Estas variáveis têm sido contornadas por técnicas e processos que aumentam a produtividade da biomassa reduzindo, a necessidade de crescimento de áreas plantadas.

Por outro lado, o cultivo da cana-de-açúcar é uma das culturas que mais gera emprego de forma direta ou indireta por área cultivada. Embora a maior parte da mão-de-obra exigida não seja qualificada, ela promove um ciclo virtuoso nas regiões da produção agrícola, caracterizado pelo aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, geração de novas atividades econômicas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural. Na utilização sustentável do bagaço da cana para a produção de eletricidade por meio de usinas termelétricas, o balanço de emissões de CO₂ é praticamente nulo, pois as emissões resultantes da atividade são absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento (Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008).

O etanol feito de cana-de-açúcar e milho representa 82% do mercado mundial de biocombustíveis. Brasil e EUA são os maiores produtores de etanol, responsáveis por 90% do mercado mundial. Entretanto, há diferenças fundamentais em seus processos produtivos. Enquanto no Brasil quase todo o etanol é produzido a partir de cana-de-açúcar, nos EUA a matéria-prima predominante é o milho. O álcool produzido a partir da cana-de-açúcar rende, em média, 7 mil litros por hectare, enquanto o de milho rende 3,5 mil litros. Além disso, sob o ponto de vista ambiental, a cana também é mais vantajosa, uma vez que cada unidade de energia fóssil usada na produção do combustível gera 9,3 unidades de energia. No caso do milho, a relação é de 1 para 1,5 unidade. O milho é o cereal mundialmente dominante para produção de etanol combustível: da produção mundial de 860 milhões de toneladas do grão (safra 2012/13), cerca de 15% foi utilizado para a produção de etanol. Os EUA destinam aproximadamente 43% do total de milho produzido pelo país para a produção de etanol (BORBOLETTO; ALCARDE, 2015).

O armazenamento do bagaço, da ponta e da palha da cana-de-açúcar é feito em local aberto. O dimensionamento da planta termelétrica, para atender a demanda interna de energia e gerar excedentes comercializáveis, define a quantidade desta

biomassa que fica disponível para sua utilização na entressafra da cana. Porém, a vinhaça, não pode ser armazenada, pois a ação de microrganismos leva à biodigestão não controlada, com perda de carga orgânica e potencial emissão de metano. Assim, seu aproveitamento fica restrito ao período de funcionamento da destilaria (Tolmasquim, 2016).

As demais culturas analisadas apresentam potenciais baixos de geração de energia a partir dos resíduos da agricultura.

O avanço da produção agrícola brasileira nos últimos anos apresenta aumento do volume de resíduos nas áreas rurais. Os dados demonstram que a agricultura se traduz em benefícios ao país, com geração de empregos, maior contribuição ao desenvolvimento, mais alimentos e riqueza. Porém, ocasiona grandes impactos ao meio ambiente. Para que haja desenvolvimento da agricultura aliada a diminuição dos impactos ao meio ambiente, se faz necessário comprometimento dos setores da agroindústria em reduzir, reciclar os resíduos gerados para preservar os recursos naturais evitando a degradação do meio ambiente (FORSTER-CARNEIRO; *et al.*, 2013. IPEA, 2012).

Em geral, no Brasil há um aumento no número de produtos e técnicas que favoreçam investimentos em tecnologias limpas e sustentáveis, minimizando danos ambientais com redução de resíduos. Importante ressaltar que os resultados da quantificação do potencial energético gerado a partir dos resíduos de algumas culturas consideradas são teóricos e servem de base para demonstrar o potencial energético que determinada biomassa possui. Para determinar a possibilidade de uso destes recursos, há a necessidade de averiguar várias outras questões como econômicas, financeira, regulatória, logística, técnicas e ambientais, entre outras, que não foram analisadas nesta pesquisa.

No Paraná, atualmente o maior produtor de biogás na Região Sul, o uso dos resíduos agrícolas associados com os resíduos da pecuária, trará significativa contribuição à economia circular no Estado, transformando resíduos, que por vezes, deixado no solo, em energia e renda e incentivando a sustentabilidade da produção agricultura.

Contribui para o planejamento do suprimento e da disponibilidade da matéria-prima para a geração de energia a partir da biomassa residual, auxilia na redução da dependência em combustíveis fósseis e hídricos, para diversificação da matriz energética.

5 Considerações finais

Avaliar o potencial da produção de biogás e energia no Estado do Paraná, utilizando resíduos agrícolas, busca dar alternativas para substituição da utilização de combustíveis fósseis na geração de energia elétrica.

Ao descrever sobre o aproveitamento dos resíduos agrícola e efetuar o levantamento de dados da produção agrícola no Estado do Paraná, envolve aspectos que variam desde a viabilidade da utilização da biomassa residual, passa pela logística a ser empregada para se obtenha a melhor forma de aproveitamento e armazenagem dos resíduos, para que estes possam ser aproveitados reduzindo o descarte inadequado ao meio ambiente diminuindo a poluição e gerando oportunidades de negócios ao Paraná.

Diversas formas de aproveitamento de biomassa residual para geração de energia têm sido estudadas atualmente. Isso se deve ao fato de haver necessidade de mudança na matriz energética e aproveitamento de recursos desperdiçados. Apesar que a utilização da biomassa ainda ser pouco aproveitada na transformação de energia, os estudos demonstram que a utilização da biomassa em larga escala é bastante atrativa, uma vez que potencializará a solução de problemas ambientais associados à poluição e desperdício. Questões quanto à localização, transporte e armazenagem dos resíduos também devem ser analisadas, como o intuito de que os custos associados a utilização destas biomassa sejam minimizados (ROCHA; ALMEIDA; CRUZ, 2017).

Ao avaliar e identificar o potencial energético dos resíduos para a produção de biogás e energia, constata-se que de acordo com os dados de produção agrícola, fornecido pelo DERAL (2020), o potencial energético de geração estimada a partir dos resíduos agrícolas no Paraná com referência na safra de 2019/2020, é de 248.231 GJ, com produção de 80.352,5 mil ton de alimentos numa área plantada 10.241 mil ha.

Com destaque ao maior aproveitamento dos resíduos provenientes da cana-de-açúcar, cujo o plantio é reduzido em relação as culturas de milho e soja, dele se obtêm maior rendimento e utilização de 100% dos resíduos para geração de energia.

As dificuldades encontradas para a realização deste trabalho foi o desconhecimento do cultivo, do manejo e da colheita das culturas produzidas no Estado do Paraná. Para efetuar as pesquisas também há pouca literatura que aborde o tema proposto.

Em decorrência da falta de informações consolidadas a respeito do assunto, são destacados os seguintes temas como sugestão para estudos futuros:

- Levantamento qualitativo das várias fontes de biomassa existentes no Paraná e por regiões que possam ser utilizadas para a produção de energia elétrica,
- O uso da biomassa residual agrícola para a geração de eletricidade com outros resíduos já existentes no setor agroindustriais,
- Análise econômica de cada tipo de biomassa tendo em vista suas possíveis rotas de conversão
- O uso de biomassa residual na redução de fertilizantes químicos em grandes plantações.

Referências

ADEME, Agence de l'Environnement et de La Maitrise de l'Energie. **Methanisation agricole et utilisation de cultures energetiques en codigestion.** Avantages/inconvénients et optimisation. Rapport final. 130 p., 2009. Disponível em: https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/68044_methanisationcodigestion_etude.pdf. Acesso em: nov.2020.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração. Capacidade Instalada por Estado.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.cfm>. Acesso em: out. 2019.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed. – Brasília: Aneel, 2005. 243 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/livros>. Acesso em: set. 2019.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008. 236 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/livros>. Acesso em: set. 2019.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. Lei 19.500 – 21 de Maio de 2018. Publicada no Diário Oficial nº 10194 de 22 de Maio de 2018. Disponível em: http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod_legislativo_arquivo/mod_legislativo_arquivo.php?leiCod=51410&tipo=L&tplei=0. Acesso em: set. 2020.

ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOL, V.; MATA-ALVAREZ, J.; Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: **biogas and digestate Bioresource Technology**, v.110, p. 63-70, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.080>. Acesso em: set. 2019.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. **Biogás: a próxima fronteira da energia renovável.** 2018. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/biogas>. Acesso em: nov. 2019.

BORBOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Assessment of chemical quality of Brazilian sugar cane spirits and cachaças. **Food Control**, Guildford, v. 54, n. 1, p. 1-6, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713515000511>.

Acesso em: out. 2020.

CAILLOT, V. A. **Avaliação do potencial de produção de biogás dos resíduos da suinocultura codigeridos com resíduos agricultura brasileira**. 2017. p. 84 Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

CARDOSO, B. M. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética**. 2012. p. 94 Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

CBIE. Por que o Biogás é uma opção de Energia Renovável? Centro Brasileiro de Infraestrutura. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/por-que-o-biogas-e-uma-opcaodeenergiarenovavel/>. Acesso em: marc. 2020.

CENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5.ed. Mc Graw-Hill, 2006, 740 p

CIBiogás. Nota Técnica: N° 002/2010 – **Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, Abril de 2020. Disponível em: <https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>. Acesso em: set. 2020.

COELHO, S. T. et al. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. Projeto Bra/00/029 – Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global Do Clima - ANEEL. Brasília, 2002.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 6 – Safra 2018/19 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-119, 2019.

CORRÊA, N. B. de O.; BENITE, C. R. M. **Fonte Renováveis de Energia: Uma Abordagem Interdisciplinar no Ensino de Física**. 1. ed. - Curitiba: Appris, 2019.

CORRELL, D.; SUZUKI, Y.; MARTENS, B. J. Logistical supply chain design for bioeconomy applications. **Biomass and Bioenergy**, V.66, p. 60-69, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.036>. Acesso em: mar. 2020.

CORTEZ, L. A. B.; BAJAY, S. V.; BRAUNBECK, O. Uso de resíduos agrícolas para fins energéticos: o caso da palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 01, p. 66-81, jan./jun. 1999.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Unicamp, 2008.

DERAL – Departamento de Economia Rural. Primeira Estimativa da Safra Verão 2020/21. Boletim Semanal – 17/2020. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-08/boletim_semanal_17_deral_28_agosto_2020.pdf. Acesso em: set. 2020.

DIAS, J. M. S. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2018**: Ano Base 2017. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2017. p. 292.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019**: Ano Base 2018. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2018. p. 292.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2020**: Ano Base 2019. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2020. p. 292.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2007**: Ano base 2006. Ministério de Minas Energia (MME). Rio de Janeiro, 2007. p. 60.

EPE. **Plano Decenal de Energia 2027**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/boletins-de-energia>. Acesso em: set. 2019.

EPE. Nota Técnica DEA 15/14. Inventário Energético de Resíduos Rurais. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, 2014.

EPE. Nota Técnica PR 04/18, **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte de 2050**. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf.

Acesso em: out. 2019.

FORSTER-CARNEIRO, T.; BERNI, M. D.; *et al.* Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil **Resources, Conservation and Recycling**, v. 77, Ago, p. 78-88, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.007>. Acesso em: set. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Agencia IBGE – Notícias. Produção Agrícola**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/26538-safra-deste-ano-deve-superar-recorde-de-2019-e-atingir-243-1-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: set. 2020.

IPEA. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012. p. 134.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The Possibility of Organo-Mineral Fertilizer Production from Sewage Sludge. **Waste and Biomass Valorization**, v.8, p. 17811-1791, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9805-9>. Acesso em: set. 2019.

LIMA, E.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. **Caracterização dendroenergética de árvores de Eucalyptus benthamii**. 2011. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.31, n.65, p.09-17, 2011. Disponível em: DOI: [10.4336/2011.pfb.31.65.09](https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.65.09). Acesso em: out. 2020.

LIMA, M. T. S. L.; SOUZA, M. C.; FLORES, T. S.; *et al.* Sobre a Situação Energética Brasileira: De 1970 a 2030. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, Santa Maria**, v. 37 Ed. Especial UFVJM, 2014, p. 06–16.

MARIANI, L. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil**. Tese de Doutorado – UNICAMP, Campinas, SP, 2018.

MATA- ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 412-427, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.039>. Acesso em: mar. 2020.

McKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.

MMA; PNUD. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. São Paulo: 2010. Disponível em: https://mma.gov.br/estruturas/164/publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf. Acesso em: set. 2019.

MME. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Agosto / 2020**. Ministério de Minas e Energia. rev. 01. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/239673/1059011/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+EI%C3%A9trico+-+Ago-2020.pdf/8b16f6f7-b52f-3df8-3393-308efcbb1bb4>. Acesso em: out. 2020.

MME. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Julho / 2020**. Ministério de Minas e Energia. rev. 01. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/239673/1059011/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+EI%C3%A9trico+-+Ago-2020.pdf/8b16f6f7-b52f-3df8-3393-308efcbb1bb4>. Acesso em: out. 2020.

MORAES, S.L.; MASSOLA, C.P.; SACCOCCIO, E. M.; et al, Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT - Tecnologia e Inovação** v.1, n.4, abr. p. 58 - 73, 2017.

MOURA, P. R. S.; DALPONT, G.; MICHELS, F. B. Identificação e quantificação do potencial energético dos resíduos agrícolas disponíveis na região sul do Brasil. In: **V Congresso Brasileiro De Carvão Mineral**, 2017, Criciúma, SC. Anais... 2017.

NOGUEIRA, L.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

NONES, D. L. **Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC. p. 124. 2014.

OLIVEIRA, L. A. G. **Dejetos suínos: qualidade, utilização e o impacto ambiental**. 2011. 54 f. Disciplina Seminários Aplicados (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2009.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestor e estimativa da produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2005. 8 p. (EMBRAPA-CNPSA. Comunicado técnico.

OLIVEIRA, S. V. W. B.; FERREIRA, A. H.; OLIVEIRA, M. M. B. Aproveitamento de resíduos para geração de energia: ecoeficiência e sustentabilidade. In: **Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial E Meio Ambiente**, 2016, São Paulo, SP: ISSN: 2359-1048, 2016. p. 1–17. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/197.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. de O. Utilização de Resíduos Agro-Industriais em Processos Biotecnológicos como Perspectiva de Redução de Impacto Ambiental. In: **Journal of Technology Management & Innovation**, 2007, v. 2, p. 118 - 127.

RAMOS e PAULA, L. E. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000200012>. Acesso em: out. 2020.

RAO, J.; WATABE, M.; STEWART, T. A.; *et al.* Pelleted organo-mineral fertilizers from composted pig slurry solids, animal wastes and spent mushroom compost for amenity

grasslands. **Waste Management**, v.27, n.9, p.1117-1128, 2007. Disponível em:
Disponível em: [10.1016/j.wasman.2006.06.010](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.06.010). Acesso em: mai. 2019.

ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; CRUZ, A. J. G. **Avaliação do potencial energético de resíduos agroindustriais provenientes de diferentes regiões brasileiras**. Engevista, v. 19, n. 1, p. 217-235, 2017.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Industrial uses of biomass energy: the example of Brazil**. London: Taylor & Francis, 2000

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia e Biorrefinaria. Cana-de-açúcar & Espécies Florestais. 1. ed. Viçosa: UFV, p. 551, 2013.

SCARLAT, N; BLUJDEA, V.; DALLEMAND, J. F. Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania. **Biomass and Bioenergy**, v.35, Issue 5, p.1995-2005, 2011.

SEAB. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/>. Acesso em: 28 de set, 2020.

SENAI/PR. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná**. Curitiba, 2016. p. 144, Disponível em:
<https://www.sistemafiep.org.br/relacoes-internacionais/uploadAddress/Biogas.pdf>.
Acesso em: mar. 2020.

SOUZA, S. N. M. de; SORDI, A.; OLIVA, C. A. Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná: 4º Encontro de Energia no Meio Rural. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 4. 2002, Campinas. Anais eletrônicos...

TOLMASQUIM, M. T. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. EPE: Rio de Janeiro, 2016. p. 417.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. 2007, n.79, pp.47-69. ISSN 1980-5403.
<https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>. Acesso em: set. 2019.

UFPB – Universidade Federal da Paraíba. **Projeto de criação do CEAR Centro de Energias Alternativas e Renováveis**. 2011. Disponível em:

<http://www.cear.ufpb.br/arquivos/resolucoes/Minuta de Projeto de Criação do CE AR.pdf> Acesso em: set. 2019.

VARDANEGA, R.; PRADO, J. M.; MEIRELES, M. A. A. Adding value to agri-food residues by means of supercritical technology. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 96, Jan. p. 217-227, 2015.

YOSHIKAWA K., TANAKA T., FURUSAWA C., *et al.* **Comprehensive phenotypic analysis for identification of genes affecting growth under ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae***. FEMS Yeast Research, v. 9 Issue 1, 2009. p. 32-44. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00456.x>. Acesso em: set. 2020.

ZAMBRZYCKI, G. C. **Potencial Energético de Biomassas Residuais e Atributos de Solos em Ambientes Agrícolas e Florestais**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, 2018.