

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**SELIZÂNGELA PEREIRA DE REZENDE**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO DA BIOELETRICIDADE NA  
MICRORREGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DE GOIÁS**

Ilha Solteira

2017

**SELIZÂNGELA PEREIRA DE REZENDE**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO DA BIOELETRICIDADE NA  
MICRORREGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DE GOIÁS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Conhecimento: Ciências Térmicas

**Orientador:** Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R467a Rezende, Selizângela Pereira de.  
Avaliação do potencial de expansão da bioeletricidade na microrregião sudoeste do estado de Goiás / Selizângela Pereira de Rezende. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
105 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2017

Orientador: Ricardo Alan Verdú Ramos  
Inclui bibliografia

1. Biomassa. 2. Aproveitamento de resíduos. 3. Potencial energético.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO DA BIOELETRICIDADE NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DE GOIÁS**

**AUTORA: SELIZANGELA PEREIRA DE REZENDE**

**ORIENTADOR: RICARDO ALAN VERDU RAMOS**

**COORIENTADOR: NEWTON LUIZ DIAS FILHO**

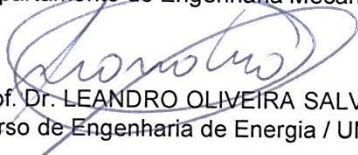
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA MECÂNICA, área: CIÊNCIAS TÉRMICAS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RICARDO ALAN VERDU RAMOS  
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. JOAO BATISTA CAMPOS SILVA  
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. LEANDRO OLIVEIRA SALVIANO  
Curso de Engenharia de Energia / UNESP - Câmpus Experimental de Rosana

Ilha Solteira, 28 de abril de 2017

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Lizena Pereira Batista Rezende e Selismar José de Rezende, ao meu esposo, Cleidemar da Silva Martins, e à minha irmã, Edilane Pereira Rezende.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus.

À minha família que sempre me incentivou a encarar novos desafios, inclusive esse, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Ao meu esposo, Cleidemar da Silva Martins, que compreendeu a minha ausência nas inúmeras horas, nos finais de semana, e nas noites que me dediquei a este trabalho.

Ao Centro Universitário de Mineiros - UNIFIMES, que sempre apoiou e permitiu que eu pudesse dividir o tempo de trabalho com os afazeres da Pós-Graduação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Alan Verdú Ramos que, além das valorosas orientações, sempre foi paciente, compreensivo e dedicado durante os dois anos de realização deste trabalho.

Aos Profs. Drs. Cassio Roberto Macedo Maia e Emanuel Rocha Woiski, pelas horas de discussão que contribuíram para que concluísse esse trabalho com êxito.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Prof. Dr. José Luiz Gasche, pela ajuda, apoio e incentivo demonstrado durante o período de desenvolvimento do presente trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a avaliação do potencial de expansão da bioeletricidade na microrregião sudoeste do estado de Goiás, com o objetivo de conhecer a quantidade disponível, a localização geográfica do potencial energético e a potência elétrica na conversão de energia da biomassa residual agrícola, pecuária e silvicultural. A metodologia adotada foi uma pesquisa com dados anuais brutos da produção no Sistema Estadual de Geoinformação Goiás (SIEG), seguida da aplicação de equações encontradas na literatura para determinar as quantidades de resíduos, e estimar a produção de energia (TJ) e a potência elétrica (MW) para a microrregião estudada, considerando diferentes cenários. Dentre os dezesseis municípios da microrregião sudoeste do estado de Goiás, os que mais se destacaram, em termos de produção de biomassa, potencial energético e potência elétrica, foram Rio Verde, Jataí, Mineiros e Montividiu. Ao analisar o potencial energético residual, nota-se que a cultura da soja obteve o valor significativo de 38 mil TJ para situação tecnológica da combustão direta, sendo este valor superior ao bagaço da cana-de-açúcar. A biomassa residual da soja está disponível na microrregião sudoeste do estado de Goiás no período de entressafra das usinas sucroalcooleira, podendo favorecer o processo de cogeração de energia. Os demais tipos de resíduos apresentaram valores menores do que os da cultura da soja, porém significativos para o aproveitamento energético.

**Palavras-Chaves:** Biomassa. Aproveitamento de resíduos. Potencial energético.

## ABSTRACT

This work presents a study on the evaluation of the bioelectricity expansion potential in the southwest microregion of the state of Goiás, aiming to know the available quantity, the geographic location of the energy potential and the electric power in the energy conversion of the agricultural residual biomass, Livestock and silvicultural. The methodology used was a research with gross annual production data in the State Geographic Information System (SIEG), followed by the application of equations found in the literature to determine the waste quantities, and to estimate the energy production (TJ) and the electric power (MW) for the studied microregion, considering different scenarios. Among the eighteen municipalities in the southwest microregion of the state of Goiás, Rio Verde, Jataí, Mineiros and Montividiu were the most prominent in terms of biomass production, energy potential and electric power. When analyzing the residual energy potential, it is noticed that the soybean crop obtained the significant value of 38 thousand TJ for technological situation of the direct combustion, being this value superior to the bagasse of the sugar cane. Residual biomass of soybean is available in the southwestern micro region of the State of Goiás during the off-season of the sugar-alcohol plants, which may favor the energy cogeneration process. The other types of residues had lower values than those of the soybean crop, but were significant for the energy utilization.

**Keywords:** Biomass. Waste utilization. Energy potential.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo mundial de energia primária.....	17
Figura 2 - Geração mundial de eletricidade por fonte energética.....	18
Figura 3 - Variação da oferta de energia em 2015/2014. ....	19
Figura 4 - Participação de fontes renováveis em algumas matrizes energéticas. ....	19
Figura 5 - Oferta interna de energia na matriz energética brasileira. ....	20
Figura 6 - Variação do consumo final de energia por setor 2015/2014. ....	21
Figura 7 - Oferta interna de energia na matriz elétrica brasileira.....	21
Figura 8 - Estimativa do consumo final de energia por setor no Brasil em 2024. ....	23
Figura 9 - Distribuição dos empreendimentos geradores de eletricidade em Goiás. ....	24
Figura 10 - Constituição morfológica da cana-de-açúcar.....	28
Figura 11 - Mapeamento da cana-de-açúcar no Brasil. ....	30
Figura 12 - Percentual de área total de cana-de-açúcar plantada por Unidade da Federação na Safra 2015/2016.....	30
Figura 13 - Estrutura morfológica da planta do milho. ....	32
Figura 14 - Produção de milho por regiões do Brasil.....	33
Figura 15 - Mapa da distribuição da produção agrícola do milho (safra + safrinha) no Brasil. ....	34
Figura 16 - Estrutura morfológica da planta do arroz. ....	36
Figura 17 - Mapa da distribuição da produção agrícola do Arroz no Brasil. ....	37
Figura 18 - Morfologia da planta do sorgo.....	38
Figura 19 - Mapa da distribuição da produção agrícola do sorgo no Brasil.....	40
Figura 20 - Características morfológicas da soja.....	41
Figura 21 - Produção de soja por regiões do Brasil.....	41
Figura 22 - Mapa da distribuição da produção agrícola da soja no Brasil. ....	42
Figura 23 - Características morfológicas da planta do feijão. ....	43
Figura 24 - Produção de feijão por regiões do Brasil. ....	44
Figura 25 - Mapa da distribuição da produção agrícola do feijão no Brasil. ....	45
Figura 26 - Evolução do rebanho bovino brasileiro. ....	48
Figura 27 - Evolução do rebanho bovino brasileiro por região. ....	48
Figura 28 - Efetivo de rebanho e abate bovino por Estado, em 2015. ....	49
Figura 29 - Rebanho de suíno brasileiro por grande região (efetivo em cabeças, em 2015). ..	50

Figura 30 - Rebanho de suíno de Goiás por mesorregião (efetivo em cabeças, em 2015).....	52
Figura 31 - Efetivo de galináceos e cabeças abatidas, nas Unidades da Federação, em 2015.	53
Figura 32 - Fluxograma da utilização de diversas fontes de biomassa. ....	57
Figura 33 - Localização das usinas sucroenergéticas do Estado de Goiás. ....	61
Figura 34 - Localização e descrição das usinas sucroenergéticas da Microrregião Sudoeste de Goiás. ....	61
Figura 35 - Esquema de um biodigestor. ....	64
Figura 36 - Fluxograma da produção de briquetes e pellets. ....	66
Figura 37 - Macrorregiões do estado de Goiás. ....	68
Figura 38 - Microrregiões do estado de Goiás. ....	69
Figura 39 - Produção de arroz em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	81
Figura 40 - Produção de milho em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	82
Figura 41 - Produção de sorgo em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	83
Figura 42 - Produção de cana-de-açúcar em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual (Bagaço) na microrregião sudoeste de Goiás. ....	85
Figura 43 - Produção de cana-de-açúcar em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual (Palhiço) na microrregião sudoeste de Goiás. ....	86
Figura 44 - Produção de soja em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	88
Figura 45 - Produção de feijão em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	89
Figura 46 - Produção de eucalipto em 2015 e potencial energético de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	91
Figura 47 - Produção de suínos em 2015 na microrregião sudoeste de Goiás. ....	92
Figura 48 - Potencial energético e potência elétrica em 2015, dos resíduos pecuários da microrregião sudoeste do Estado de Goiás. ....	93
Figura 49 - Potencial energético com a produção de briquetes. ....	94
Figura 50 - Potencial energético para cada município considerando todas as biomassas disponíveis. ....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da fibra (bagaço) e do caldo da cana-de-açúcar colhida sem queima. ....	29
Tabela 2 - Valores médios das características dos resíduos de milho. ....	35
Tabela 3 - Características dos resíduos de colheita do arroz. ....	37
Tabela 4 - Características do resíduo de soja. ....	43
Tabela 5 - Características do resíduo de feijão. ....	45
Tabela 6 - Características dos resíduos de colheita florestal do gênero Eucalyptus. ....	47
Tabela 7 - Representatividade de Goiás na suinocultura do Brasil, em 2015. ....	51
Tabela 8 - Usinas sucroalcooleiras no estado de Goiás, distribuídas por Microrregião. ....	60
Tabela 9 - Composição do biogás. ....	64
Tabela 10 - Levantamento de produção agrícola e biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás. ....	73
Tabela 11 - Produção de biomassa residual animal. ....	74
Tabela 12 - Levantamento da produção de biogás na microrregião sudoeste de Goiás. ....	74
Tabela 13 - Parâmetros para a biomassa residual nos cálculos do potencial energético e potência elétrica. ....	78
Tabela 14 - Potencial energético total por produto agrícola da microrregião sudoeste de Goiás. ....	94
Tabela 15 - Variação da disponibilidade de biomassa residual ao decorrer do ano de 2015. ...	96

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABIB	Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável
ABSCS	Associação Brasileira dos Criadores de Suínos
ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COP 21	21º Conferência das Partes
EIA	<i>Energy Information Administration's</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMB	Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Massa Seca
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
UHE	Usinas Hidrelétricas
UTE	Usinas Termoelétricas

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos Latinos

<i>Pot</i>	Potência
<i>P</i>	Produção da safra
<i>Mu</i>	Massa úmida
$\Delta t$	Disponibilidade dos resíduos em horas anuais
<i>PCI</i>	Poder calorífico inferior
<i>f</i>	Fatores
$\eta$	Eficiência
<i>E</i>	Potencial energético
<i>w</i>	Umidade da biomassa residual úmida
<i>hl</i>	Entalpia da vaporização da água em condições padrão a 25°C

### Subscritos

<i>e</i>	Referente à eletricidade
<i>Res</i>	Referente aos resíduos
<i>Conv</i>	Referente à conversão de energia
<i>Col</i>	Referente à produção colhida na safra
<i>Apr</i>	Referente ao aproveitamento dos resíduos
<i>n</i>	Índice de referência ao tipo de biomassa
<i>bu</i>	Referente a valores que consideram a umidade, ou seja, base úmida
<i>bs</i>	Referente a valores sem umidade, ou seja, base seca
<i>Vágua</i>	Vaporização da água

## PREFÁCIO

Este trabalho está inserido dentro das linhas de pesquisa do Laboratório Associado do Instituto de Pesquisa em Bioenergia (IPBEN) da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP).

O tema abordado é o potencial de expansão da bioeletricidade, a partir do aproveitamento de resíduos agrícolas, pecuários e silvicultural. Para avaliar a expansão da bioeletricidade na microrregião sudoeste de Goiás, verificou-se a produção, a disponibilidade, o potencial energético e a potência elétrica das biomassas residuais, considerando diferentes tecnologias de conversão.

No Capítulo 1 do presente estudo é feita uma introdução sobre a participação das fontes renováveis, com foco na biomassa, nas matrizes energética e elétrica mundial, brasileira e no estado de Goiás, com foco na Microrregião Sudoeste. Ao final do capítulo são apresentados os objetivos do presente trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a caracterização da produção agropecuária, agroindustrial e silvicultural e de seus respectivos resíduos na microrregião sudoeste de Goiás. Foram selecionados seis produtos agrícolas (arroz, cana-de-açúcar, milho, sorgo, soja e feijão) e três produtos da pecuária (bovino, suíno e aves), sendo que no setor da silvicultura será considerada apenas a cultura do eucalipto.

O Capítulo 3 é dedicado à geração de bioeletricidade com biomassa. Nele são descritos o sistema de cogeração, um histórico da legislação para comercialização de excedente de energia, os tipos de tecnologias de processo de conversão de energia, dentre eles a combustão direta, a digestão anaeróbica e briquetes e pellets, os quais são extremamente importantes para obtenção do potencial de expansão da bioeletricidade.

No Capítulo 4 é feita uma descrição da metodologia utilizada no estudo. Nele é apresentada a caracterização da área de estudo, a obtenção da produção e disponibilidade da biomassa residual, os cenários com as premissas a serem seguidas, as formulações para os cálculos de potencial energético e potência elétrica, e, por fim, o potencial de incremento para expansão da bioeletricidade.

No Capítulo 5 é apresentada a análise dos resultados através do mapeamento, com intuito de mostrar a localização da biomassa residual. As figuras em formato de gráficos trazem o potencial energético e potência elétrica, conforme as situações tecnológicas.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais deste estudo, demonstrando que é possível a expansão da bioeletricidade na microrregião sudoeste de Goiás, bem como são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, é apresentada uma lista de referências bibliográficas que alicerçaram este trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	16
1.2	MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA MUNDIAL .....	16
1.3	MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA.....	18
1.4	MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA DO ESTADO DE GOIÁS .....	23
1.5	OBJETIVOS DO TRABALHO .....	25
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, AGROINDUSTRIAL E SILVICULTURAL E DE SEUS RESPECTIVOS RESÍDUOS NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS.....</b>	<b>27</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESÍDUOS AGRÍCOLAS .....	28
2.1.1	Cana-de-Açúcar .....	28
2.1.2	Milho .....	31
2.1.3	Arroz .....	35
2.1.4	Sorgo .....	38
2.1.5	Soja.....	40
2.1.6	Feijão .....	43
2.2	CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESÍDUOS DA SILVICULTURA .....	46
2.2.1	Eucalipto.....	46
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESÍDUOS PECUÁRIOS.....	47
2.3.1	Bovinos.....	47
2.3.2	Suínos.....	49
2.3.3	Aves.....	52
<b>3</b>	<b>GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE COM BIOMASSA.....</b>	<b>55</b>
3.1	SISTEMAS DE COGERAÇÃO.....	55
3.2	LEGISLAÇÃO PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EXCEDENTE.....	56
3.3	APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA.....	57
3.3.1	Processo de Conversão por Combustão Direta.....	58
3.3.2	Processo de Digestão Anaeróbia.....	63
3.3.3	Briquetes e Pellets.....	65
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>68</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	68



4.2 DETERMINAÇÃO DAS BIOMASSAS DISPONÍVEIS PARA GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS .....	69
<b>4.2.1 Disponibilidade da Biomassa da Cana-de-Açúcar .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.2 Disponibilidade da Biomassa de Eucalipto .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2.3 Disponibilidade da Biomassa de Resíduos Agrícolas .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2.4 Disponibilidade da Biomassa de Resíduos Pecuários.....</b>	<b>73</b>
4.3 POTENCIAL DE AUMENTO DA BIOELETRICIDADE NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS .....	74
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>80</b>
5.1 BIOMASSA RESIDUAL DO ARROZ - SITUAÇÃO 1 .....	80
5.2 BIOMASSA RESIDUAL DO MILHO - SITUAÇÃO 1 .....	81
5.3 BIOMASSA RESIDUAL DO SORGO - SITUAÇÃO 1 .....	83
5.4 BIOMASSA RESIDUAL DA CANA-DE-AÇÚCAR - SITUAÇÃO 1 .....	84
5.5 BIOMASSA RESIDUAL DA SOJA - SITUAÇÃO 1 .....	87
5.6 BIOMASSA RESIDUAL DO FEIJÃO - SITUAÇÃO 1 .....	88
5.7 BIOMASSA RESIDUAL DO EUCALIPTO - SITUAÇÃO 1 .....	89
5.8 PRODUÇÃO DE BIOGÁS - SITUAÇÃO 2 .....	91
5.9 PRODUÇÃO DE BRIQUETES - SITUAÇÃO 3 .....	93
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

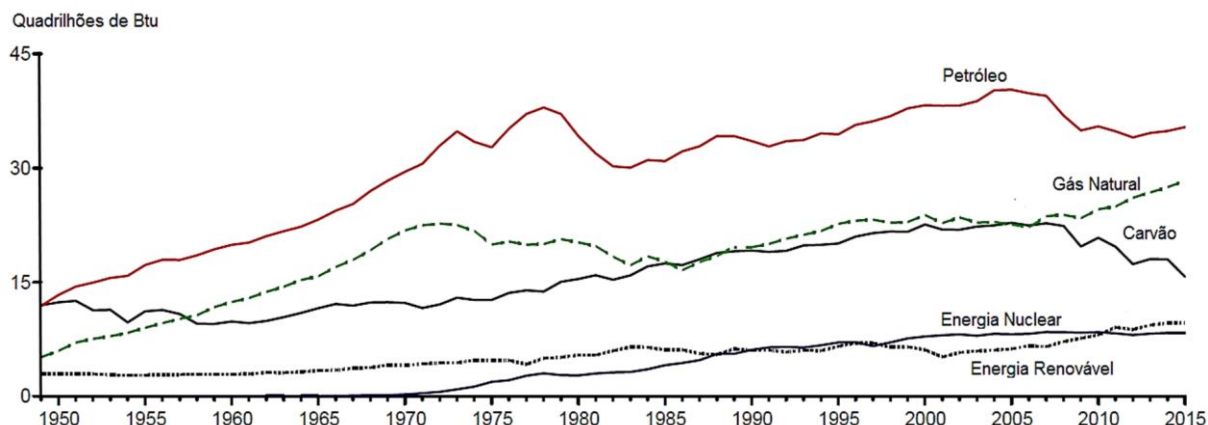
A seguir serão apresentadas algumas informações referentes à participação das fontes renováveis, com foco na biomassa, nas matrizes energética e elétrica mundial, brasileira e no estado de Goiás, com foco na Microrregião Sudoeste, objeto de estudo da presente dissertação.

## 1.2 MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA MUNDIAL

Os principais modelos de recursos energéticos e de uso de energia apresentam-se prejudiciais para o bem-estar da humanidade ao longo prazo. A integridade dos sistemas naturais, está em risco por causa da mudança climática causada pelas emissões de gás na atmosfera. Vale ressaltar, que os serviços básicos de energia não estão disponíveis a um terço das pessoas do mundo, sendo essencial a produção energia para um desenvolvimento sustentável e equitativo. As ameaças à segurança energética nacionais e globais são ainda mais acirradas pelo custo crescente da energia e a competição dos recursos energéticos distribuídos irregularmente. As matrizes energética e elétrica mundial apontam o caminho escolhido pelas nações, ou seja, a busca da produção e consumo cada vez maior de energias renováveis (FAPESP, 2010).

A matriz energética mundial contempla as fontes de energia renováveis e não renováveis, tendo como principal fonte de consumo os combustíveis fósseis, em especial o petróleo e o gás natural, como demonstrado na Figura 1 (EIA, 2016). Devido à emissão de gases poluentes liberados no consumo de combustíveis fósseis, a energia renovável vem ganhando espaço nos países emergentes, trazendo o conceito de “Energia Limpa” (EPE, 2015).

Figura 1 - Consumo mundial de energia primária.



Fonte: EIA (2016).

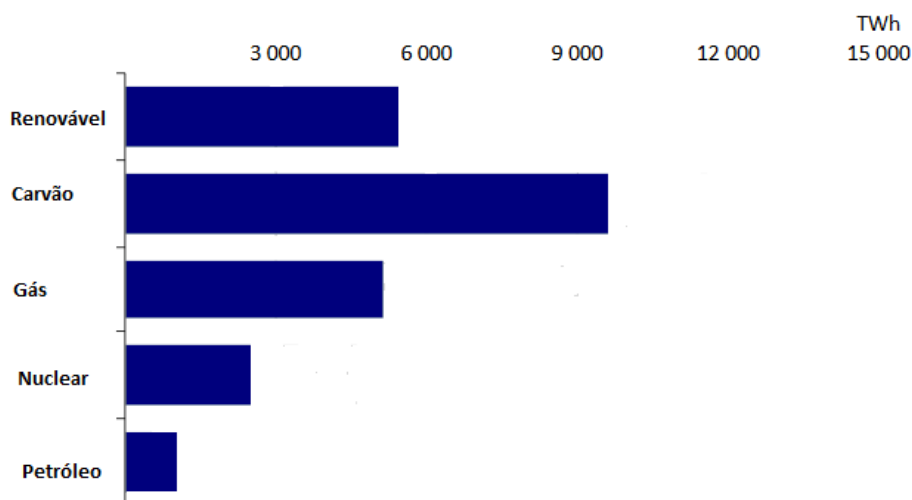
Quando avaliamos a matriz energética mundial, as fontes renováveis representam uma pequena porcentagem do total de energia produzida e consumida em países industrializados, sendo que as nações consideradas em desenvolvimento têm um índice ainda menor. Em termos globais, as fontes energéticas como carvão, gás natural e petróleo têm maior participação na matriz energética. O desenvolvimento dos setores industrial, transportes, residencial e comercial contribui para que essas fontes de energia fósseis permaneçam com uma grande participação na matriz energética mundial (ANEEL, 2008).

De acordo com Schutz, Massuquetti e Alves (2013), a matriz energética mundial vem-se modificando diante do impasse da conciliação do desenvolvimento com a sustentabilidade. Uma das alternativas seria o uso de uma matriz energética mais limpa, com suprimento de energia baseado em fontes alternativas com menor impacto ambiental. Neste sentido, busca-se adicionar à matriz energética mundial as fontes renováveis.

A matriz de energia elétrica mundial também é dependente de combustíveis fósseis, sendo que, atualmente, o carvão mineral é a maior fonte para produção de energia elétrica, seguido do gás natural. A participação das fontes renováveis vem ganhando espaço ao longo dos anos, impulsionada pelo apoio político, sendo responsáveis por grande parte da produção mundial de energia (IEA, 2015). A Figura 2 apresenta a geração de eletricidade mundial no ano de 2014.

As combinações de políticas fiscais e políticas regulatórias locais, nacionais e internacionais podem acelerar consideravelmente a disseminação das eficiências energéticas das fontes renováveis existentes, sendo a solução para o desenvolvimento sustentável (FAPESP, 2010).

Figura 2 - Geração mundial de eletricidade por fonte energética.



Fonte: IEA (2015).

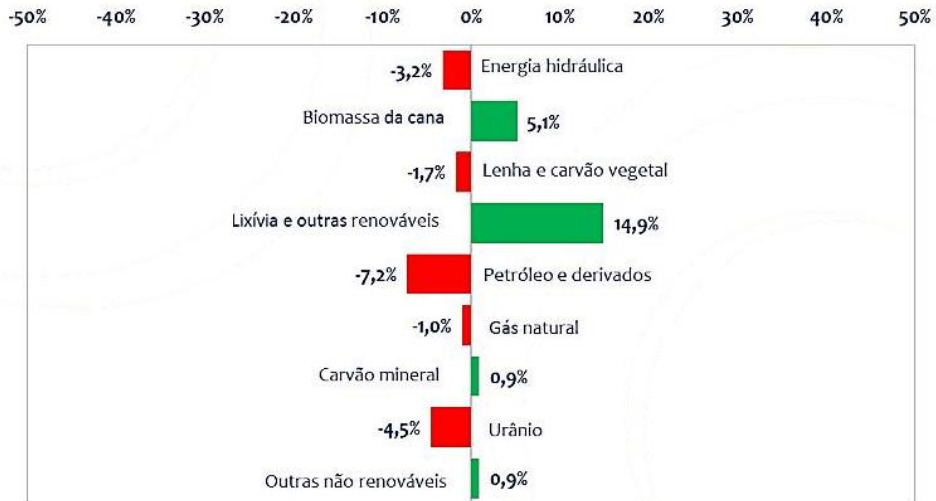
Segundo a U.S. *Energy Information Administration's* (EIA, 2015), na COP 21, realizada no dia 12 de dezembro de 2015, em Paris, foi proposto de um novo acordo global que busca combater os efeitos das mudanças climáticas, bem como reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Um dos pontos abordados na COP 21 foi a produção e a utilização de fontes não renovável (carvão e petróleo), o uso dessas fontes, representam dois terços das emissões mundiais de gases que contribuem com efeito de estufa. Um dos compromissos assumidos pelos países na COP 21 foi a redução dessas emissões, preservando o crescimento da economia mundial; aumentando a segurança energética no mundo e oferecendo serviços de energia modernos aos milhares de milhões de pessoas que não têm acesso aos mesmos. Portanto, as fontes renováveis se tornarão a principal fonte para geração de eletricidade (solar, eólica e biomassa) em 2030, visto que o investimento médio anual nas energias renováveis não hidroelétricas aumentaria 80% em relação aos níveis constatados desde 2000.

### 1.3 MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA

Segundo o Balanço Energético Nacional elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), a disponibilidade de energia no país em 2015 atingiu 299,2 Mtep, registrando uma redução de 2,1% em relação ao ano de 2014. Esta redução pode ser explicada pelo comportamento da oferta interna de petróleo e derivados, que reduziu 7,2% no período em decorrência do superávit nos fluxos de exportação e importação destas fontes energéticas (Figura 3). Outro fator que contribuiu para a queda da oferta interna bruta foi o

enfraquecimento da atividade econômica em 2015, nesse ano o PIB nacional reduziu 3,8% comparado a 2014.

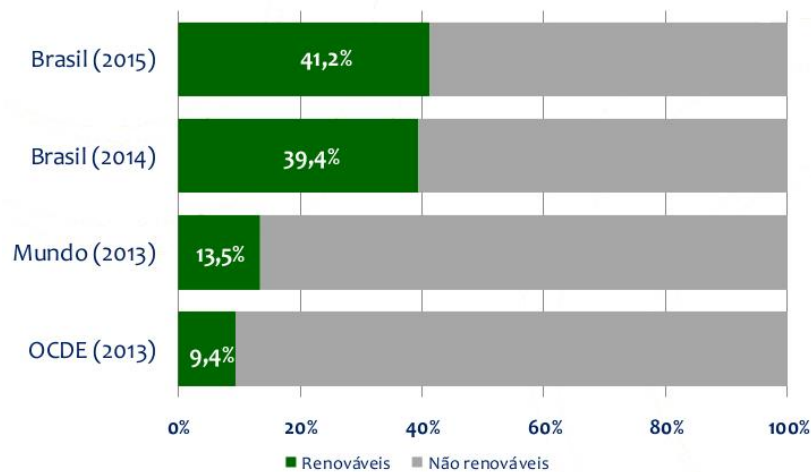
Figura 3 - Variação da oferta de energia em 2015/2014.



Fonte: EPE (2016).

Devido à redução da oferta de combustíveis fósseis (petróleo e derivados) na matriz energética brasileira, foi aumentada a participação das fontes renováveis. A Figura 4 mostra a participação de fontes renováveis em algumas matrizes energéticas (brasileira, mundial e OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). Verifica-se que a taxa de participação das fontes renováveis no Brasil em 2015 foi de 41,2 %, o que representa a mais alta do mundo, com um crescimento de 7,2 % em relação ao ano anterior, devido à queda da oferta interna de petróleo e derivados (EPE, 2016).

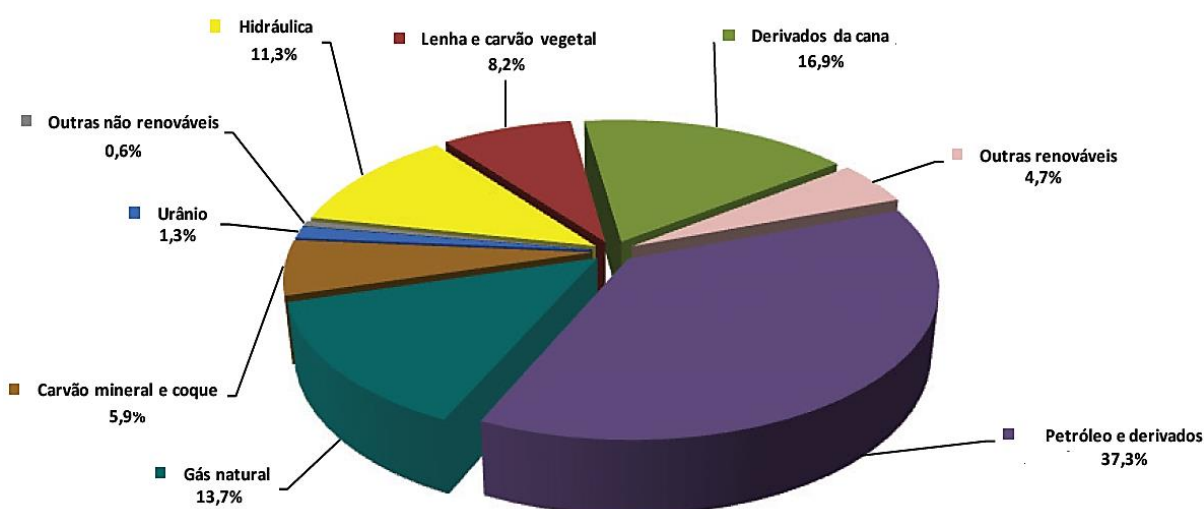
Figura 4 - Participação de fontes renováveis em algumas matrizes energéticas.



Fonte: EPE (2016).

Segundo o Ministério de Minas - MME e Energia e a Empresa de Pesquisa Energética-EPE (2016), o crescimento significativo da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira devido à expansão das usinas termoeletricas, tendo como principal fonte de matéria-prima a biomassa do bagaço da cana-de-açúcar (cerca de 16,9%), sendo a maior parte restante constituída pela biomassa da indústria de papel e celulose (lixívia, lenha e resíduos florestais), conforme mostra a Figura 5.

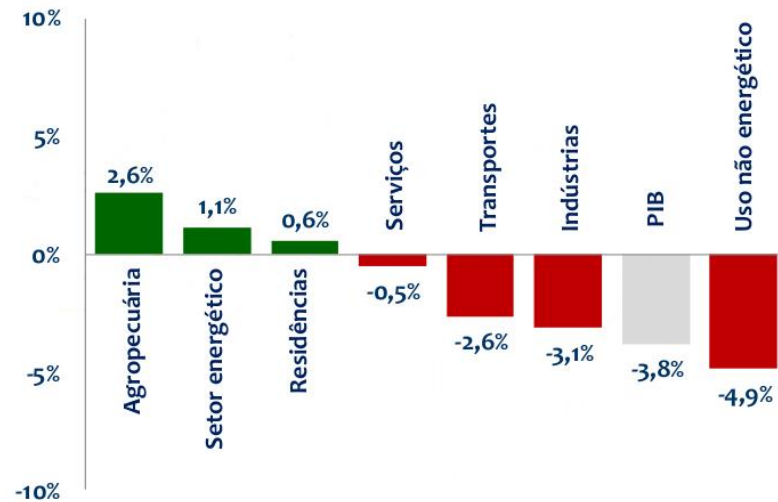
Figura 5 - Oferta interna de energia na matriz energética brasileira.



Fonte: MME, EPE (2016).

O consumo final de energia recuou 1,9% no ano de 2015 em relação ao ano anterior, destaque para a queda significativa de -3,1% no consumo do setor industrial e de -2,6% no setor de transportes como apresentado na Figura 6 (EPE, 2016).

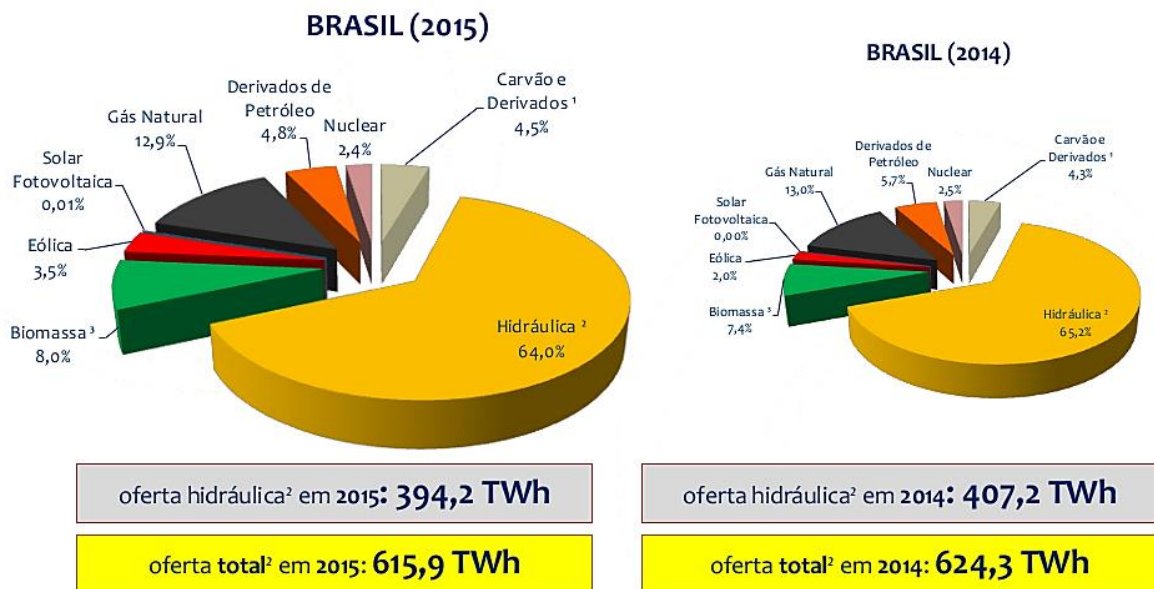
Figura 6 - Variação do consumo final de energia por setor 2015/2014.



Fonte: EPE (2016).

Em 2015 a oferta interna de energia elétrica também registrou um recuo de 8,4 TWh (1,3%) em relação a 2014. Um dos fatores que explica essa redução são as condições hidrológicas desfavoráveis nos últimos anos, reduzindo a energia hidráulica na oferta interna de energia elétrica, conforme mostra a Figura 7 (EPE, 2016).

Figura 7 - Oferta interna de energia na matriz elétrica brasileira.

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria<sup>2</sup> Inclui importação<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras fontes primárias.

Fonte: EPE (2016).

A capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil em 2015 (centrais de serviço público e autoprodutoras) atingiu 140.858 MW, havendo um aumento de 6.945 MW em relação ao ano de 2014. Nessa expansão das fontes renováveis da capacidade instalada, destacam-se as centrais hidráulicas, que colaboraram com 35,4%, enquanto as centrais térmicas contribuíram com 25,0% e as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 39,6% restantes da expansão de fontes renováveis da oferta interna de energia elétrica brasileira (EPE, 2016).

O consumo final de eletricidade no Brasil em 2015 registrou uma queda de 1,8% com relação ao ano de 2014. Os setores que contribuíram para esta redução foram o residencial com -0,7% e o setor industrial com -5,0% (EPE, 2016).

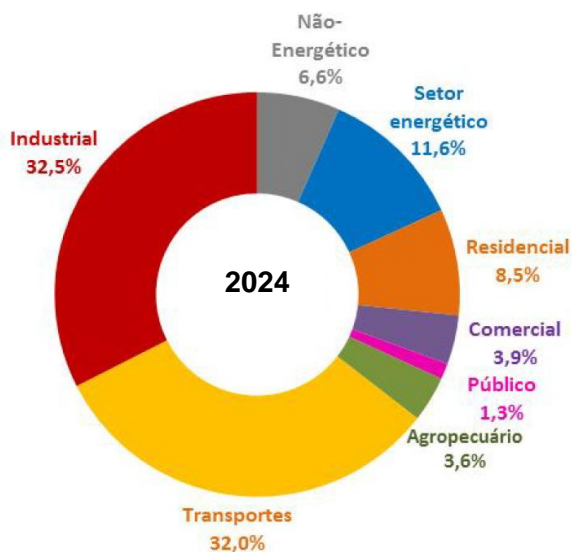
As perspectivas do setor energético brasileiro para os próximos anos são demonstradas pelo Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2024, elaborado pelo MME e EPE em dezembro de 2015. Esse plano mostra a expansão da demanda e oferta de diversos energéticos no período de 2015 a 2024. O PDE 2024 tem como objetivo colaborar com o planejamento do desenvolvimento do setor energético do país, considerando os seguintes conteúdos: cenário macroeconômico, setorial e crescimento demográfico do país (MME, EPE, 2015).

Os dados apresentados no PDE 2024 foram baseados em projeções para a oferta interna de energia que será de 399,5 milhões tep, com um consumo de energia de 353,5 milhões tep, sendo que a distribuição do consumo final de energia por setor está apresentada na Figura 8. Para a oferta interna de eletricidade as expectativas são de 940,8 TWh e o consumo de energia elétrica de 790,4 TWh. A matriz energética brasileira será constituída de 45,2% de fontes de energia renováveis, sendo que as fontes não renováveis de energia corresponderão a 54,8%. As perspectivas mostram que o Brasil passará a registrar um aumento da matriz energética, representando um total de quase 100 milhões tep em 2024, ou seja, aproximadamente 20% da produção total de energia no país (EPE, 2015).

Para elucidar os setores energético e não energético, apresentados na Figura 8, foram considerados os seguintes segmentos para o setor energético: estruturas de exploração de petróleo e gás natural, refinarias de petróleo, unidades produtoras de etanol, produção de biodiesel, coquearias, carvoarias, dutos de transporte e usinas de geração elétrica. O setor não-energético inclui derivados de petróleo e gás natural, que são utilizados para outros fins não energéticos, como os asfaltos, lubrificantes, solventes, fertilizante nitrogenados entre outros (EPE, 2015).



Figura 8 - Estimativa do consumo final de energia por setor no Brasil em 2024.



Fonte: EPE (2015).

Para a geração de energia elétrica com fontes renováveis, como eólica, PCH, termelétricas a biomassa e solar, é prevista uma expansão média anual de aproximadamente 10% da capacidade instalada total. Na expansão das termelétricas, o destaque é para as usinas térmicas a biomassa, tais como as movidas a resíduo de madeira (cavaco), e empreendimentos que utilizam resíduos do processamento industrial da cana-de-açúcar, principalmente o bagaço. Os estados que demonstram o potencial de expansão na geração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar são SP, GO, MG, MS e PR, sendo estes localizados próximos aos maiores centros consumidores de energia (MME, 2015).

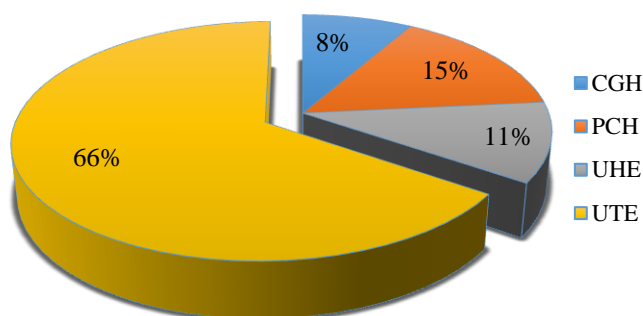
#### 1.4 MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA DO ESTADO DE GOIÁS

Segundo o Governo de Goiás em 2012 a oferta interna de energia foi de 12,32 milhões tep. Na matriz energética goiana predominam as fontes não renováveis com 52%, sendo que as fontes renováveis têm participação com 48%, destacando os produtos da cana-de-açúcar com 38,1%, seguido das hidrelétricas com 7,8%. Dessa forma, se analisarmos a proporção de fontes renováveis na matriz energética goiana em 2012, seria considerada alta e superior à média nacional (42,4%) e à média mundial (13,2%) do mesmo ano. Os setores com participação significativa no consumo da matriz energética de Goiás são: o setor de transporte com 46,6% do total; o setor industrial, com a participação de 19,9%; e o setor energético, com 19,7% (GOVERNO DE GOIÁS, 2015).

A Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento (SEGPLAN-GO), através do Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos (IMB), realizou uma pesquisa em maio de 2014 sobre as Intenções de Investimentos no Estado de Goiás até 2017. Nessa pesquisa, o terceiro setor com maior participação no total de investimentos previstos foi o sucroenergético, com 20 projetos, sendo 5 de implantação e 15 de ampliação, totalizando investimentos previstos de R\$ 6 bilhões. Os dados apresentados demonstram perspectivas de crescimento do setor sucroalcooleiro no estado, aumentando as áreas de cultivos, industriais, plantas de cogeração, entre outros. Esses investimentos possibilitam que o etanol e as termoelétricas (biomassa) avancem cada vez mais na matriz energética nacional, estimulando o crescimento de fontes renováveis (IMB, 2014).

O estado de Goiás possui um total de 145 empreendimentos em operação gerando energia elétrica, com capacidade instalada em torno 7.571 MW de potência, representando 7,26 % do total de capacidade instalada no Brasil. Estes parques geradores em operação são de origem hidráulica (constituídos pelas Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGH, com 12 empresas; Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH, com 22 empresas; e Usinas Hidrelétricas - UHE; com 16 empresas), e de origem térmica (Usinas Termelétricas - UTE, com 95 empreendimentos), sendo que a distribuição em percentual pode ser observada na Figura 9 (ANEEL, 2017).

Figura 9 - Distribuição dos empreendimentos geradores de eletricidade em Goiás.



Fonte: ANEEL (2017).

As principais fontes de combustível das Usinas Termelétricas localizadas em Goiás são o bagaço da cana-de-açúcar, lenha (reflorestamento e nativa), coque de petróleo, efluente gasoso e óleo diesel.

Na maior parte destas usinas termoelétricas ocorre a cogeração (geração simultânea de energia elétrica e térmica), num sistema integrado, a partir de uma única fonte primária,

complementando o sistema hidrelétrico, principalmente, na época em que os níveis dos reservatórios estão baixos.

Com o intuito de melhor planejar a distribuição da energia elétrica oriunda da cogeração, é interessante avaliar todas as tecnologias de conversão existentes, visando um melhor aproveitamento energético, bem como realizar estudos para a definição do local da implantação, diminuindo, assim, os gastos com linhas de transmissão em alta tensão.

Diante deste contexto, tem sido constante a busca por possibilidades de agregar novas oportunidades para cogeração de energia, seja através de reformas e modernização das plantas atuais, criação de novas plantas em locais estratégicos ou pelo aproveitamento de um maior número de fontes de biomassa.

## 1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

A partir da contextualização exposta anteriormente, a geração de energia por meio de fontes renováveis, juntamente com a expansão da produção agrícola, pecuária e silvicultura brasileira, torna-se importante a análise da viabilidade do aproveitamento energético de resíduos agropecuário, agroindustrial e silvicultural.

Vale ressaltar que a principal matéria prima da bioeletricidade no Brasil é o bagaço da cana-de-açúcar seguido da lixívia, devido a grande produção dessa cultura para a fabricação de etanol, e a silvicultura para produção de papel e celulose. Conseqüentemente, os resíduos destes setores trazem a independência energética destas indústrias. A partir das experiências destes setores com a bioeletricidade, verifica-se que é possível expandir essa energia para o mercado consumidor (venda de excedente).

Dessa forma, o aproveitamento dos resíduos da agropecuária, agroindustrial e silvicultural, torna-se interessante por possuir o potencial de aumento da bioeletricidade no país, sem a necessidade da expansão do uso de áreas para cultivo de biomassa ou supressão para a criação de reservatórios hídricos, minimizado os possíveis impactos ambientais gerado na produção de energia do país. Esses resíduos são subprodutos da agricultura, pecuária, silvicultura e de suas indústrias de transformação onde, na maioria das vezes, não há destinação determinada para esses resíduos.

Assim, o objetivo desta dissertação é avaliar o potencial da expansão da bioeletricidade na microrregião sudoeste do estado de Goiás.

Os objetivos específicos são:

- Identificar as principais fontes residuais na microrregião sudoeste do estado de Goiás.

- Avaliar o potencial energético e a potência elétrica que poderia ser gerada por fonte na microrregião sudoeste do estado de Goiás.
- Apresentar as principais rotas para o aproveitamento dos resíduos da agropecuária, agroindustrial e silvicultura na microrregião sudoeste do estado de Goiás.

## **2 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, AGROINDUSTRIAL E SILVICULTURAL E DE SEUS RESPECTIVOS RESÍDUOS NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS**

Neste capítulo se objetiva caracterizar a produção agropecuária, agroindustrial e silvicultural e de seus respectivos resíduos na microrregião sudoeste de Goiás.

Devido à imensa variedade de produção agropecuária, foram selecionados seis produtos agrícolas (arroz, cana-de-açúcar, milho, sorgo, soja e feijão) e têm produtos de setores da pecuária (bovino, suíno e aves), sendo que no setor da silvicultura será considerada apenas a cultura do eucalipto. Estes produtos foram escolhidos por haverem estudos com viabilidade no aproveitamento residual e por serem ofertados na microrregião sudoeste de Goiás.

As culturas de cana-de-açúcar e milho foram escolhidas por apresentarem extensas áreas plantadas e polos industriais que utilizam essas produções na região de estudo.

O arroz é uma cultura que concentra grande parte de sua produção no Rio Grande do Sul, porém vem conquistando espaço no estado de Goiás. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2015), projeta-se um aumento de 7,2% na produção nacional de arroz nos próximos 10 anos. O estado de Goiás está incluso nas Projeções do Agronegócio no Brasil para 2024/2025 na produção do grão de arroz. Esse seria um dos fatores para estudar essa cultura na região, outro fator é o uso energético de seus resíduos. A utilização da casca de arroz para a produção de energia (energia térmica e energia elétrica) é consolidada em várias partes do mundo, sendo interessante o estudo da viabilidade do uso da casca de arroz na Microrregião Sudoeste de Goiás.

O sorgo é uma cultura utilizada na Microrregião Sudoeste de Goiás apenas para o abastecimento dos centros de produção de alimentação animal, não havendo a utilização de seus resíduos para fins energéticos. Trata-se de uma cultura de ciclo curto que pode fornecer diversos produtos, como o grão, que mantém a alimentação animal, os colmos; do qual pode ser extraído o caldo para a produção de etanol; e o resíduo, para produção de energia. Por ser uma cultura de ciclo curto, ela pode ter até três plantios no ano.

Com relação à silvicultura, o plantio de eucalipto é expressivo em Goiás, sendo a maior parte da produção utilizada para atender as demandas de madeira para energia. Com a escassez de madeira oriunda de licenciamento ambiental e a regulamentação dos consumidores de madeira a ser autossuficiente, a microrregião sudoeste de Goiás vem expandindo a eucaliptocultura, com destaque para o município de Rio Verde. Os resíduos

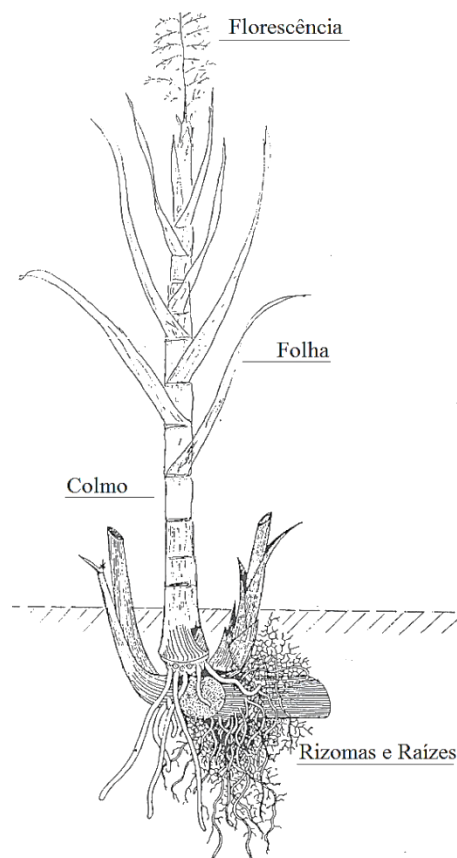
gerados durante na colheita florestal não são aproveitados, sendo importante estudar essa biomassa para agregá-la à produção de bioeletricidade.

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESÍDUOS AGRÍCOLAS

### 2.1.1 Cana-de-Açúcar

Segundo Oliveira (2012), a cana-de-açúcar é uma planta cuja origem presume-se que seja da Nova Guiné onde se encontra o maior número de plantação desse gênero. A cana-de-açúcar pertence à família das Poáceas e ao gênero *Saccharum*. Seu nome botânico é *Saccharum spp*, sendo constituída morfológicamente por duas partes: uma subterrânea, que são os rizomas e raízes, e a outra aérea, que são os colmos, folhas e flores, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Constituição morfológica da cana-de-açúcar.



Fonte: Oliveira (2012).

O tecido fundamental do colmo é chamado de parênquima ou tecido suporte, sendo que nele se encontram as células com a principal função de armazenar o caldo da planta. O componente fibroso, que dá sustentação ao colmo, tem um papel muito importante no processo industrial de extração do caldo e na cogeração de energia nas usinas, pois é ele que dá origem ao bagaço (OLIVEIRA, 2012), que é atualmente o único resíduo que vem sendo utilizado na microrregião sudoeste de Goiás, sendo importante, também, pesquisar o potencial energético adicional do palhico.

A composição química da cana depende da interação de vários fatores, tais como: variedade, clima, solo, adubação, tratos culturais, irrigação, sanidade da cultura, florescimento, sistema de despalha, intensidade do despolte, tempo decorrido da última colheita, condições e tempo de armazenamento, utilização de maturadores, dentre outros (OLIVEIRA, 2012). Mediante a tantas variáveis condicionantes, a Tabela 1 mostra apenas uma referência da composição química da cana-de-açúcar.

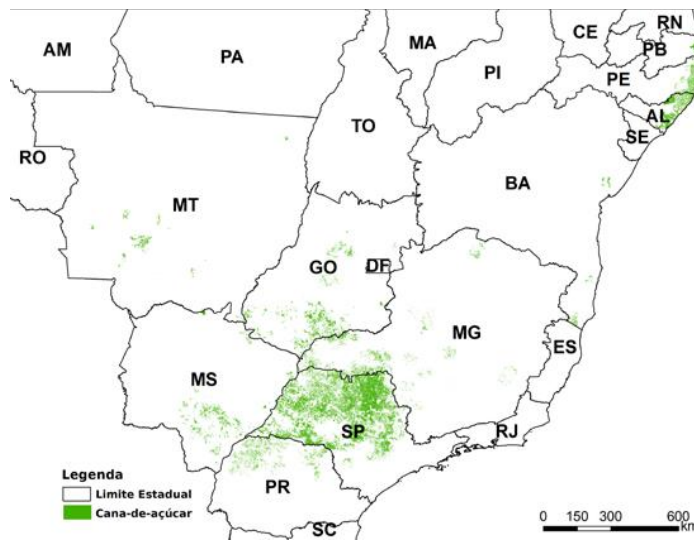
Tabela 1 - Composição química da fibra (bagaço) e do caldo da cana-de-açúcar colhida sem queima.

<b>Constituinte</b>	<b>Composição (%)</b>
<b>FIBRA (BAGAÇO)<sup>2</sup></b>	<b>10,0-16,0</b>
<b>Celulose<sup>1</sup></b>	4,5-7,2
<b>Hemicelulose<sup>1</sup></b>	2,5-4,0
<b>Lignina<sup>1</sup></b>	2,5-4,0
<b>Outros componentes<sup>1</sup></b>	0,5-0,8
<b>CALDO<sup>2</sup></b>	<b>84,0-90,0</b>
<b>Água<sup>2</sup></b>	75,0-82,0
<b>Sólidos solúveis<sup>2</sup></b>	18,0-25,0
<b>Açúcares<sup>2</sup></b>	15,5-24,0
Sacarose	14,5-24,0
Glicose	0,2-1,0
Frutose	0,0-0,5
<b>Não-açúcares<sup>2</sup></b>	1,2-2,5
Orgânicos (Aminoácidos, gorduras, ceras, matérias corantes, ácidos, etc...)	0,8-1,8
Inorgânicos (Sílica, K, P, Ca, Mg, Na, Fe, S, Cl, etc...)	0,2-0,7

Fonte: <sup>1</sup>Oliveira (2012), <sup>2</sup>Ernesto (2009).

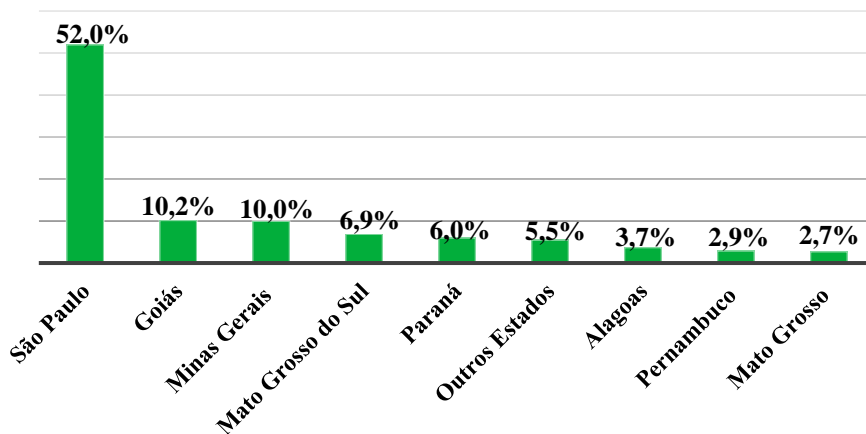
O Brasil possui diversos estados com condições favoráveis para o cultivo da cana, os quais apresentam clima com duas estações definidas (seca e úmida) e solo que atende a necessidade das diversas variedades. A área colhida de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16 foi de 8.654,2 mil hectares. O cultivo dessa espécie está distribuído mais fortemente em oito estados, que são responsáveis por 94,9% da produção nacional conforme apresentado nas Figuras 11 e 12. Os outros estados produtores possuem áreas menores que 1% da área total plantada, totalizando 5,1% da área total do país (CONAB, 2016).

Figura 11 - Mapeamento da cana-de-açúcar no Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

Figura 12 - Percentual de área total de cana-de-açúcar plantada por Unidade da Federação na Safra 2015/2016.



Fonte: CONAB (2016).



O estado de Goiás vem expandindo as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, o que pode ser explicado pelas vantagens que a região possui em relação a outras unidades da federação. Os custos com a lavoura de cana em Goiás são menores, a colheita é quase toda mecanizada, são realizados altos investimentos em tecnologia, são plantadas variedades mais produtivas, os preços das terras são baixos (comparados com São Paulo), primeiro maior produtor brasileiro, além da boa produtividade, tornando o estado de Goiás atrativo para essa cultura (MARQUES et al., 2012).

O cultivo de cana-de-açúcar difundiu-se por 193 municípios goianos, distribuídos pelas cinco Mesorregiões Geográficas definidas pelo IBGE. Ao analisar a produção de cana-de-açúcar nas mesorregiões, fica evidente que as maiores produções estão concentradas em duas mesorregiões: a do Sul Goiano e Centro Goiano. Dentre os maiores municípios produtores no ano de 2015 estão: Quirinópolis, Itumbiara, Goiatuba, Mineiros, Rio Verde, Bom Jesus de Goiás, Gouvelândia, Acreúna e Santa Helena de Goiás.

### **2.1.2 Milho**

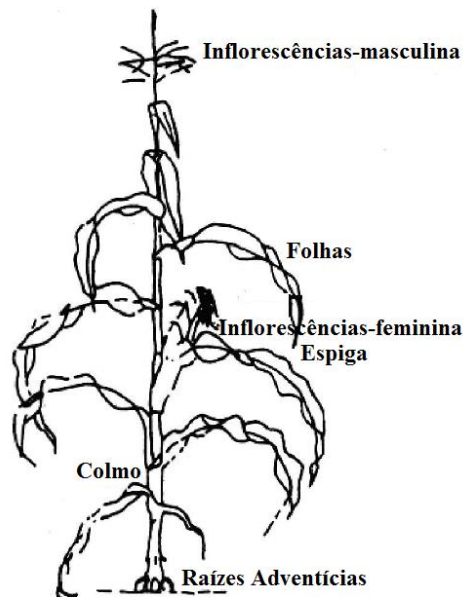
A espécie do milho, com o nome científico *Zea mays L.*, é uma planta que pertence à família Gramineae/Poaceae. O milho é uma planta de ciclo curto, robusta e ereta, a sua altura varia de um a quatro metros, sendo seu cultivo e destino para a produção de grãos (MAGALHÃES et al., 2002).

Nas principais regiões produtoras de milho do país, busca-se o crescimento da produtividade com a utilização de sementes híbridas, melhoramento genético, maior uso de fertilizantes e defensivos, melhoria no arranjo espacial de plantas, máquinas agrícolas mais eficientes e adoção do sistema de plantio direto. A adoção conjunta de cultivares melhorados, de insumos e de técnicas de cultivos adequados fez com que o rendimento das lavouras crescesse progressivamente. Atualmente, existem diversos cultivares da espécie de milho que se adaptam a qualquer região do país e a qualquer sistema de produção, permitindo o cultivo em safra e safrinha (SANS; GUIMARÃES, 2009).

Um dos principais fatores que pode afetar a produtividade do milho é o clima, embora o milho responda à interação dos diversos fatores climáticos, as influências maiores sobre a cultura são: radiação solar, precipitação e a temperatura. Estes fatores atuam eficientemente nas atividades fisiológicas interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca. Em condições favoráveis o milho apresenta um ciclo, compreendido entre semeadura e colheita, de 110 a 180 dias (SANS; GUIMARÃES, 2009).

Segundo Ritchie, Hanway e Benson (2003) a planta de milho aumenta de peso lentamente durante seu ciclo. Porém, à medida que mais folhas são expostas à luz solar, ocorre um aumento gradual da taxa de acúmulo de matéria seca. As folhas da planta são produzidas primeiro, depois as bainhas das folhas, colmo, palha, pedúnculo da espiga, sabugo e, finalmente, grãos (Figura 13).

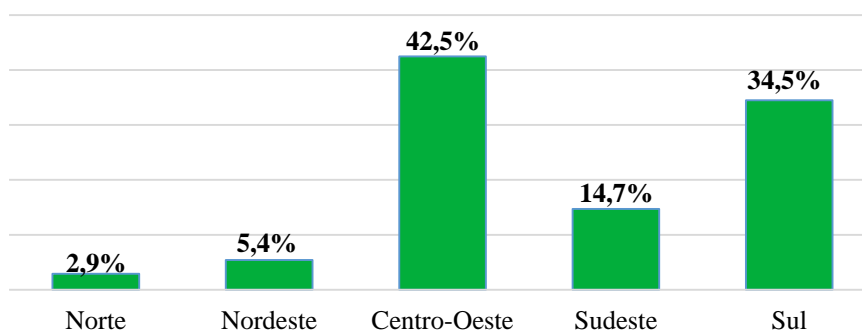
Figura 13 - Estrutura morfológica da planta do milho.



Fonte: Magalhães; Durães; Paiva (1994).

A consolidação da produção brasileira de milho total (primeira e segunda safra) de 2015/2016 atingiu o montante de 67 mil toneladas, apresentando um decréscimo de 20,2% em relação à produção anterior (2014/2015), calculada em 84.672,4 mil toneladas. A maior produção de milho concentra na região Centro-Oeste (Figura 14), o estado do Mato Grosso ocupa o primeiro lugar em produtividade, sendo que em terceiro lugar está Goiás (CONAB, 2016).

Figura 14 - Produção de milho por regiões do Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

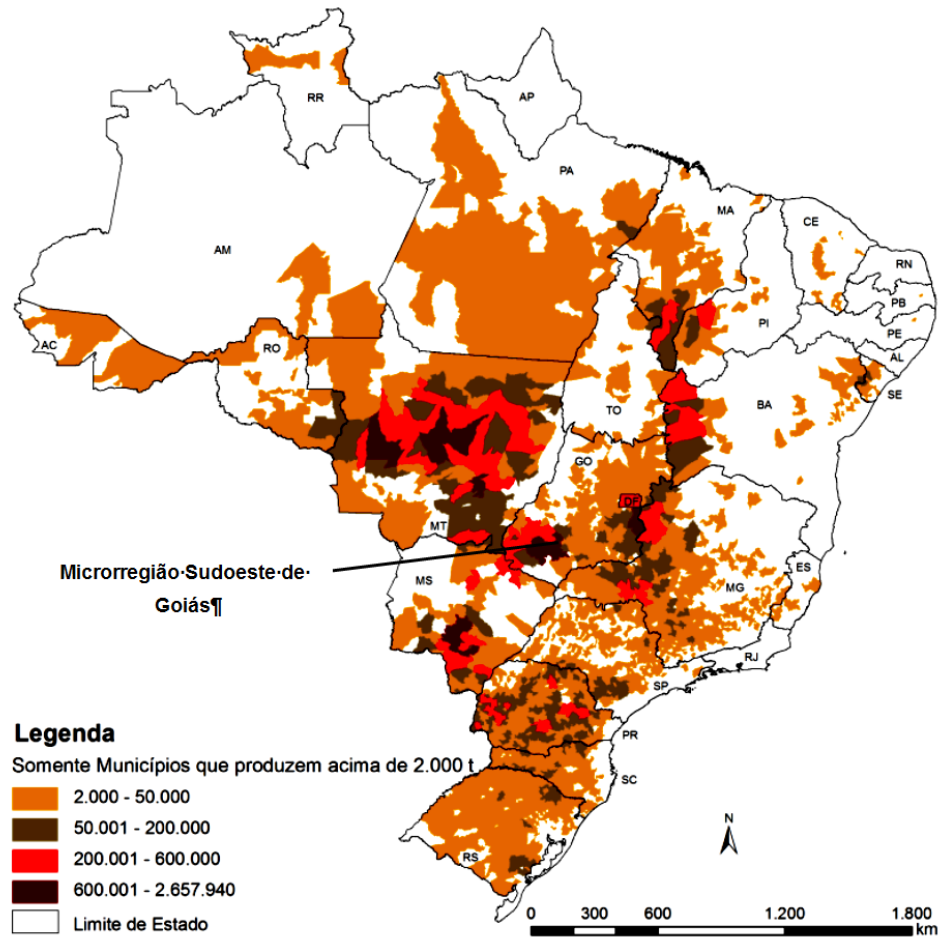
Em Goiás, a safra de 2015/2016 apresentou uma redução se comparada à safra 2014/2015. A área total plantada (primeira e segunda safra) foi de 1.521,1 mil hectares, havendo uma variação de 11% a mais de área plantada com relação à safra anterior, mas resultando numa produtividade 28,5 % a menos que na safra anterior (6.430,5 mil toneladas). Os municípios que destacaram na microrregião sudoeste do estado de Goiás em produção de milho na safra 2015/2016 foram Rio Verde, Jataí e Montividiu. A Figura 15 apresenta a produção de milho nos municípios brasileiros, com produtividade acima de 2 mil toneladas por hectare.

Diante do apresentado, verifica-se que no estado de Goiás a produção de milho vem ganhando destaque, levando a estudos para região que possam mostrar o potencial residual dessa cultura na geração de bioeletricidade porque os volumes expressivos têm levado ao desenvolvimento de sistemas de colheita prevendo a recuperação dos resíduos.

Algumas partes da planta do milho não são utilizadas na comercialização do grão, e neste caso, são subutilizadas. É o caso do sabugo, parte central da espiga na qual os grãos estão presos, que é um resíduo gerado após a colheita do milho. Além dos sabugos, os caules e hastes (colmos), folhas e a palha são resíduos gerados no cultivo do milho. Para o cálculo de produtividade destes resíduos foi utilizado o fator residual quantitativo de 142%, ou seja, para cada tonelada de grão colhida é gerado 1,42 ton de resíduos (ABIB, 2015). No processo de colheita do milho a utilização de máquinas é fundamental, sendo aplicada praticamente à totalidade da produção. O milho é colhido e a própria máquina faz o beneficiamento do grão, retirando o caule, folhas, palha e sabugo, tendo como resultado o grão de milho limpo. Os grãos são depositados na própria máquina e os resíduos são despejados na lavoura, pela parte de trás da máquina. Essa é uma grande desvantagem, pois todos os resíduos do milho (palhada) ficam distribuídos por toda a área plantada. Este fato ocorre em toda produção a

granel de milho no Brasil, o que praticamente inviabiliza a utilização da palha na geração de energia elétrica devido aos altos custos para juntar e transportar estes resíduos (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010).

Figura 15 - Mapa da distribuição da produção agrícola do milho (safra + safrinha) no Brasil.



Fonte : CONAB (2016).

A quantidade de energia produzida por estes resíduos é diretamente influenciada por suas qualidades; dessa forma, é importante conhecer as características dos fatores que influenciam no seu potencial energético, sendo esses apresentados na Tabela 2 (VELA; DANTAS; ZAMBRZYCKI, 2013).

Tabela 2 - Valores médios das características dos resíduos de milho.

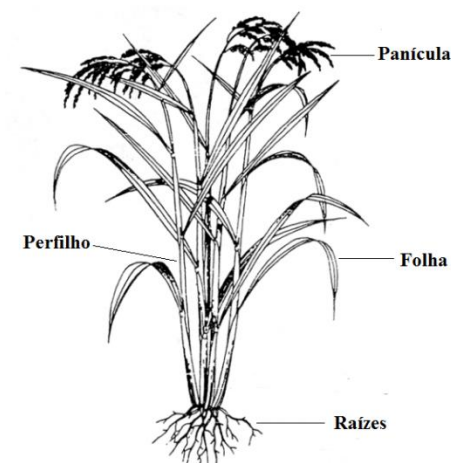
CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DO MILHO			
	Caule	Folha	Sabugo	Palha
Massa Seca (kg/ha)	4.553	3.300	1.447	1.522
Estoque de carbono (kg/ha)	1.949	1.412	619	625
Densidade básica	150	200	220	312
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	18,17	18,24	18,709	19,09
Densidade Energética (MJ/m <sup>3</sup> )	2.728,80	3.652,63	4.120,07	5.957,92
Material Volátil (%)	83,99	83,09	84,68	85,9
Cinza Carbono (%)	2,08	5,49	1,65	1,91
Carbono Fixo (%)	13,93	11,47	13,67	12,19

Fonte: Vela; Dantas; Zambrzycki (2013).

### 2.1.3 Arroz

O arroz (*Oryza ssp.*) é uma espécie hidrófila, cuja estrutura morfológica é formada por raiz, folha, caule e panícula (Figura 16). O processo evolutivo da cultura do arroz tem levado à sua adaptação às mais variadas condições de solo e clima. O arroz é considerado um produto de importância econômica em muitos países, constituindo-se alimento básico para aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas. O aumento crescente de seu consumo impõe aos setores produtivos à busca de novas técnicas que possam aumentar a produção. Aproximadamente 90% de todo o arroz do mundo é cultivado na Ásia em mais de 250 milhões de pequenas propriedades, no sistema irrigado (SANTOS; RABELO, 2008).

Figura 16 - Estrutura morfológica da planta do arroz.



Fonte: Vergara (1979).

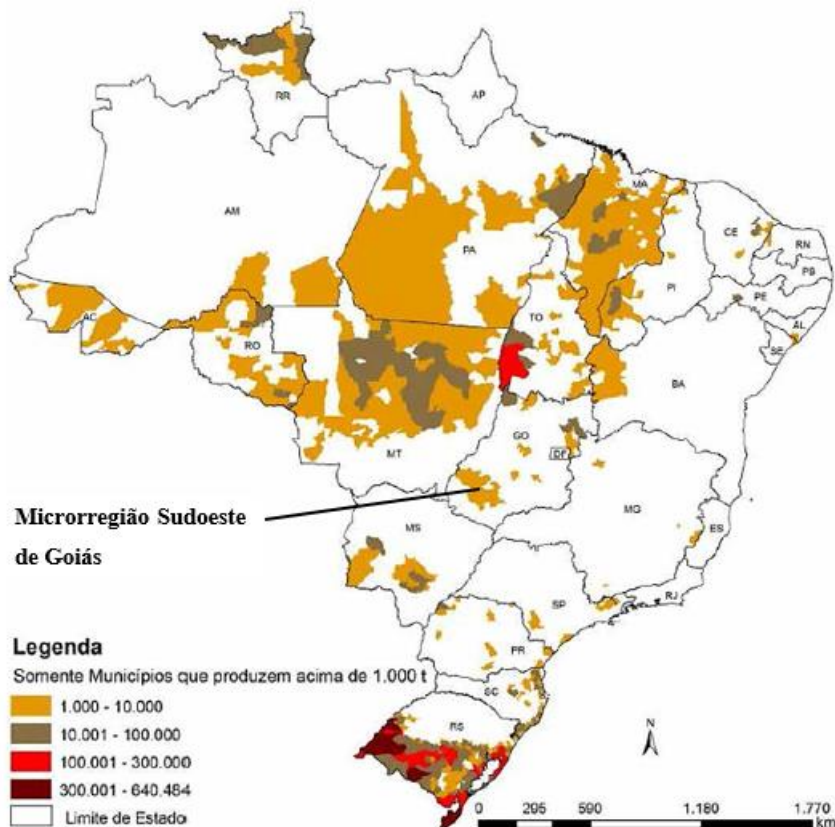
A maior parcela da produção de arroz no Brasil é proveniente do ecossistema várzeas, onde a orizicultura irrigada é responsável por 69% da produção nacional, sendo considerado um estabilizador da safra nacional, uma vez que não é tão dependente das condições climáticas, como no caso dos cultivos de sequeiro. No Brasil, há 33 milhões de hectares de várzeas, com topografia e disponibilidade de água propícia à produção de alimentos. Entretanto, apenas 3,7% dessa área é utilizada para a orizicultura. Na região tropical, a área cultivada com arroz irrigado é aproximadamente 13%, equivalente a 11% da produção total brasileira nesse ecossistema. As características dos solos e condições de hidromorfismo tornam estas áreas aptas à orizicultura irrigada. Nas regiões de cerrados (Norte e Centro-Oeste), há cerca de 12 milhões de hectares de várzeas, que poderiam ser utilizados para o cultivo de arroz sequeiro (CONAB, 2015).

A área cultivada com arroz no estado de Goiás totaliza 26 mil hectares, com produção de 108,7 mil toneladas, conforme estimativa apresentada pela Conab no 4º Acompanhamento da Safra 2015/2016 (CONAB, 2016). Na microrregião sudoeste do estado de Goiás a produção de arroz é concentrada no município de Rio Verde e Jataí, conforme apresentado na Figura 17, tendo havido um pequeno crescimento de área cultivada e produção na safra de 2015/2016 (880 t) com relação à safra anterior (540 t). Para a safra de 2016/2017 está previsto o aumento de área cultivada com arroz nessa região, devido os plantios situados no município de Mineiros.

Por mais que a cultura de arroz, atualmente, não apresenta valores significativos para produção de biomassa energética na região estudada, é interessante pesquisar a orizicultura, pois no estado de Goiás foram tomadas algumas iniciativas para ampliar a produtividade e

fixar a cultura em alguns municípios que já tem a aptidão para produção de arroz sequeiro (CONAB, 2015).

Figura 17 - Mapa da distribuição da produção agrícola do Arroz no Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

Os resíduos oriundos das culturas de arroz são a palha e a casca, sendo que na Tabela 3 são apresentados dados da característica desses resíduos.

Tabela 3 - Características dos resíduos de colheita do arroz.

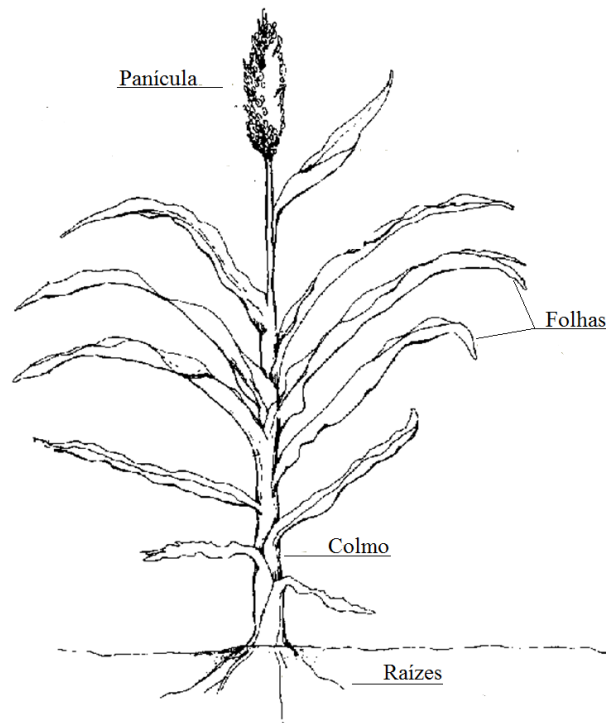
CARACTERÍSTICAS	RESÍDUOS DO ARROZ	
	Palha	Casca
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,2142	0,3806
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	4,219	3,950
Material Volátil (%)	79,71	64,14
Cinza Carbono (%)	9,06	14,23
Carbono Fixo (%)	11,23	16,63

Fonte: Jacinto et al. (2016).

### 2.1.4 Sorgo

O sorgo (*Sorghum ssp.*) é um produto da intervenção do homem, que domesticou a espécie e, ao longo de gerações, vem transformando-a para satisfazer as necessidades. Sorgo é uma extraordinária fábrica de energia, de enorme utilidade em regiões muito quentes e muito secas, onde o homem não consegue boa produtividade de grãos ou de forragem cultivando outras espécies, como o milho. Na Figura 18 são apresentados os aspectos morfológicos da planta do sorgo (PARENTE, 2013).

Figura 18 - Morfologia da planta do sorgo.



Fonte: Parente (2013).

Segundo Ribas (2003), o sorgo granífero é o maior cultivar produzido nos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e parte oeste da Bahia, onde se encontram aproximadamente 80% da área plantada. Ele é cultivado na região Centro-Oeste do Brasil, em safrinha em sucessão à soja. Assim, quando as condições climáticas são desfavoráveis para o cultivo do milho, o sorgo torna-se uma boa opção.

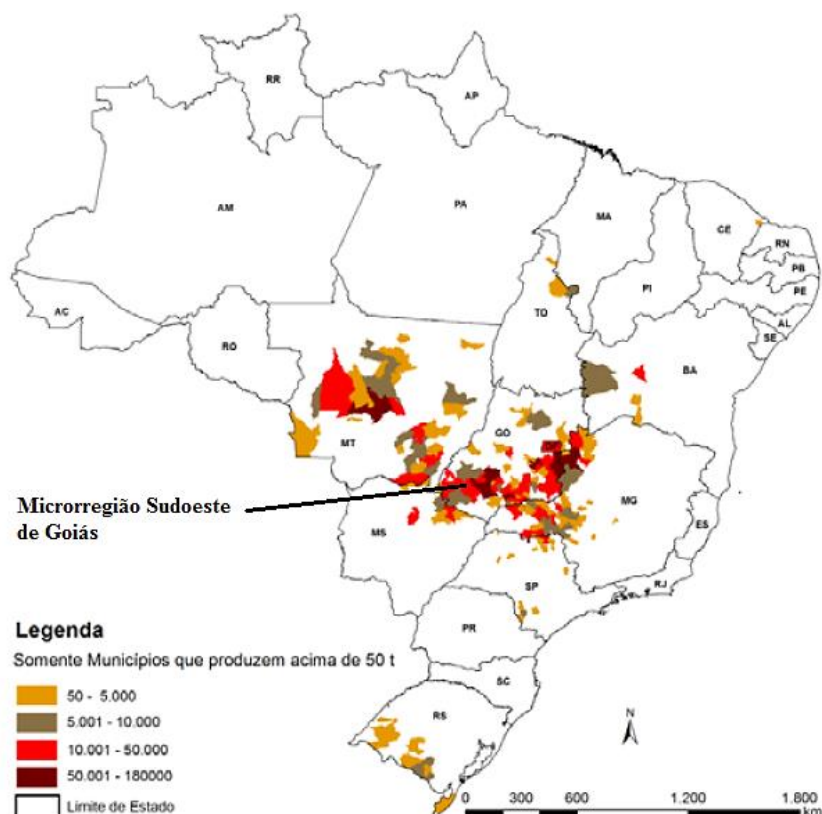
Outra espécie que vem sendo estudada é o sorgo biomassa que, devido ao seu alto potencial produtivo e poder calorífico no patamar dos seus principais concorrentes, tem



gerado grandes expectativas no mercado especializado. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e as empresas americanas Ceres e NexSteppe já possuem materiais disponíveis no mercado que têm demonstrado ótimos resultados. O sorgo é uma cultura “nova” no ramo da energia, passando ainda por ajustes, devendo melhorar os resultados no curto e médio prazo. Porém, mesmo com os altos custos de produção por hectare do sorgo biomassa, a possibilidade de colher acima de 50 toneladas de matéria seca com 50 a 55% de umidade anima os produtores. Comparado com o eucalipto e a cana-de-açúcar, o sorgo biomassa tem a vantagem de rápido crescimento, podendo atingir seis metros em apenas seis meses, o que garante uma maior flexibilidade na tomada de decisão dos gestores das usinas. Segundo a EMBRAPA Milho e Sorgo, o sorgo biomassa ainda possui a vantagem de ser totalmente mecanizável, ou seja, o plantio, o manejo cultural e a colheita são feitos com o uso de máquinas. Além disso, o sorgo biomassa é propagado por sementes, o que facilita a plantação (EMBRAPA, 2015).

Segundo a CONAB (2016), a área plantada com o sorgo em Goiás na safra 2015/2016, foi de 201 mil hectares, havendo redução de 13,6% em relação à safra 2014/2015 que foi de 232,6 mil hectares, sendo que a produção alcançou 341,7 mil toneladas, 59,9% abaixo do montante alcançado na safra anterior, que ficou em 851,5 mil toneladas. Essas quedas de área cultivada e de produção estão relacionadas com a valorização econômica da produção de milho nos últimos anos, dessa forma, o sorgo vem perdendo espaço para a cultura do milho no estado de Goiás. Na Microrregião Sudoeste do estado de Goiás (Figura 19) a produção de sorgo sobressaiu nos municípios de Rio Verde, Chapadão do Céu e Santa Helena de Goiás.

Figura 19 - Mapa da distribuição da produção agrícola do sorgo no Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

### 2.1.5 Soja

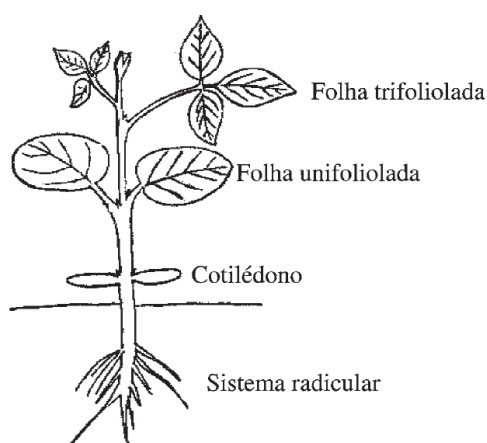
A soja (*Glycine max L.*) é uma espécie da família das leguminosas originária da Ásia, domesticada há milhares de anos e cultivada com o objetivo de utilizar o grão na dieta humana e animal. A difusão da soja ocorreu inicialmente na Europa em 1739 e nos Estados Unidos em 1765. No Brasil o seu cultivo foi iniciado por volta de 1882 na Bahia, em 1891 em São Paulo e em 1914 no Rio Grande do Sul (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

A soja é uma planta dicotiledônea cuja estrutura é formada por uma parte subterrânea, que são as raízes e a parte aérea. O desenvolvimento pode ser dividido em dois períodos, o vegetativo, que inicia na semeadura e finaliza no florescimento, e o reprodutivo que inicia no florescimento e vai até à colheita (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

As características morfológicas da soja (Figura 20) são divididas em raiz, caule, folha, flores, frutos e semente. O sistema radicular é pivotante, com a raiz principal bem desenvolvida e raízes secundárias em grande número, ricas em nódulo de bactérias, *Phisobium Japonicum*, fixadoras de nitrogênio atmosférico. O caule herbáceo é ereto e com altura que varia de 0,60 a 1,50 m. As folhas são alternadas, longas pecioladas, compostas de

três folíolos ovalados ou lanceolados, de comprimento variável entre 0,5 a 12,5 cm. As flores nascem em racínios curtos, geralmente com 9 a 10 flores cada um. Os frutos são vagens achatadas, pubescentes, com duas a cinco sementes, podendo encontrar até 400 vagens por planta (MISSÃO, 2006).

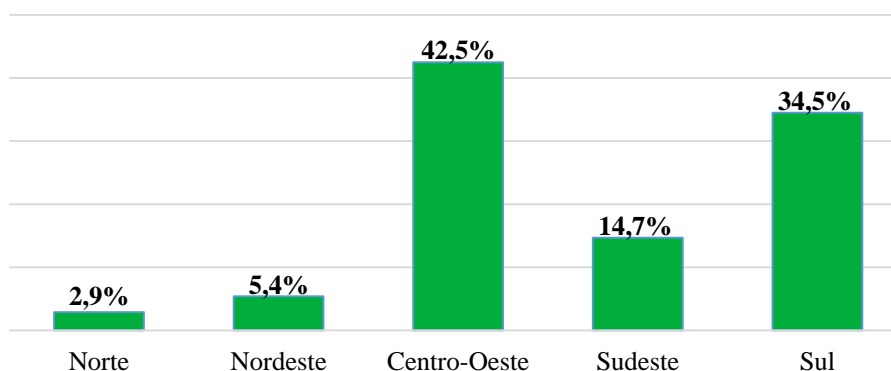
Figura 20 - Características morfológicas da soja.



Fonte: Mundstock; Thomas (2005).

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, ficando atrás apenas dos EUA. Na safra 2015/2016, a cultura ocupou uma área de 33,17 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 95,63 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira foi de aproximadamente 2,9 toneladas por hectare (EMBRAPA, 2017). Segundo a CONAB (2016) a região centro-oeste do Brasil é a principal produtora de soja do país, como apresentado na Figura 21, o estado do Mato Grosso ocupa o primeiro lugar em produtividade e em segundo lugar está Goiás.

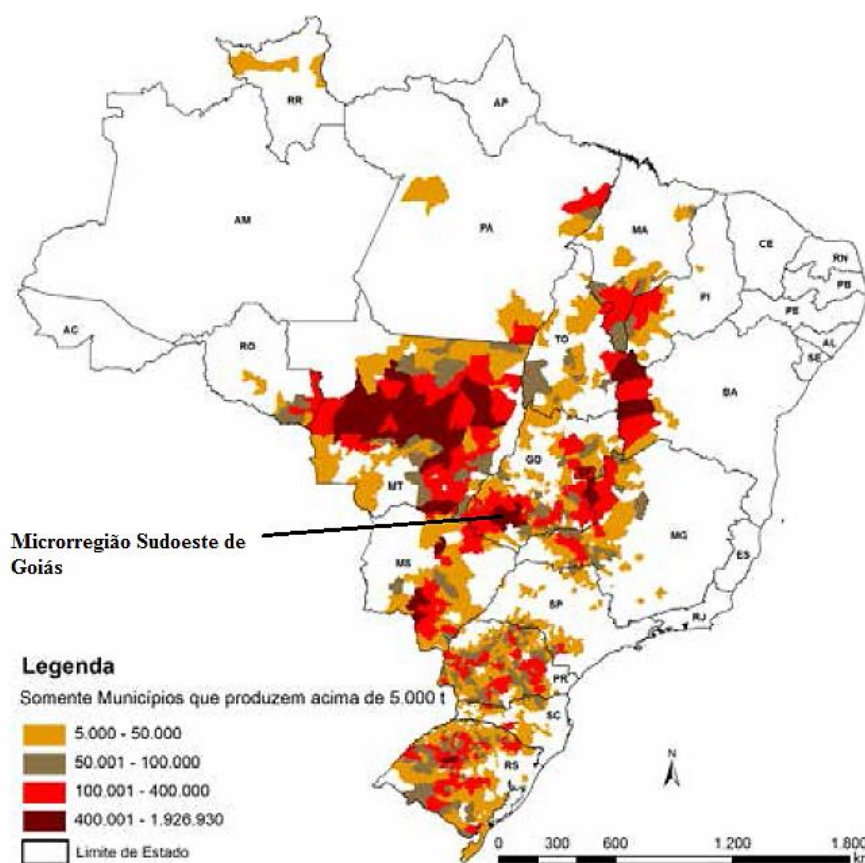
Figura 21 - Produção de soja por regiões do Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

Na região centro-oeste o fechamento do plantio da safra 2015/2016, foi encerrado com uma área de 14,9 milhões de hectares, representando um aumento de 2,1%, com relação à safra anterior. Em Goiás a área cultivada com soja foi de 3.285,1 hectares, houve uma redução de 1,2% da área plantada em relação à safra anterior. No entanto, a produtividade da soja em Goiás, aumentou 20,3 %, em relação à safra anterior, a produção total foi de 10.249,5 toneladas. Os municípios que destacaram na Microrregião Sudoeste do estado de Goiás em produção de soja na safra 2015/2016 foram Jataí, Rio Verde e Montividiu. A Figura 22 apresenta a produção de soja nos municípios brasileiros, com produtividade acima de 5 mil toneladas por hectare (CONAB, 2016).

Figura 22 - Mapa da distribuição da produção agrícola da soja no Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

Os resíduos da cultura da soja são gerados durante a colheita, sendo o conjunto caule, haste, folha e vagem, comumente chamado de palha da soja. As características da palha da soja, em base seca, conforme Vassilev et al. (2010), são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do resíduo de soja.

CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DA SOJA
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	16,97
Material Volátil (%)	74,30
Cinza Carbono (%)	8,06
Carbono Fixo (%)	17,10

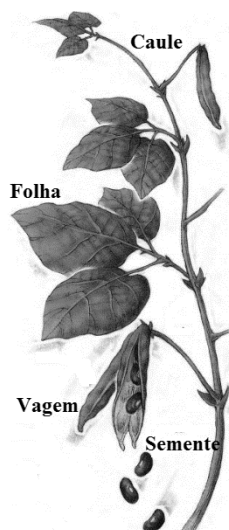
Fonte: Vassilev et al. (2010).

### 2.1.6 Feijão

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais importantes constituintes da alimentação da população brasileira, por ser uma excelente fonte proteica, possui carboidratos e é rico em ferro. A produção nacional de feijão é flutuante devido à instabilidade climática, sendo o excesso e o déficit hídrico os fatores que mais afetam a cultura, reduzindo o potencial produtivo das lavouras (JADOSKI, 2012).

As características botânicas da planta do feijão são divididas em caule, folhas, raízes, flores e fruto (Figura 23).

Figura 23 - Características morfológicas da planta do feijão.



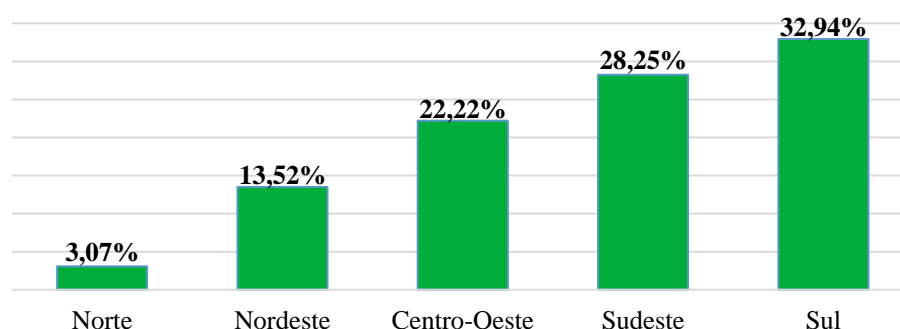
Fonte: Associação Nova Escola (2017).

O caule são talos ásperos, delgados, longos e ramificados nas variedades trepadeiras e curtos nas variedades anãs. As folhas são grandes e longas formadas por três folíolos triangulares ou ovais. As raízes são profundas e bastante ramificadas, com nodos característicos de espécies leguminosas. As flores são de diferentes colorações, varia

conforme a cultivar, e são reunidas em cachos ou racimos axilares. O fruto é uma espécie de cápsula denominada de legume (vagem) de forma cilíndrica ou achatada de variadas cores, segundo as variedades (JUNIOR, 1960).

De acordo com a CONAB (2016) os dados da última safra 2015/2016 a produção de feijão total (primeira, segunda e terceira safra) no Brasil é concentrada na região sul (Figura 24), sendo que os principais estados produtores são: Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia.

Figura 24 - Produção de feijão por regiões do Brasil.

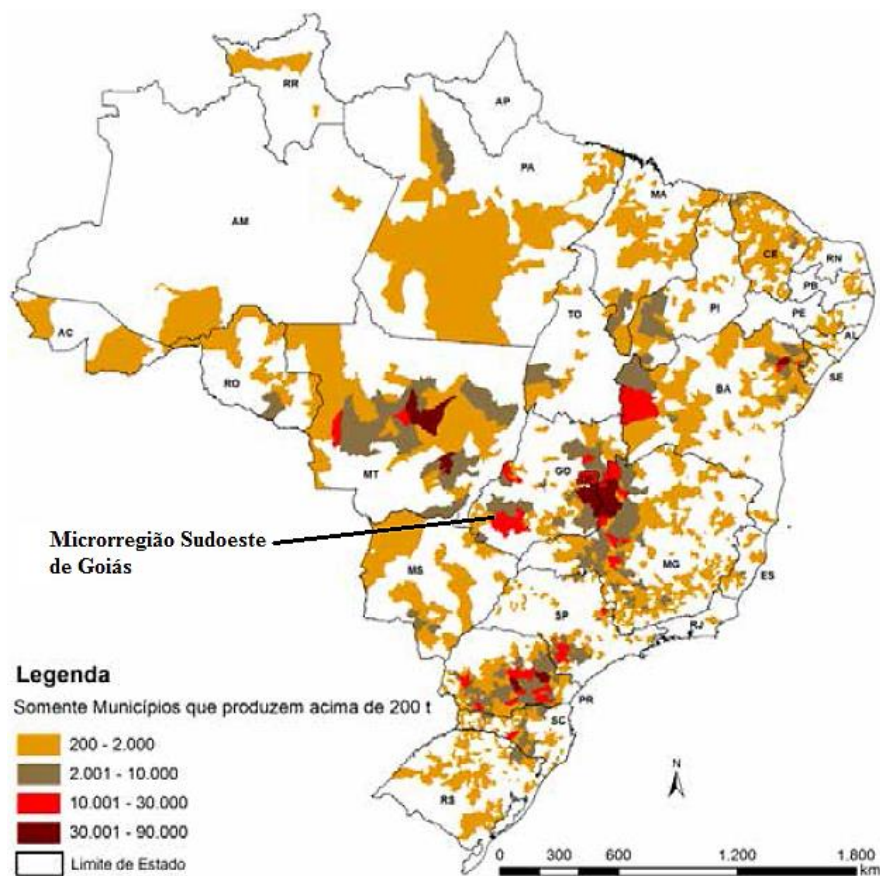


Fonte: CONAB (2016).

Analisando a safra de feijão 2015/16, a área total é de aproximadamente 2.837,4 mil hectares, retração de 6,2% em relação à safra passada. A produção nacional de feijão é de 2.515,8 mil toneladas, e 21,6% menor que a última temporada (CONAB, 2016). A Figura 25 apresenta a produção de feijão nos municípios brasileiros, com produtividade acima de 200 toneladas por hectare.

Na safra de 2015/2016 o estado de Goiás cultivou o feijão em uma área de 122,7 mil hectares, a produção final do estado foi de 288,4 mil toneladas, aumento de 17,7 % da produção em relação à safra anterior. Na Microrregião Sudoeste do estado de Goiás os municípios que destacaram em produção de feijão na safra 2015/2016 foram: Jataí, Rio Verde e Caiapônia.

Figura 25 - Mapa da distribuição da produção agrícola do feijão no Brasil.



Fonte: CONAB (2016).

Os resíduos do feijão são constituídos por restos de cultura oriundos pós-colheita, sendo o caule, folha e vagem (palha do feijão). As características de análise imediata estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do resíduo de feijão.

CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DO FEIJÃO	
	Caule e Folha	Vagem
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	17,071	15,962
Material Volátil (%)	77,53	76,65
Carbono Fixo (%)	18,75	18,10

Fonte: Paula et al. (2011).

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESÍDUOS DA SILVICULTURA

### 2.2.1 Eucalipto

Segundo Pereira et al. (2000) a introdução do gênero *Eucalyptus*, no Brasil, ocorreu no início do século XIX, com evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. O gênero *Eucalyptus* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies latifoliadas nativas. No entanto, poucas espécies têm sido plantadas em escala comercial, dentre elas estão *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, e *E. saligna*. Essas espécies deram origem aos híbridos e clones usados no Brasil.

A madeira de eucalipto possui diversas finalidades, como lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, mas há uma forte tendência também para usos mais nobres, como fabricação de casas, móveis e estruturas, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, carentes de florestas naturais (PEREIRA et al., 2000).

No estado de Goiás, o setor de silvicultura vem sendo estudado, apresentando bons resultados, sendo que a Embrapa Florestal fez um diagnóstico que aponta o potencial para crescimento do setor de florestas plantadas no estado de Goiás. As vantagens que evidencia este potencial estão na extensa área territorial; considerável percentual de áreas degradadas que podem ser recuperadas com plantios florestais; condições de clima e solo favoráveis em várias regiões; e, principalmente, pela demanda por produtos de base florestal (serrarias, construção civil, embalagens, dentre outros) e expansão do agronegócio, que necessita de plantios florestais para produção de energia (REIS et al., 2015).

O estado de Goiás é carente em informações sistematizadas sobre o setor da silvicultura, o que dificulta a formulação de políticas públicas de incentivo ao plantio de florestas e de valorização dos produtos florestais oriundos dessa importante atividade comercial (REIS et al., 2015).

A produção florestal goiana está especialmente voltada ao setor energético, com plantios (em especial eucaliptos) utilizados como fonte de energia em processos industriais e na secagem de grãos. O município de Rio Verde vem se destacando como maior produtor de lenha do estado, em razão de demandas do agronegócio. Durante muitos anos, a produção extrativista de madeira no estado de Goiás abasteceu os segmentos de lenha, carvão vegetal e madeira em tora. Entretanto, desde 1990, essa produção tem decaído de forma expressiva,



dando lugar a plantios florestais com esta finalidade, o que reduz a pressão (extrativismo) sobre as florestas nativas (REIS et al., 2015).

A produção de resíduo florestal do gênero *Eucalyptus* na Microrregião Sudoeste do estado de Goiás é constituída na colheita florestal. De acordo com Teixeira et al. (2016), essa biomassa é formada principalmente por galho, casca, folhas e tocos, compostos por extrativos, lignina, holocelulose e hemicelulósica. A Tabela 6 apresenta as características químicas dessa biomassa.

Tabela 6 - Características dos resíduos de colheita florestal do gênero *Eucalyptus*.

CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DE EUCALIPTOS
Teor de Umidade (%)	7,65
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	18,133
Material Volátil (%)	79,35
Cinza Carbono (%)	1,32
Carbono Fixo (%)	19,3

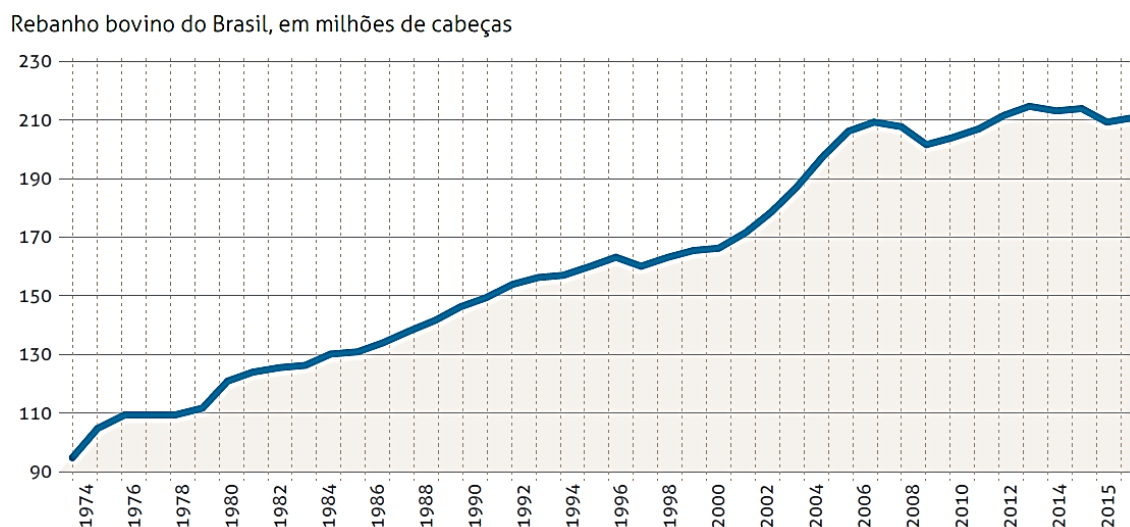
Fonte: Teixeira et al. (2016).

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESÍDUOS PECUÁRIOS

### 2.3.1 Bovinos

Em 2015 o Brasil foi o maior produtor de rebanho bovino do mundo, com 209,13 milhões de cabeças de gado distribuídos em 167 milhões de hectares de pasto. Com uma lotação de 1,25 cabeças de gado por hectare, sendo que grande parte desse rebanho é direcionada para o abate. O Brasil é o segundo maior produtor de carne bovina, perdendo apenas para os Estados Unidos. Em 2015, foram abatidos 39,16 milhões de bovinos, sendo que 19,8% desse total foram exportados, gerando 1,88 milhões de toneladas equivalentes de carcaça, já o mercado interno brasileiro foi responsável por consumir 81% da carne produzida no Brasil (ABIEC, 2016). A Figura 26 apresenta a evolução da produção bovina no Brasil.

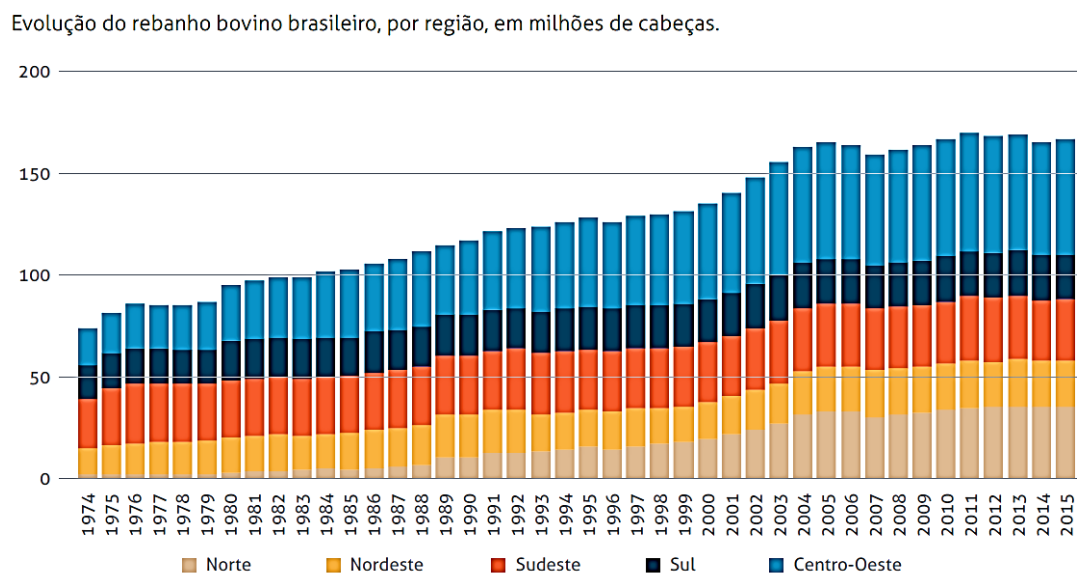
Figura 26 - Evolução do rebanho bovino brasileiro.



Fonte: ABIEC (2016).

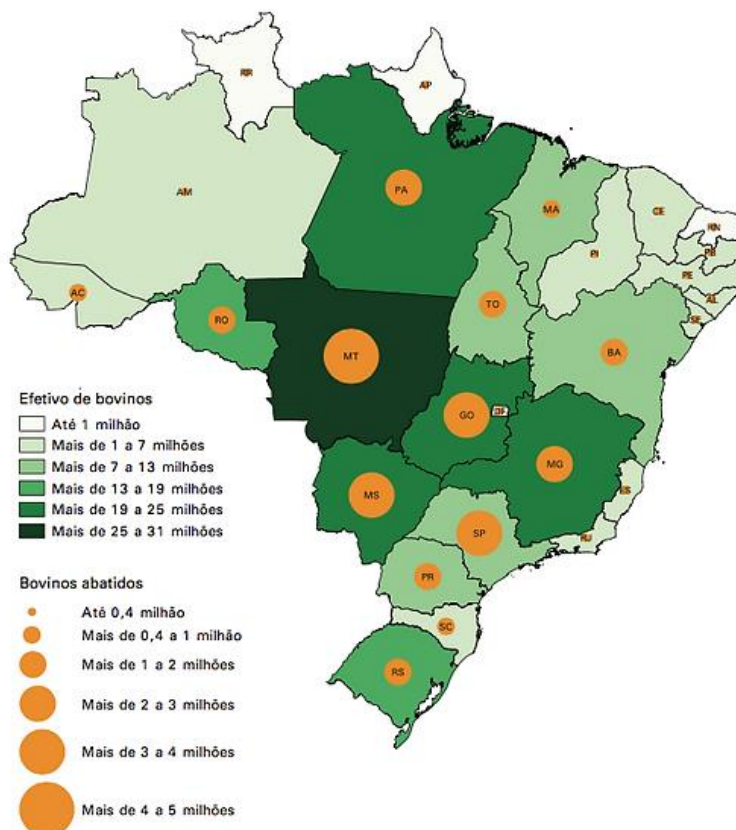
A maior região com rebanho bovino no Brasil em 2015 é a centro-oeste, sendo que o estado do Mato Grosso destaca-se em primeiro lugar com 13,61 % da produção brasileira, estando Goiás em terceiro lugar com 10,36% e Mato Grosso do Sul em quarto lugar com 10,1% (ABIEC, 2016). A Figura 27 apresenta a evolução da produção bovina por região brasileira e a Figura 28, mostra efetivo de bovinos e cabeças abatidas, por estado brasileiro em 2015.

Figura 27 - Evolução do rebanho bovino brasileiro por região.



Fonte: ABIEC (2016).

Figura 28 - Efetivo de rebanho e abate bovino por Estado, em 2015.



Fonte: IBGE (2016).

Os rebanhos bovinos do Distrito Federal e de Goiás ocupam uma área de aproximadamente 15 milhões de hectares. Em Goiás os quatro maiores municípios com rebanho bovino são Nova Crixás, São Miguel do Araguaia, Jussara e Caiapônia, sendo que apenas este último faz parte da Microrregião Sudoeste do estado de Goiás (ABIEC, 2016; SIEG, 2017).

Os resíduos gerados pelo rebanho bovino é o esterco, sendo que esse material é poluente em criação extensiva não estabilizada, pois acaba sendo disposto no ambiente e levado pelas chuvas aos cursos d'água e reservatórios, poluindo mananciais (JÚNIOR et al., 2009).

Segundo Lucas Junior e Silva (2005), citado por Júnior et al. (2009), em criação do tipo semiestabilizados a produção de esterco bovino é de 15 kg/animal/dia.

### 2.3.2 Suínos

O suíno doméstico (*Sus scrofa*) é um mamífero originado do javali e um membro da espécie *Cetartiodactyla*. Evidência genética molecular indica que o *Sus scrofa* originou-se no

sudeste da Ásia (Filipinas e Indonésia), entre 5,3 e 3,5 milhões de anos. Dessa região, se dispersou pela Eurásia. No Brasil, os primeiros porcos chegaram ao litoral paulista (São Vicente) em 1532, trazidos pelo navegador Martim Afonso de Souza. (ABCS, 2016).

A produção de suínos é uma atividade pecuária disseminada em todas as regiões do Brasil. No final do século XIX e início do século XX, com a intensificação da imigração alemã e italiana, a região Sul do país ganhou destaque no cenário da produção nacional, pois esses imigrantes trouxeram consigo as práticas de criação e costumes de consumo de carne suína. No entanto, nos últimos 15 anos, outras áreas do Brasil passaram a ganhar importância. No último levantamento de produção pecuária do IBGE, verificou-se que entre os anos 2000 e 2015 as regiões Centro-Oeste (CO) e Sudeste (SE) apresentaram participação relativa no *ranking* de abates (ABCS, 2016).

Segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos (ABCS, 2016), o rebanho reprodutivo brasileiro é de 1.720.255 matrizes, tendo produzido 39.263.964 suínos para abate em 2015. A produção técnica brasileira da suinocultura está distribuída em cerca de 3,1 mil granjas de produção e quase 15 mil granjas de engorda. A Figura 29 apresenta o rebanho de suínos no Brasil distribuídos por região.

Figura 29 - Rebanho de suíno brasileiro por grande região (efetivo em cabeças, em 2015).



Fonte: ABCS (2016).

Nos últimos anos, o estado de Goiás vivenciou crescimento expressivo na produção de carne suína. Entre 2011 e 2016, este crescimento foi de 38% em termos de cabeças abatidas e 43% em volume de carne (ABCS, 2016). A distribuição da produção de suínos em Goiás tem a seguinte característica: 20% são suinocultores independentes e 80% são integrados de indústrias. A Tabela 7 apresenta a participação do estado de Goiás na produção suína brasileira.

Tabela 7 - Representatividade de Goiás na suinocultura do Brasil, em 2015.

<b>Variáveis</b>	<b>Brasil</b>	<b>Goiás</b>	<b>Participação</b>
Número de matrizes (unidades)	1.720.225	89.208	5%
Número de granjas UPL* ou CC** (unidades)	3.101	60	2%
Número de granja Terminação (unidades)	13.991	165	1%
Cabeças abatidas (mil unidades)	40.717	2.519	6%

\*UPL - Unidade Produtora de Leitões; CC\*\* - Granja de Ciclo Completo.

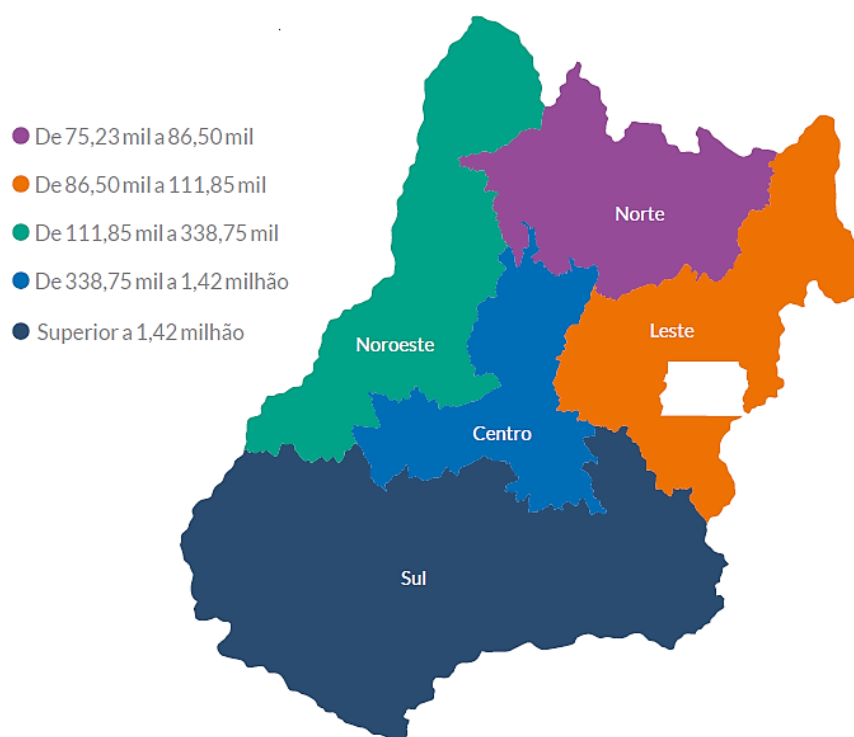
Fonte: ABCS (2016).

A macrorregião sul de Goiás apresenta o maior número de rebanho, com 70% do plantel do estado (Figura 30). Nessa macrorregião o município de Rio Verde vem destacando-se com o modelo de produção integrada, com o objetivo de atender a demanda da agroindústria BRF, que abate por dia cerca de 6.200 mil cabeças de suíno (ABCS, 2016).

Os dejetos da suinocultura são resíduos com alto poder poluente, sendo que, utilizando a equivalência populacional, podemos chegar à conclusão que uma granja com 600 animais possui um poder poluente, semelhante ao de um núcleo populacional de aproximadamente 2.100 pessoas. A principal causa da poluição é o descarte direto do esterco de suínos sem o devido tratamento nos cursos de água. Os constituintes dos dejetos suínos que afetam as águas superficiais são matéria orgânica, nutrientes, bactérias fecais e sedimentos. Os nitratos e bactérias são os componentes que comprometem a qualidade da água subterrânea (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

A composição dos dejetos suínos podem apresentar grandes variações, de acordo com o sistema de manejo adotado e, principalmente, da quantidade de água e nutrientes em sua composição. O esterco líquido dos suínos contém matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002). O índice de produção de esterco para o rebanho suíno é cerca de 2,5 kg/animal/dia (EPE, 2014).

Figura 30 - Rebanho de suíno de Goiás por mesorregião (efetivo em cabeças, em 2015).



Fonte: ABCS (2016).

### 2.3.3 Aves

A avicultura expandiu em diversas áreas do Brasil, principalmente na primeira década do século XXI, sendo essa expansão relacionada às demandas comerciais e produtivas. A avicultura e outros segmentos agroindustriais vêm evoluindo no processo produtivo, decorrentes de inovações tecnológicas que visam aumentar a produtividade e o faturamento das indústrias (BELUSSO; HESPANHOL, 2010).

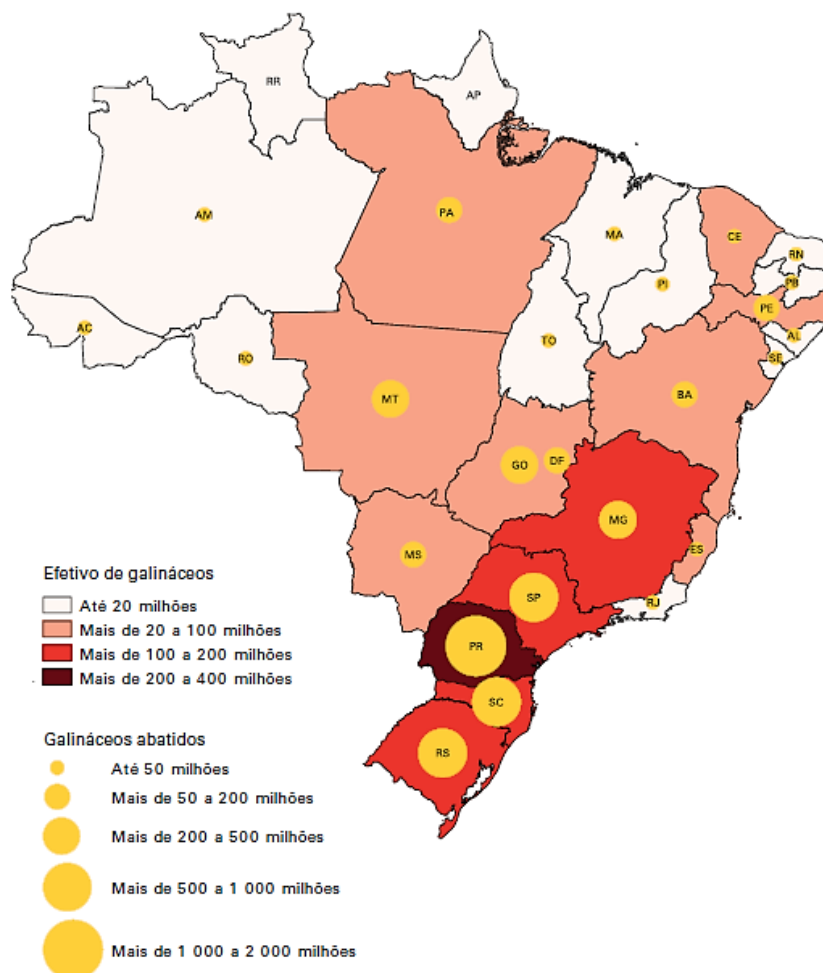
O efetivo de galináceos (frango de corte, galinhas e peru) no Brasil foi de 1,33 bilhão de cabeças em 2015, representando um aumento de 0,9% em relação a 2014. Mesmo com o cenário econômico adverso e o aumento dos custos de produção, a avicultura obteve resultados positivos em 2015, pois o Brasil foi o terceiro maior produtor de frango, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China (IBGE, 2016).

Em 2015, os estados brasileiros com maior efetivo de galináceos foram Paraná (24,3%), São Paulo (15,0%), Santa Catarina (10,9%) e Rio Grande do Sul (10,2%). Dentre os 5447 municípios com atividade de avicultura destacam-se Uberlândia (MG), que saiu da

quarta para a primeira posição, Bastos (SP), Rio Verde (GO) e Santa Maria de Jetibá (ES), segundo dados do IBGE (2016).

A Figura 31 apresenta o efetivo de galináceos e cabeças abatidas, no Brasil em 2015.

Figura 31 - Efetivo de galináceos e cabeças abatidas, nas Unidades da Federação, em 2015.



Fonte: IBGE (2016).

A expansão da avicultura gerou, também, um aumento de resíduos orgânicos, sendo estes utilizados como adubo em reforma de pasto e lavoura, tendo em sua grande maioria o mínimo de tratamento, como decomposição a céu aberto. Outra forma de utilizar os resíduos, chamados de “cama aviária”, é a geração de energia, que promove ao mesmo tempo o saneamento ambiental e a diminuição de impactos no solo, água e ar (NASCIMENTO, 2011). O índice de produção de esterco para o avicultura é de 0,18 kg/animal/dia (EPE, 2014).

Em Goiás a avicultura vem ganhando espaço pelo fato dos produtores galináceos adquirirem a ração animal a preços baixos, pois o estado está entre os maiores produtores de

milho e soja, o que reduz os custos da produção. Rio Verde é o município de Goiás com a maior produção de galináceos, com um efetivo de 14 mil cabeças (SIEG, 2017).



### 3 GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE COM BIOMASSA

#### 3.1 SISTEMAS DE COGERAÇÃO

Segundo Amundsen (1990), o termo cogeração é empregado para designar os processos de produção combinada de energia térmica e potência (mecânica ou elétrica), com o uso da energia liberada por uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico.

Os ciclos termodinâmicos de potência são definidos como um conjunto de processos termodinâmicos com a função de transformação de um combustível energético em energia mecânica. Para compreender o processo de geração de energia e como a utilização de sistemas de cogeração está inserida neste contexto, deve-se considerar a análise dos principais ciclos termodinâmicos de potência: o ciclo Rankine, ciclo Brayton, ciclo combinado, ciclo Otto e Diesel.

Os sistemas de cogeração tornam-se atrativos por apresentar dois produtos (energia térmica e potência) com eficiências maiores do que aquelas encontradas quando produzidas em processos independentes (WALTER, 1994).

De acordo com Paro (2011), com o desenvolvimento de novas tecnologias surgiram novos sistemas de geração elétrica, mas o sistema de cogeração de energia consolidou-se a partir do momento em que surgiu a preocupação com a sustentabilidade dos recursos não renováveis, por volta das décadas de 70 e 80. Sendo assim, a cogeração traz maior aproveitamento da energia global quando comparados aos sistemas de geração termoelétrica simples.

Essa tendência vem promovendo a criação de oportunidade para o avanço dos “sistemas de geração distribuída”, através do qual os clientes finais (indústria, comércio e serviços), utilizando fontes de energia primária disponíveis (principalmente biomassa e/ou gás natural), produzem, consomem e administram as suas necessidades de energia elétrica e térmica, com fatores de eficiência energética e de custos posicionados conforme a visão estratégica dos seus empreendedores (COGEN, 2016).

Segundo Torres (1999), para analisar e avaliar a cogeração de energia com biomassa são recomendados estudos termodinâmicos, que se baseiam nos princípios da conservação de massa e energia, balanço de entropia, e balanço de exergia. Na análise termodinâmica de uma planta em funcionamento, pode-se considerar o volume de controle em cada equipamento isolado ou em um conjunto e constatar seu desempenho separadamente ou como um todo,

sendo que a análise exergética e a quantificação das irreversibilidades auxiliam a identificar os equipamentos onde ocorrem os maiores prejuízos e, também, verificar as possíveis condições de melhorias. Embora essa análise seja importante, ela não será abordada neste trabalho.

### 3.2 LEGISLAÇÃO PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EXCEDENTE

No Brasil, para que se tornasse possível a venda de excedentes elétricos de autoprodutores e produtores independentes na expansão do sistema elétrico e com eficiências energéticas elevadas, foram criadas regulamentações através da legislação, sendo que dentre elas podemos citar o Decreto instituído pelo Governo Federal, Lei Nº 1.872 de 21 de maio de 1981, em seu artigo 2º, que dispõe sobre a aquisição de energia elétrica excedente gerada por autoprodutores, regulamentando a energia elétrica destinada a uso exclusivo do produtor.

Em 23 de dezembro de 1988, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) emitiu a Portaria Nº 246, a qual regulamentou que os autoprodutores comercializassem os excedentes de energia elétrica, com ressalvas, estabelecendo que a comercialização fosse apenas com concessionárias do serviço público de energia elétrica e, geralmente, a tarifas baixas.

Em setembro de 1996 foi criado o Decreto 2003 que regulamentou a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor.

A Resolução Nº 21 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 21 de Janeiro de 2000, estabeleceu os requisitos necessários à qualificação de centrais cogeneradoras de energia e, depois, a Resolução Normativa Nº 235 da ANEEL, de 14 de novembro de 2006, estabeleceu os requisitos para a qualificação de Centrais Termelétricas cogeneradoras de energia.

Já a Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e de compensação de energia elétrica, a qual foi alterada depois pela Resolução Normativa ANEEL Nº 687, de 24 de novembro de 2015.

A nova Lei 13.299/2016 de concessões do setor elétrico foi instituída para remover o limite de 30 MW para cessão de desconto de 50% nas tarifas pelo uso das linhas de transmissão e distribuição. Com esta Lei as unidades geradoras não terão necessidade de controlar a geração excedente exportada para a rede, e poderão gerar até 50 MW, pagando

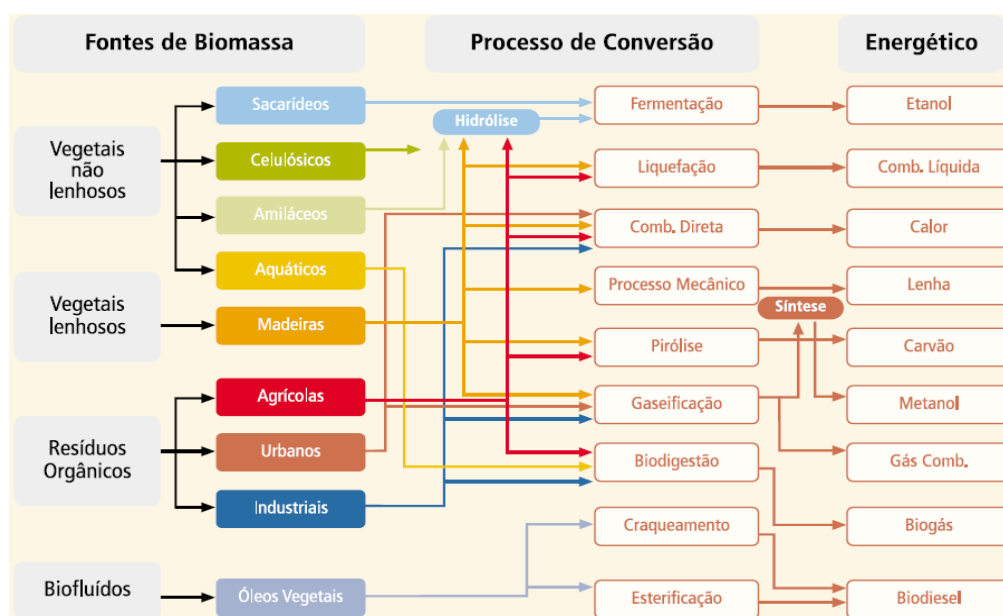
tarifa cheia apenas pelo que exceder os 30 MW (BRASIL ENERGIA, 2016).

Em 2014 a produção de energia elétrica de autoprodutores contribuiu com 15,9% do total gerado pela matriz energética brasileira, atingindo um montante de 94,0 TWh, sendo que 52,2 TWh foram produzidos e consumidos pela própria instalação geradora. A autoprodução é adotada por diversas industriais distribuídas em diferentes setores, como de papel e celulose, siderurgia, açúcar e álcool, química, dentre outros, além do setor energético (EPE, 2015).

### 3.3 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA

A biomassa pode ser empregada para geração de calor, energia elétrica ou transformada em biocombustíveis sólidos, líquidos (etanol e biodiesel), ou gasosos (biogás e gás de síntese). Usando diversas tecnologias, transformam-se a energia destes biocombustíveis nas formas mecânica, térmica ou elétrica, que podem ser utilizadas de diversas formas para suprir as necessidades das atividades humanas (SAWIN et al., 2012). A Figura 32 apresenta as diversas fontes de biomassa, os processos de conversão e, por fim, os produtos energéticos oriundos de cada transformação.

Figura 32 - Fluxograma da utilização de diversas fontes de biomassa.



Fonte: MME (1982), citado por ANEEL (2002).

Dessa forma, a principal fonte de biomassa de resíduo agroindustrial disponível para cogeração de energia é encontrada no setor sucroalcooleiro (cana-de-açúcar), na silvicultura,

na produção de papel e celulose, na lenha com madeira de reflorestamento e nos resíduos agrícolas, sendo que a seguir serão destacados alguns aspectos desses setores.

### **3.3.1 Processo de Conversão por Combustão Direta**

O processo de conversão de biomassa por combustão direta é um procedimento em que é fornecida uma quantidade suficiente de oxidante para alcançar a combustão completa da carga combustível. Os produtos principais são um gás de combustão a alta temperatura que consiste principalmente nos produtos da combustão, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e energia térmica na forma de calor (EPE, 2014). Para o processo de combustão direta foram estudadas as biomassas do setor sucroalcooleiro, setor de papel e celulose e setor agrícola.

#### *3.3.1.1 Aproveitamento Energético da Biomassa no Setor Sucroalcooleiro*

A usina sucroalcooleira utiliza a energia térmica, no cozimento do açúcar e/ou na destilação do álcool etílico, a energia mecânica é utilizada para mover equipamentos, como as moendas e a energia elétrica é utilizada na iluminação, no funcionamento dos motores e bombas d'água e no sistema de "fertirrigação". O bagaço da cana-de-açúcar é usado como matéria-prima para a geração desses três tipos de energia, a produção de energia inicia com a queima do bagaço em fornalhas que aquecem as caldeiras para a produção de vapor. As caldeiras produzem a quantidade de vapor necessária para o funcionamento de todo o complexo industrial, nesse processo utiliza-se a queima do bagaço produzido nas moendas durante a safra, utilizando esse processo é possível garantir a funcionalidade da indústria trazendo a autossuficiência energética e a ausência de resíduos sem destino (CONAB, 2011).

A quantidade de energia gerada na indústria dependerá do volume de bagaço disponível por safra e a capacidade e eficiência dos equipamentos da planta de cogeração. Quando a quantidade de vapor aproveitado na energia térmica, mecânica e elétrica permanece constante, e existe vapor adicional, este passa a gerar energia elétrica excedente, que é comercializada, passando a interligar as redes de transmissão local ou nacional (CONAB, 2011).

O Brasil apresentou 376 usinas de cana-de-açúcar em atividade no ano de 2015, 40% exportaram energia no decorrer do ano para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Do total de geração nacional de energia, 4,1% foi de bioeletricidade, havendo um crescimento de 0,2 %

quando comparado ao ano anterior. Apesar do acréscimo ao longo dos anos, somente 16% das usinas que comercializaram energia em 2015 tinham contratos adquiridos por meio de leilões (NOVACANA, 2016).

O setor sucroalcooleiro brasileiro utiliza apenas 80% do potencial possível com tecnologias convencionais, sendo que, considerando uma otimização do consumo interno de energia térmica nas usinas e o aproveitamento parcial da palha, alcançaríamos valores entre 3 e 4 GW, em operação anual. Existem tecnologias em desenvolvimento, como a gaseificação do bagaço/palha e uso de turbinas a gás em ciclos combinados, que poderiam dobrar esse potencial (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010).

No estado de Goiás existem 37 usinas sucroenergéticas, conforme mostra Tabela 8 e a Figura 33, sendo que 20 cogeram apenas para consumo próprio e 17 cogeram e comercializam energia elétrica excedente, totalizando cerca de 1.000 MW.

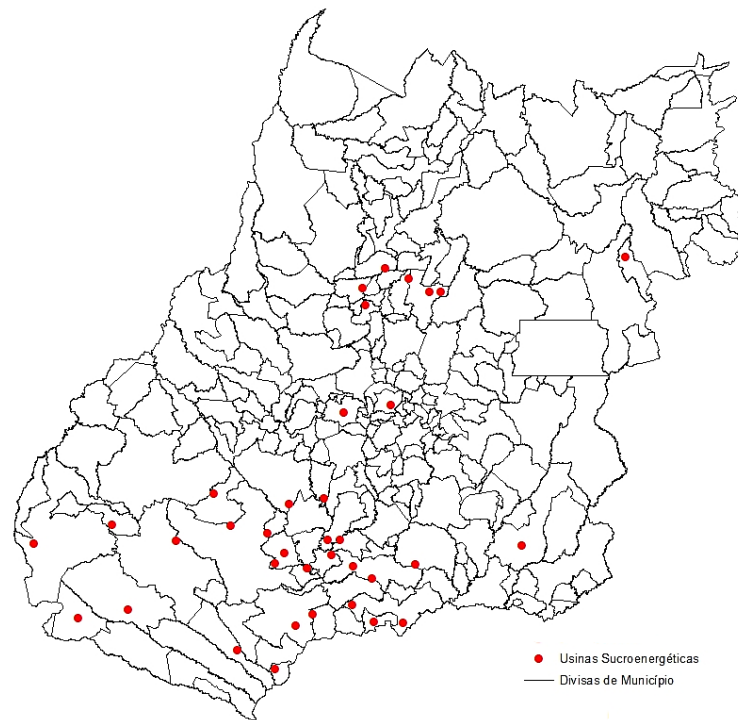
Vale destacar que 10 dessas 37 usinas estão situadas na Microrregião Sudoeste do Estado de Goiás (vide Figura 34), área de estudo dessa dissertação, sendo que 5 delas cogeram apenas para consumo próprio e 5 cogeram e comercializam energia elétrica excedente. Portanto, existe um potencial para incremento da cogeração nessa região, aspecto esse que será considerado nesta dissertação.

Tabela 8 - Usinas sucroalcooleiras no estado de Goiás, distribuídas por Microrregião.

Usinas	Grupo	Município	Pot. Instalada (kW)
<b>Microrregião Anicuns</b>			
Anicuns	Faria	Anicuns	-
<b>Microrregião Anápolis</b>			
Centroálcool	Centroálcool S/A.	Inhumas	-
<b>Microrregião Catalão</b>			
Lasa	Lasa Lago Azul S/A.	Ipameri	2.000
<b>Microrregião Ceres</b>			
Jalles Machado-Matriz	Jalles Machado	Goianésia	4.200
Carmo do Rio Verde	Japungu	Carmo do Rio Verde	4.000
Itapaci	Faria	Itapaci	-
Itapuranga	Faria	Itapuranga	2.800
Otavio Lage	Jalles Machado	Goianésia	48.000
Cooper-Rubi Açúcar e Etanol	Japungu	Rubiataba	2.400
Goianésia	Goianésia S/A.	Goianésia	7.300
<b>Microrregião Entorno de Brasília</b>			
Vila Boa CBB	Cia. Bioenergética Brasileira	Vila Boa	-
<b>Microrregião Meia Ponte</b>			
Central Energética Morrinhos	Colorado	Morrinhos	24.000
BP - Central Itumbiara Bioenergia	BP-Biocombustível	Itumbiara	56.000
Goiasa-Goiatuba Álcool Ltda.	Construcap	Goiatuba	46.520
Bom Sucesso	Vital Renewable Energy Company	Goiatuba	4.500
Caçu	Caçu Com. e Ind. Açúcar e Álcool	Vicentinópolis	-
Cachoeira Dourada	USJ	Cachoeira Dourada	40.000
Panorama	Vale do Verdão	Itumbiara	20.000
São Paulo	São Paulo Energia e Etanol S/A.	Porteirão	-
<b>Microrregião Porangatu</b>			
Uruaçu	Uruaçu Açúcar e Álcool Ltda	Uruaçu	-
<b>Microrregião Quirinópolis</b>			
Energética São Simão	Goianésia	São Simão	4.200
Rio Claro	Odebrecht Agroindustrial	Caçu	130.000
Boa Vista	São Martinho	Quirinópolis	80.000
São Francisco	USJ	Quirinópolis	80.000
<b>Microrregião Sudoeste Goiano</b>			
Porto das Águas	Cerradinho	Chapadão do Céu	160.000
Unidade Centroeste	Raízen Energia S/A.	Jataí	105.000
Unidade Morro Vermelho	Odebrecht Agroindustrial	Mineiros	72.700
Unidade Água Emendada	Odebrecht Agroindustrial	Perolândia	79.828
Santa Helena	Energética Santa Helena S/A	Sta. Helena de Goiás	4.400
Decal	Rio Verde Ltda.	Rio Verde	-
Cambuí	Vale do Verdão	Sta. Helena de Goiás	20.000
Floresta	Vale Verdão	Sto. Antônio da Barra	20.000
Serra do Caiapó	Serra do Caiapó S/A	Mondividiu	-
Serranópolis	Energética Serranópolis	Serranópolis	8.600
<b>Microrregião Vale do Rio dos Bois</b>			
Denusa - Nova União	Denusa	Jandaia	6.200
Usinova	Nova Galia	Paraúna	-
Vale do Verdão	Vale do Verdão	Turvelândia	23.400
Tropical	BP Biocombustível	Edéia	80.000

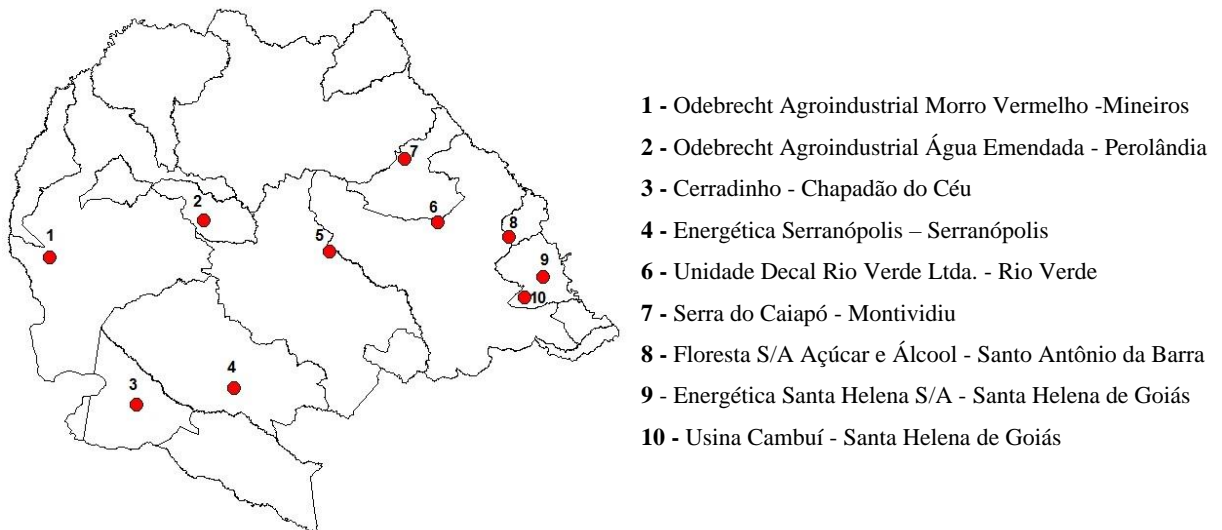
Fonte: Novacana (2016) e Cogen (2015).

Figura 33 - Localização das usinas sucroenergéticas do Estado de Goiás.



Fonte: Própria autora.

Figura 34 - Localização e descrição das usinas sucroenergéticas da Microrregião Sudoeste de Goiás.



Fonte: Própria autora.

### 3.3.1.2 *Aproveitamento Energético da Biomassa no Setor de Papel e Celulose*

No Brasil, as florestas de Eucalipto (*Eucalyptus spp*) foram introduzidas por Edmundo Navarro de Andrade para posterior utilização da madeira em dormentes de estradas de ferro em São Paulo, sendo que depois vieram as florestas de Pinho (*Pinus spp*) na região Sul, suprimindo a demanda de madeira para construção, produção de papel e celulose (SNIF, 2016).

Nos últimos anos as indústrias de papel e celulose estão se tornando auto produtoras e exportadoras de energia elétrica, com o uso de combustíveis residuais, quer seja dos seus processos, como o licor negro (lixívia), ou do campo, como cascas e galhos (SOARES et al., 2006).

A lixívia é formada durante o processo de polpação Kraft da indústria de papel e celulose. Ela é um fluido de aparência escura, constituído por aproximadamente 60% de matéria orgânica e 40% de matéria inorgânica. A porção orgânica é constituída de uma mistura de ácidos carboxílicos alifáticos e fragmentos da lignina, formados na reação desta com os reagentes do cozimento da madeira (FORTUNATO, 2014).

No setor de papel e celulose a produção de energia através da cogeração é oriunda de fontes primárias, sendo 10% de biomassa sólida (cascas, resíduos de madeira e de cavacos peneirados que não atendem as especificações de qualidade para a produção de celulose) e 90% de biomassa líquida (lixívia negra). O vapor gerado é utilizado como fonte de energia térmica nos diversos processos produtivos da cadeia de celulose e papel (PEREIRA et al., 2014).

Segundo Wiecheteck (2009), outros resíduos florestais podem ser encontrados no processo da colheita florestal, os quais podem ser incinerados em sistemas de combustão direta, sendo que os principais equipamentos envolvidos neste processo são: picador de resíduos, silo, caldeira, turbina a vapor, motor alternativo ou máquina a vapor. Geralmente estes resíduos de biomassa são picados e/ou triturados, e, depois, queimados em caldeira, gerando vapor para alimentar uma turbina que aciona um gerador de energia elétrica.

### 3.3.1.3 *Aproveitamento Energético da Biomassa de Resíduos Agrícolas*

Os principais resíduos agrícolas que podem ser utilizados na cogeração de energia são os oriundos da cultura de arroz, milho, sorgo, soja e feijão.

Segundo a ANEEL (2016) o Brasil possui 12 usinas produtoras de energia elétrica com biomassa de arroz. Os resíduos do arroz podem ser queimados para geração de energia



na própria beneficiadora do produto, em forma de combustão direta, ou seja, a casca é queimada diretamente na caldeira para geração de vapor.

Existem diversas espécies de sorgo produzido no Brasil, todas geram resíduos agrícolas, as mais importantes são: sorgo granífero, sorgo forrageiro, sorgo sacarino e sorgo biomassa ou lignocelulósico. O sorgo granífero é caracterizado por plantas de porte baixo, com potencial para a produção de grãos. O sorgo forrageiro é utilizado para a produção de ensilagem e, também, tem potencial para a produção de etanol em função dos açúcares fermentáveis presentes no colmo das plantas. Já o sorgo biomassa, é caracterizado por ser uma planta de ciclo longo (até 180 dias), com elevada produção de massa vegetal, com potencial para queima em caldeiras de usinas de grande porte ou termelétricas, visando à produção de energia (MAY et al., 2015).

### **3.3.2 Processo de Digestão Anaeróbia**

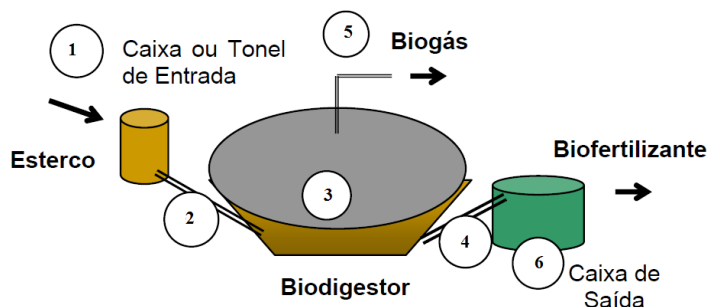
O processo de digestão anaeróbia consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos), esse é um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos (WALKER, 2009).

O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais, etc.) podem ser feitos pela digestão anaeróbia em biodigestores, onde o processo é beneficiado pela umidade e pelo aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias, mas, em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário calor adicional, visto que a temperatura deve ser de pelo menos 35°C (WALKER, 2009).

Os biodigestores são projetados e construídos para produzir a degradação da biomassa residual sem existir qualquer tipo de contato com o ar. Dessa forma, os biodigestores proporcionam condições para que alguns tipos de bactérias, altamente consumidoras, passem a prevalecer no meio, provocando uma degradação acelerada da matéria residual (JÚNIOR et al., 2009).

O processo de digestão anaeróbia ocorre em três fases: hidrólise ou redução do tamanho das moléculas; produção de ácidos orgânicos; e produção de metano. O metano é o principal componente do biogás, ele não tem cheiro, cor, ou sabor, mas os outros gases presentes na composição do biogás têm um ligeiro odor de ovo podre ou alho. O poder calorífico do biogás é de 5.000 a 7.000 kcal/m<sup>3</sup>. Cada m<sup>3</sup> de biogás é equivalente a: 0,55 l de óleo diesel, 0,45 l de gás de cozinha, ou 1,5 kg de lenha (WINROCK, 2008). A Figura 35 apresenta o esquema e os procedimentos de um biodigestor.

Figura 35 - Esquema de um biodigestor.



Fonte: Winrock (2008).

Segundo o Instituto Winrock (2008), para obter um aproveitamento dos dejetos utilizando biodigestores, devem ser observados os aspectos apresentados na Figura 35.

1. caixa ou tonel de entrada, onde o dejetos é misturado com água antes de ser colocado no biodigestor;
2. tubulação de entrada, permitindo a entrada da mistura no interior do biodigestor;
3. biodigestor revestido e coberto por manta plástica;
4. tubulação de saída de biofertilizante, levando o material líquido já fermentado à caixa de saída;
5. tubulação de saída de biogás, canalizando-o para fogão, motor, etc...;
6. caixa de saída, onde é armazenado o biofertilizante até ser aplicado nos cultivos.

A composição do biogás varia de acordo com origem da matéria-prima fermentada e ao longo do processo de fermentação, porém, na maioria das vezes, apresenta maiores proporções de metano e gás carbônico, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Composição do biogás.

Gases	%
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30 a 40
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0 a 10
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0 a 5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 a 1
Gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0 a 1
Vapor d'água	0,3

Fonte: Winrock (2008).

O biogás, ao contrário do etanol da cana-de-açúcar e de óleos extraídos de outras culturas, não há necessidade de terras disponíveis. Ele pode ser diretamente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de dejetos de animais e das pessoas, auxiliando no saneamento ambiental, evitando que sejam descartados em cursos d'água. Os resíduos do processo de produção de biogás constituem-se em substrato indicado como biofertilizante, que funciona como um corretivo de acidez do solo e libera nutrientes para solo e planta (WINROCK, 2008).

### 3.3.3 Briquetes e Pellets

Outra forma de usar os resíduos oriundos de madeira, casca, ponteiros, galhos, serragem, bagaços, palhas e cascas, dentre outros, é através da tecnologia de processamento em briquetes e pellets. De acordo com Bezzon (1994), citado por Gentil (2008), a compactação de descartes de madeira produz combustíveis sólidos de extraordinária qualidade. Em alguns casos obtêm-se vantagens, como densidade, umidade, poder calorífico e resistência mecânica superiores à lenha.

O briquete é uma lenha ecológica oriunda do processo de secagem e prensagem de resíduos de madeiras, sendo adequado para o uso de caldeiras industriais, em substituição a lenha, gás natural e/ou óleo combustível. No Brasil, o início da briquetagem foi na década de 60 na Companhia Siderúrgica Belgo Mineira (CSBM), na usina de João Monlevade (MG), com a instalação de um equipamento da empresa alemã Humboldt para briquetagem de finos de carvão vegetal. Em 1965, a Companhia Brasileira de Briquetes, situada em Mateus Lemes (MG), também iniciou a briquetagem, principalmente de finos de carvão vegetal, com uma máquina de fabricação japonesa, para uso doméstico e na siderurgia (fornos *cubilot*). A empresa trabalhou também na fabricação de máquinas e instalações de briquetagem. A partir de 1974, a Empresa Carvel, estabelecida em Contagem (MG), iniciou suas atividades em briquetagem, fabricando equipamentos e processando diversos materiais, dentre os quais o carbonato de sódio, que é usado na dessulfuração de gusa nas usinas siderúrgicas. Desde 1994, a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) trabalha com o aproveitamento de seus resíduos e briquetagem de lama de aciaria, contando atualmente com uma capacidade instalada de briquetagem da ordem de 20.000 t/mês (ABIB, 2015).

Os briquetes são fabricados por meio do processo de compactação mecânica e não contém nenhuma substância química ou aglutinante no processo. Os briquetes podem ter a

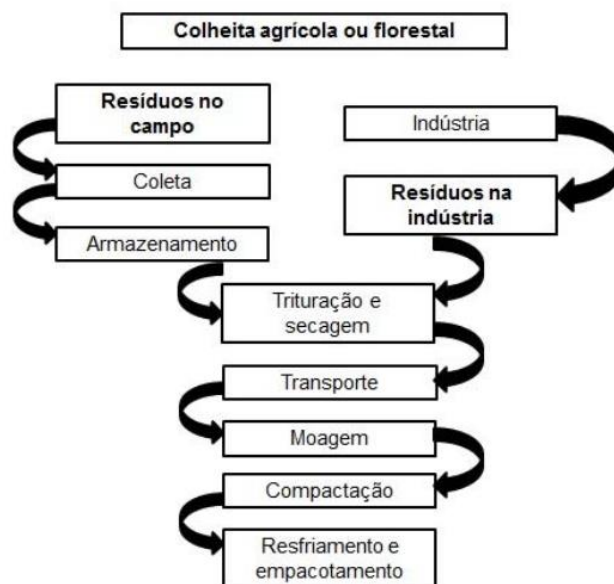
forma retangular, ovoide, cilíndrica, tetraédrica, dentre outras, tendo diâmetro entre 50 e 100 mm e comprimento entre 250 e 400 mm (DIAS et al., 2012).

Segundo Quirino (2002), citado por ABIB (2015), o briquete possui um poder calorífico maior que a lenha, por ter uma umidade entre 5 e 15 %, ou seja, menor que lenha doméstica ou plantada, que está na faixa de 25 %. As serragens e maravalhas mais usadas são de coníferas como *Pinus ssp*, com PCI médio na faixa de 5.200 kcal/kg, cerca de 10% maior que o PCI médio das madeiras (4.710 kcal/kg).

Outra forma de uso de resíduos compactados são os pellets, que é um aglomerado combustível feito a partir de matéria resultante da biomassa da madeira, triturada, seca, e compactada em pequenos cilindros. Durante o processo de sua transformação, a umidade dos pellets é extremamente reduzida, o que permite que a combustão em caldeiras para geração de energia em termoelétricas seja muito mais eficiente e libere muito menos fumaça, reduzindo a formação de cinzas (ABIB, 2015).

O processo de compactação é fundamental para que os briquetes ou pellets tenham qualidade e sejam aceitos no mercado consumidor. Desde a coleta dos resíduos nos locais de produção (campo ou indústria) até a entrada no processo de fabricação, o material passa por diversas etapas para garantir a qualidade desejada. A Figura 36 mostra as etapas de produção de pellets e briquetes (NONES, 2014).

Figura 36 - Fluxograma da produção de briquetes e pellets.



Fonte: Dias et al. (2012), citado por Nones (2014).

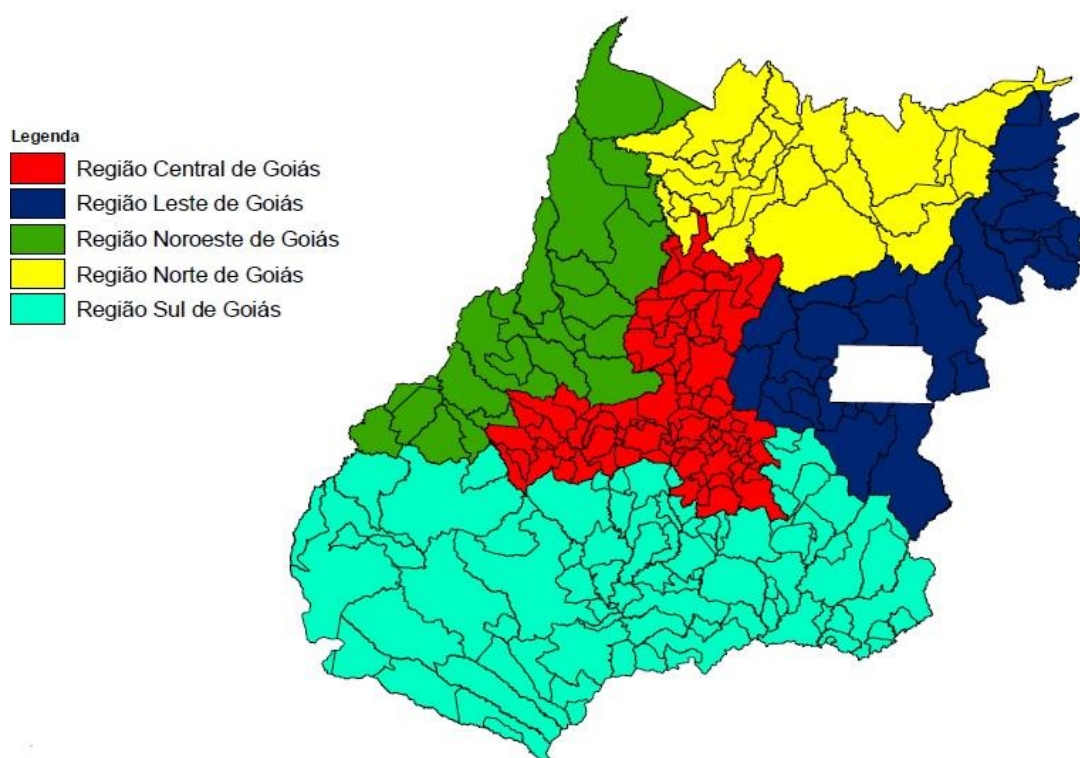
De acordo com Dias et al. (2012), a grande diferença entre briquetes e pellets é a dimensão, diâmetro dos pellets pode variar entre 6 e 16 mm, enquanto os briquetes possuem diâmetro superior a 50 mm. Ambos são produzidos a partir de qualquer resíduo vegetal, como serragem, restos de serraria, casca de arroz, sabugo e palha de milho, palha e bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, casca de café, soqueira de algodão, feno ou excesso de biomassa de gramíneas forrageiras, cascas de frutas, cascas e caroços de palmáceas, folhas e troncos das podas de árvores, dentre outros.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

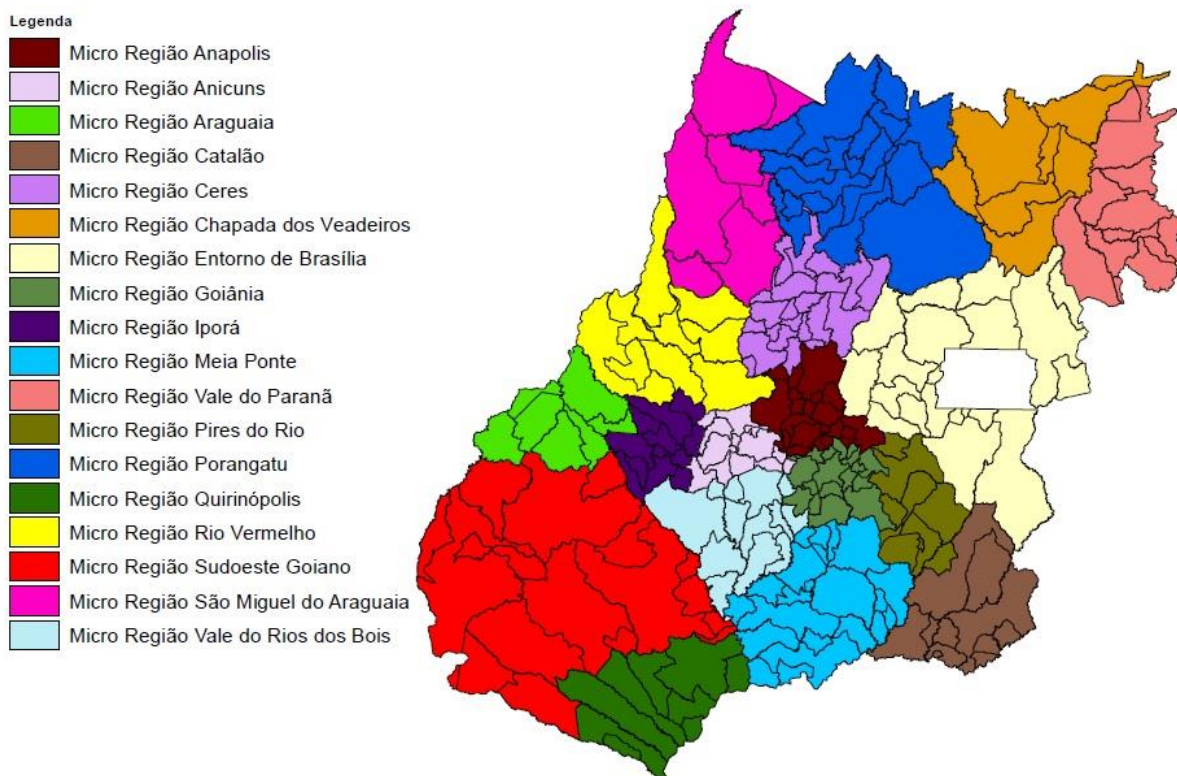
Na Figura 37 são mostradas as 5 macrorregiões do estado de Goiás, sendo as mesmas constituídas por 18 microrregiões mostradas na Figura 38, dentre as quais está inserida a área de estudo dessa dissertação. Trata-se da microrregião Sudoeste Goiano, composta por 18 municípios, sendo eles: Aparecida do Rio Doce, Aporé, Caiapônia, Castelândia, Chapadão do Céu, Doverlândia, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Montividiu, Palestina de Goiás, Perolândia, Portelândia, Rio Verde, Santa Helena de Goiás, Santa Rita do Araguaia, Santo Antônio da Barra e Serranópolis (IBGE, 2016).

Figura 37 - Macrorregiões do estado de Goiás.



Fonte: IBGE (2016).

Figura 38 - Microrregiões do estado de Goiás.



Fonte: IBGE (2016).

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DAS BIOMASSAS DISPONÍVEIS PARA GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

Para o cálculo do potencial energético da biomassa é necessário primeiramente fazer um levantamento da biomassa residual disponível para geração da bioeletricidade. Na determinação da biomassa disponível para a geração de bioeletricidade na Microrregião Sudoeste de Goiás foram utilizados dados do Sistema de Informação Geográfica (SIG), disponível no Sistema Estadual de Geoinformação Goiás (SIEG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Não foram utilizados os dados da CONAB pelo fato dos mesmos serem representativos do Estado como um todo, ou seja, não estarem dispostos por microrregião, uma vez que se busca neste trabalho o mapeamento das oportunidades de aproveitamento dos resíduos numa microrregião específica (Sudoeste de Goiás).

#### 4.2.1 Disponibilidade da Biomassa da Cana-de-Açúcar

A disponibilidade e o volume da biomassa dependem da quantidade de fibras que as espécies de cana-de-açúcar oferecem. As espécies utilizadas no país apresentam um material genético com teor de bagaço de aproximadamente 270 a 290 kg por tonelada de cana moída (considerando 50% de umidade), em base seca esses valores podem variar de 130 a 160  $\text{kg}_{\text{bagaço}}/\text{t}_{\text{cana}}$ . Desse total, 90% são aproveitados como combustível nas caldeiras da própria indústria para a produção de vapor (CONAB, 2011).

Outro resíduo do setor sucroalcooleiro são as folhas ou palha e as pontas, biomassa constituída durante o crescimento da cana-de-açúcar. Estes resíduos normalmente não são aproveitados. Dessa forma, o setor disponibiliza a biomassa em duas categorias: o bagaço de cana; o palhiço (palha e ponta da planta) que fica disponível no campo, quando esta é colhida sem queimar, e pode ser recuperado e transportado até a usina, sendo que estão sendo estudados mecanismos para que isso seja viável economicamente, bem como para a avaliação da disponibilidade real desse palhiço (CONAB, 2011).

No estado de São Paulo a queima veio sendo reduzida nos últimos anos, através de um Protocolo Ambiental assinado entre as usinas e o governo do estado, tendo sido extinta em áreas mecanizáveis em 2014 e completamente extinta em 2017 em todas as áreas (SAA-SP; SMA-SP; UNICA; ORPLANA, 2014)

Da mesma forma, o estado de Goiás dispõe da Lei N<sup>o</sup> 15.834, de 23 de novembro de 2006, que estabeleceu a redução gradativa da queima da palha de cana-de-açúcar em áreas mecanizáveis, nos seguintes prazos e percentuais: 1<sup>o</sup> ao 5<sup>o</sup> ano (2008-2012) - 10% da área cortada; 6<sup>o</sup> ao 10<sup>o</sup> ano (2013-2017) - 25% da área cortada; 11<sup>o</sup> ao 15<sup>o</sup> ano (2018-2022) - 50% da área cortada; 16<sup>o</sup> ao 20<sup>o</sup> ano (2023-2027) - 75% da área cortada; 21<sup>o</sup> ano (2028) - 100% da área cortada. Dessa forma, o estado de Goiás tem a disponibilidade do resíduo palhiço da cana-de-açúcar, o qual vem sendo incorporado de forma gradativa ao sistema de cogeração de energia. Para este estudo, os cálculos foram estimados considerando que as usinas sucroenergéticas não realizassem práticas de queima durante a colheita.

Vale ressaltar, que as caldeiras convencionais são projetadas para queimar o bagaço da cana-de-açúcar com 50% de umidade, porém as usinas estão utilizando as mesmas caldeiras para queimar o bagaço incorporado ao palhiço. No entanto, o palhiço possui menor umidade que o bagaço da cana-de-açúcar, sendo assim, as caldeiras não terão o mesmo controle de temperatura do vapor superaquecido, pois o palhiço queima rapidamente por possuir alto PCI. A proporção da mistura bagaço/palhiço está sendo pesquisada por diversos autores, na



literatura a proporção utilizada atualmente é de 10 a 15% de palhiço, pretendendo-se chegar até 20%. A quantidade de palhiço pode variar de 110 a 170  $\text{kg}_{\text{palhiço}}/\text{t}_{\text{cana}}$ , em média de 140  $\text{kg}_{\text{palhiço}}/\text{t}_{\text{cana}}$  (15% de umidade). O poder calorífico inferior do palhiço com 15% de umidade é de 12,90 MJ/kg, para o bagaço de cana o poder calorífico inferior do palhiço com 50% de umidade é 7,24 MJ/kg (ROMÃO JUNIOR, 2009).

No entanto, é recomendado que 50% do palhiço deve permanecer no campo, beneficiando a conservação do solo e contendo o desenvolvimento de ervas daninhas na lavoura, levando uma economia em uso de agrotóxicos. Assim, as estimativas feitas neste trabalho levarão em conta tais recomendações, ou seja, será considerada a retirada e aproveitamento de 50% destes resíduos.

#### **4.2.2 Disponibilidade da Biomassa de Eucalipto**

No cultivo de florestas para fins energéticos e para o setor moveleiro, os resíduos surgem na colheita florestal e podem ser compostos por galhos, copa, casca, raiz, árvores mortas, árvores abatidas acidentalmente, cepas, cipós, além de outras espécies não arbóreas danificadas e/ou abandonadas. Esses resíduos são constituídos ao longo de toda a cadeia produtiva. A quantidade e os tipos gerados variam com as características da floresta, da espécie, da natureza da matéria-prima, do produto, do grau de processamento, da eficiência do processo de transformação, dos tipos de máquinas empregadas pela indústria, do número de operações do processamento, e da qualificação da mão-de-obra com as exigências do mercado. A geração média desses resíduos pode ser de 390  $\text{kg}/\text{m}^3$ , 40% de umidade, com poder calorífico inferior médio de 12,97 MJ/kg (ABIB, 2015).

Parte desses resíduos florestais, folhagem e raízes, devem ser deixadas no local, isto para o enriquecimento do solo, por meio dos nutrientes existente nas folhas. Os resíduos deixados também tem a função de proteger o solo da exposição direta à água, vento, e sol, diminuindo a erosão, além de ajudar no processo de filtração da água, aumentando a qualidade e fazendo a captura necessária aos solos. Portanto, 20 % dos resíduos devem ficar no solo (MOREIRA, 2012).

#### **4.2.3 Disponibilidade da Biomassa de Resíduos Agrícolas**

A disponibilidade de resíduos agrícolas derivados da cultura do milho que permanecem no campo pode ser dividida em sabugo e colmo, folha e palha, esta última sendo a cobertura da espiga. Koopmans; Koppejan (1997) indicam uma produção de 2,2

$t_{\text{biomassa}}/t_{\text{milho}}$ , considerando que essa biomassa possui umidade em torno dos 11%, a biomassa a base seca é equivalente a  $1,96 t_{\text{biomassa-bs}}/t_{\text{milho}}$ . Em termos do poder calorífico inferior, os resíduos da cultura do milho apresentam o valor de  $17,7 \text{ MJ/kg}_{\text{biomassa-bs}}$ . Recomenda-se que 60% destes resíduos fiquem no solo. Desta maneira, as estimativas feitas neste trabalho levaram em conta tais recomendações, ou seja, considera a retirada e aproveitamento de 40% destes resíduos.

Segundo Oliveira (2011), outra cultura agrícola com potencial residual é o arroz, através de sua palha e casca. A palha é composta pelas folhas, hastes e caules. A casca é gerada na fase de beneficiamento do arroz. Uma das vantagens da casca de arroz é que ela já está localizada na unidade de beneficiamento, fato que pode diminuir bastante o custo logístico da biomassa.

Em relação aos resíduos agrícolas da produção de arroz que permanecem no campo, encontra-se a palha, para a qual Koopmans e Koppejan (1997) indicam uma produção de  $1,76 t_{\text{biomassa}}/t_{\text{arroz}}$ , considerando a umidade de 12%, a biomassa residual é equivalente a  $1,55 t_{\text{biomassa-bs}}/t_{\text{arroz}}$ . O poder calorífico inferior dos resíduos de arroz é de  $16,0 \text{ MJ/kg}_{\text{biomassa-bs}}$ . No caso da palha arroz a recomendação é a de que 60% destes resíduos fiquem no solo. Portanto, as estimativas feitas neste trabalho levaram em conta tais recomendações, ou seja, considera a retirada e aproveitamento de 40% destes resíduos.

Os resíduos da cultura do sorgo são gerados em uma proporção de  $0,50 t_{\text{biomassa}}/t_{\text{sorgo}}$  (ABIB, 2015). O sorgo é uma cultura “nova” no ramo da bioeletricidade, passando ainda por desenvolvimento para um melhor aproveitamento energético, mas tem gerado grandes expectativas no mercado (EMBRAPA, 2015). Para o cálculo da potência elétrica dos resíduos de sorgo, foi admitido que o poder calorífico do sorgo é o mesmo da cultura do milho, por serem espécies da mesma família (Poaceae), e possuir características semelhantes quanto ao conteúdo residual (palha e caule).

Segundo Koopmans e Koppejan (1997), a produção residual da cultura de soja (palha) é de  $2,5 t_{\text{biomassa}}/t_{\text{soja}}$ , com umidade de 15%, essa biomassa é equivalente a  $2,12 t_{\text{biomassa-bs}}/t_{\text{soja}}$ . O poder calorífico inferior da palha de soja foi considerado como sendo  $14,6 \text{ MJ/kg}_{\text{biomassa-bs}}$ . De acordo EPE (2014), é recomendado que cerca de 70% da palha permaneça no campo, o que foi acatado neste trabalho.

No estudo de Nogueira; Lora (2002), citado por EPE (2014), a produção de resíduos da cultura de feijão é cerca de  $1,23 t_{\text{biomassa}}/t_{\text{feijão}}$ , com umidade de 11%. Convertendo-se estes números de produção à base seca, calculou-se uma produção de  $1,16 t_{\text{biomassa-bs}}/t_{\text{feijão}}$ . O poder calorífico inferior da palha de feijão é de  $14 \text{ MJ/kg}_{\text{biomassa-bs}}$ . No caso da palha do feijão a

recomendação é a de que 60% destes resíduos permaneçam no solo, ou seja, deve ser considerada a retirada e aproveitamento de 40% destes resíduos.

Após todas estas considerações, na Tabela 10 é apresentado um levantamento de produção agrícola e da biomassa produzida com base nas referências de fator residual quantitativo de cada biomassa, através das estimativas de produção de safra obtidas no SIEG e IBGE no ano de 2015. Nota-se que a produtividade total de safra no ano de 2015 foi de 39.068.352 toneladas, gerando um total de biomassa residual a base seca de 9.606.339 toneladas na microrregião sudoeste de Goiás.

Tabela 10 - Levantamento de produção agrícola e biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.

<b>Produto Agrícola</b>	<b>Produção Safra* (milhões t)</b>	<b>Fator Residual</b>	<b>Fator de Aproveitamento</b>	<b>Biomassa Residual para Bioeletricidade (milhões t)</b>
Cana-de-Açúcar (Bagaço)	14,6	0,27	0,90	3,5
Cana-de-Açúcar (Palhiço)	14,6	0,14	0,50	1,02
Milho (Palha e Sabugo)	5,9	2,20	0,40	5,18
Arroz (Casca e Palha)	0,0008	1,76	0,40	0,0006
Sorgo	0,22	0,50	0,40	0,04
Soja	3,18	2,50	0,30	2,38
Feijão	0,04	1,23	0,40	0,02
Eucalipto (Resíduo da Colheita)	0,56	0,39	0,80	0,17
<b>Produção Total</b>	<b>39,10</b>		<b>Total de Resíduos</b>	<b>9,62</b>

Nota: \*Produção Agrícola Safra 2015.

Fonte: SIEG (2016).

O fator residual, apresentado na Tabela 10, é a proporção residual gerada por tonelada da produção agrícola da referida safra, porém não é recomendada a utilização total deste resíduo. Sendo assim, o fator de aproveitamento é a quantidade de resíduo que pode ser utilizado para geração de energia por tonelada de produtos agrícolas.

#### 4.2.4 Disponibilidade da Biomassa de Resíduos Pecuários

Para o cálculo da disponibilidade da biomassa residual da atividade pecuária foram utilizados os índices de produção de esterco por unidade animal apresentados por Santos; Morais (2009), citado pela EPE (2014), que consideram que a quantidade de resíduos

pecuários com sendo 15 kg/bovino/dia; 2,35 kg/suíno/dia (WINROCK, 2009); e 0,18 kg/ave/dia (AIRES et al., 2011 citado por EPE, 2014). Para estimar o potencial energético dos resíduos pecuários optou-se por avaliar apenas a biodigestão. Foram utilizados dados de quantidade de rebanhos existentes na microrregião delimitada para estudo para calcular as quantidades de biomassa residual por unidade animal e por kg de esterco, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Produção de biomassa residual animal.

<b>Rebanho</b>	<b>Quantidade (milhões de cabeça)</b>	<b>kg de Esterco/Animal/dia</b>	<b>Biomassa Residual (milhões t/ano)</b>
Bovino	2,5	15	13,5
Suíno	21,1	2,5	19,7
Ave	1,07	0,18	0,070

A estimativa da produção de biogás difere conforme as espécies animais quanto à produção diária massa de esterco. Dessa forma, as quantidades equivalentes de biogás produzidas na Microrregião de estudo foram obtidas utilizando os índices apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Levantamento da produção de biogás na microrregião sudoeste de Goiás.

<b>Rebanho</b>	<b>Biomassa Residual (milhões t/ano)</b>	<b>m<sup>3</sup> de Biogás / t esterco *</b>	<b>Produção de Biogás (milhões de m<sup>3</sup> / ano)</b>
Bovino	13,5	75	1.015,3
Suíno	19,7	40	770,60
Ave	0,070	90	6,35

Nota: \*Produção de biogás por toneladas de esterco

Fonte: Winrock (2009).

#### 4.3 POTENCIAL DE AUMENTO DA BIOELETRICIDADE NA MICRORREGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

Para mostrar as áreas com potencial energético com biomassa residual, foi utilizada metodologia de mapeamento por cartograma. Os cartogramas gerados neste trabalho para análise e discussão não apresentam todos os elementos requeridos em um mapa. Desta forma, não são apresentados título, escala média, rosa dos ventos e fonte para todos os cartogramas, mas é apresentada a variável de interesse (produção anual) utilizando a variação gradativa de cores.

Todos os cartogramas foram produzidos através da aquisição da base de dados em formato *shapefile*, pela plataforma de dados SIG *shapefile*, disponível no site do Sistema Estadual de Geoinformação - SIEG de Goiás. Esses dados foram importados para *software* livre QGIS 2.12.2, através da ferramenta Camada Vetorial.

Antes da apresentação das equações para os cálculos do potencial energético e potência elétrica da biomassa residual, faz-se necessária a apresentação das situações da microrregião sudoeste de Goiás, onde há a possibilidade do aproveitamento dessa biomassa residual.

### **Situação 1 – Combustão Direta em Caldeiras, considerando o uso do Ciclo Rankine**

Para o cálculo da potência elétrica dos resíduos agrícolas e silviculturais na combustão direta em caldeiras de usinas sucroalcooleiras, fez-se necessário utilizar uma análise de sazonalidade, ou seja, a disponibilidade dos resíduos conforme os meses de colheita da safra e safrinha. Outro parâmetro importante para a obtenção da potência elétrica é a eficiência de conversão, para os cálculos foi estabelecido que as usinas que operam em ciclo Rankine, a eficiência de conversão do rendimento elétrico de 20%.

No caso do cálculo do potencial energético, os fatores da biomassa residual e poder calorífico inferior foram estimados considerando o resíduo em base úmida. Este critério é justificado por não ter encontrado dados na literatura relacionados à perda de umidade da biomassa, durante o transporte e armazenamento, até o momento da combustão. Sendo assim, o potencial energético e potência elétrica foram calculados com dados pós-colheita, ou seja, em base úmida.

### **Situação 2 – Biodigestão**

O potencial energético do biogás a partir dos dejetos animais (bovino, suíno e ave) foi estimado tendo como parâmetros os valores do poder calorífico inferior, que para este estudo foi considerado em 22,32 MJ/m<sup>3</sup> e a produção anual de biogás em m<sup>3</sup> (CETESB, 2006).

A potência elétrica gerada através do biogás foi determinada utilizando a metodologia proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2006), onde o resíduo animal é transformado em energia química, gerando moléculas de biogás que, por meio de uma combustão controlada, é transformado em energia mecânica, e depois em energia elétrica. As tecnologias convencionais mais utilizadas para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna. Nesse estudo foi

estabelecido que a combustão do biogás será realizada em um motor a diesel adaptado para utilizar o biogás como combustível, considerando um rendimento de 30% para o grupo gerador.

Há a disponibilidade desse resíduo e durante todo o ano, porém foram descontados 5% das horas anuais, considerando o período de manutenção dos equipamentos da tecnologia de conversão.

### **Situação 3 - Produção de Briquetes**

Os resíduos estudados para produção de briquetes são os lignocelulósicos não utilizados na microrregião sudoeste do Estado de Goiás, sendo eles, os resíduos do milho, arroz, sorgo, soja, feijão e palhiço da cana-de-açúcar. Dessa forma, a biomassa residual para briquetagem é constituída por todos os diferentes tipos de resíduos, porém com compostos químicos semelhantes (hemicelulose e celulose).

O potencial energético dos briquetes foi estimado tendo como parâmetros os valores do poder calorífico inferior, que para este estudo foi considerado em 15,89 MJ/kg, e a produção anual de biomassa residual lignocelulósica.

A potência elétrica não foi calculada devido à grande variação da disponibilidade de biomassa residual no decorrer do ano, ou seja, em períodos de safra a quantidade de resíduos é diferente do período de safrinha, o que faz com que a proporção de resíduo seja diferente no decorrer do ano. Dessa forma, não foi possível obter uma média da disponibilidade de biomassa residual de forma confiável, devido à distribuição da disponibilidade ser muito heterogênea e não linear.

Para efeitos de cálculo de cada cenário, as avaliações da quantidade de biomassa disponível, potencial energético e potência elétrica, são influenciadas por diferentes fatores, ou seja, o processo de cálculo realizado nesse estudo segue a descrição apresentada a seguir.

Para estimar o potencial energético e a potência elétrica, é necessário o valor da biomassa residual úmida, conforme apresentada anterior (Tabela 10), sendo que o processo de cálculo é efetuado pela Eq. (1). Todas as equações apresentadas a seguir foram adaptadas das formulações apresentadas por Oliveira (2011).

$$Mu_{RES} = P_{Col} * f_{Apr} * f_{Res} \quad (1)$$

onde:

$Mu_{Res}$ : Biomassa úmida dos resíduos (kg);

$P_{Col}$ : Produção total colhida na safra (kg);

$f_{Apr}$ : Fator de aproveitamento dos resíduos;

$f_{Res}$ : Fator residual da biomassa a base seca.

Calculadas as respectivas quantidades de biomassa residual e utilizando alguns índices na conversão desses resíduos em energia, os quais serão apresentados na Eq. (2), obtêm-se o potencial energético, sendo que, para facilitar a interpretação dos dados, os resultados do potencial energético da biomassa residual serão apresentados em TJ:

$$E_n = Mu_{Res} * PCI_{bu} \quad (2)$$

onde:

$E_n$ : representa o potencial energético (TJ);

$Mu_{Res}$ : Biomassa úmida dos resíduos (kg);

$PCI_{bu}$ : Poder calorífico inferior da biomassa residual úmida (TJ/kg).

Como não foi encontrado na literatura o poder calorífico inferior das biomassas residuais úmidas, para as culturas agrícolas de milho, arroz, sorgo, soja e feijão, é necessário realizar o cálculo do  $PCI_{bu}$ , utilizando a Eq. (3):

$$PCI_{bu} = ((1 - w) * PCI_{bs}) - (w * hl_{v_{\text{água}}}) \quad (3)$$

onde:

$PCI_{bu}$ : Poder calorífico inferior médio residual da biomassa úmida (MJ/kg);

$PCI_{bs}$ : Poder calorífico inferior médio residual da biomassa seca (MJ/kg);

$w$ : Umidade da biomassa residual em base úmida;

$hl_{v_{\text{água}}}$ : Entalpia da vaporização da água em condições padrão a 25°C (MJ/kg).

Para o cálculo da potência elétrica dos resíduos agrícolas e silviculturais dos municípios da Microrregião Sudoeste do Estado de Goiás, considerou-se a disponibilidade desses resíduos na safra de estudo, uma vez que é sabido que os resíduos agrícolas e silvicultural são gerados durante o processo de colheita, exceto o bagaço de cana-de-açúcar (gerado no processo de beneficiamento). Portanto, há uma variação do período de colheita ao

longo do ano, em função das espécies agrícolas e variedades dos cultivares agrícolas. As estimativas destes períodos foram calculadas conforme o Calendário de Plantio e Colheita do MAPA (MAPA, 2015). A potência máxima elétrica foi obtida através da Eq. (4):

$$Pot_e = \left( \frac{Mu_{Res} * PCI_{bu}}{\Delta t} \right) * \eta_{Conv} \quad (4)$$

onde:

$Pot_e$ : Potência elétrica da biomassa (MW);

$PCI_{bu}$ : Poder calorífico inferior médio residual da biomassa úmida (MJ/kg);

$\Delta t$ : Representa a disponibilidade em horas anuais, ou seja, é o período que contém biomassa residual;

$\eta_{Conv}$ : Eficiência de conversão de energia no processo (%).

A Tabela 13 mostra os parâmetros que devem ser considerados nas Eqs. (1), (2) e (3) para a determinação do potencial energético de cada biomassa.

Tabela 13 - Parâmetros para a biomassa residual nos cálculos do potencial energético e potência elétrica.

<b>Biomassa Residual</b>	<b><math>PCI_{bs}</math> (MJ/kg)</b>	<b><math>PCI_{bu}</math> (MJ/kg)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b><math>\Delta t</math> (horas anuais)</b>
Cana (Bagaço)	-	7,24 <sup>3</sup>	50 <sup>3</sup>	5760 <sup>6</sup>
Cana (Palhiço)	-	12,90 <sup>3</sup>	15 <sup>3</sup>	5.760 <sup>6</sup>
Arroz (Casca e Palha)	16,00 <sup>1</sup>	14,90 <sup>5</sup>	12 <sup>1</sup>	3.600 <sup>6</sup>
Milho (Palha e Sabugo)	17,70 <sup>1</sup>	15,50 <sup>5</sup>	11 <sup>1</sup>	5.760 <sup>6</sup>
Sorgo	-	15,50 <sup>5</sup>	11 <sup>1</sup>	2.880 <sup>6</sup>
Feijão	14,00 <sup>2</sup>	12,26 <sup>5</sup>	11 <sup>2</sup>	2.880 <sup>6</sup>
Soja	14,60 <sup>1</sup>	12,00 <sup>5</sup>	15 <sup>1</sup>	2.880 <sup>6</sup>
Eucalipto	-	12,97 <sup>4</sup>	40 <sup>4</sup>	8.322 <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Koopmans e Koppejan (1997); <sup>2</sup> Nogueira e Lora (2002), citado por EPE (2014); <sup>3</sup> Romão Junior (2009);

<sup>4</sup> ABIB (2015); <sup>5</sup> Valores calculados; <sup>6</sup> Calendário de Plantio e Colheita do MAPA (2015).

Para a determinação do potencial energético da biomassa residual que pode ser incrementado na produção de energia na Microrregião Sudoeste do Estado de Goiás, pode ser utilizada a Eq. (5):



$$(E_n)_{\text{Incremento}} = (E_n)_{\text{Total}} - (E_n)_{\text{Consumo}} \quad (5)$$

onde:

$(Pot_e)_{\text{incremento}}$ : Potência Elétrica de aumento (MJ);

$(Pot_e)_{\text{total}}$ : Potência Elétrica total da Microrregião Sudoeste (MJ);

$(Pot_e)_{\text{consumo}}$ : Potência Elétrica já utilizada na Microrregião Sudoeste (MJ).

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos cenários em diferentes condições, conforme exposto no capítulo anterior. Serão também apresentadas as análises dos resultados de maneira a identificar a biomassa residual e os municípios da microrregião sudoeste do Estado de Goiás com maior potencial de expansão da bioeletricidade.

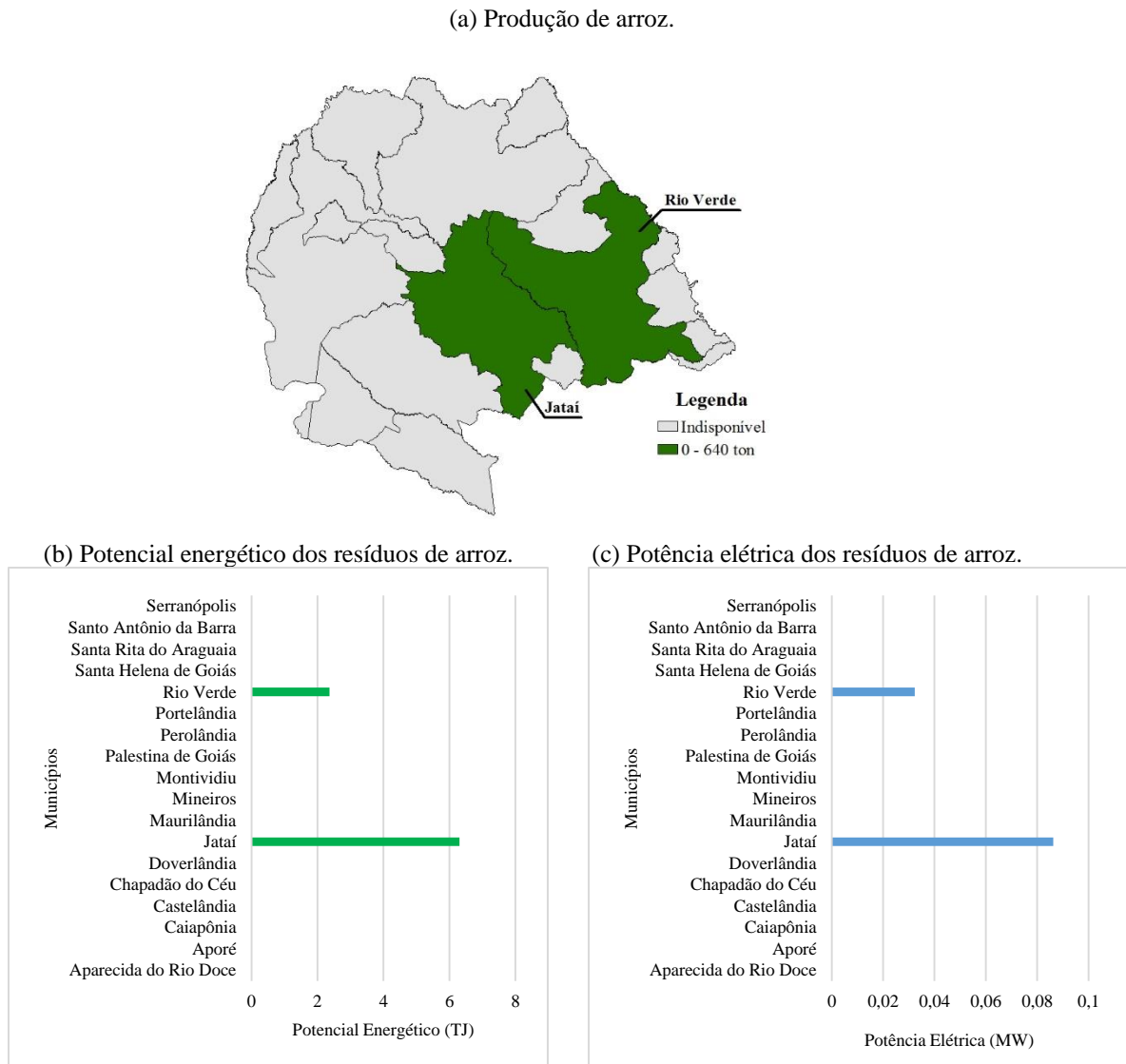
### 5.1 BIOMASSA RESIDUAL DO ARROZ - SITUAÇÃO 1

A quantidade de arroz com casca produzida em 2015 na microrregião sudoeste do Estado de Goiás está apresentada no cartograma da Figura 39a, sendo sua produção apenas nas cidades de Rio Verde e Jataí, com 880 toneladas de grão no ano 2015. A produção de arroz na região estudada é pequena, devido à precipitação não ser suficiente para o atente a necessidade hídrica da cultura. O potencial energético é demonstrado em forma de gráfico na Figura 39b, sendo de 6,31 TJ para o município de Jataí e de 2,37 TJ para Rio Verde, considerando a combustão de biomassa residual da palha e casca de arroz.

A potência elétrica é apresentada no gráfico da Figura 39c, sendo encontrados os valores de 0,09 MW para os resíduos da cultura de arroz gerados no município de Jataí e 0,03 MW para Rio Verde.

Estes resíduos estão disponíveis no período da colheita, que ocorre na região centro-oeste do Brasil, conforme o Calendário de Plantio e Colheita do MAPA (2015), no período de janeiro a maio.

Figura 39 - Produção de arroz em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.



Fonte: Própria autora.

## 5.2 BIOMASSA RESIDUAL DO MILHO - SITUAÇÃO 1

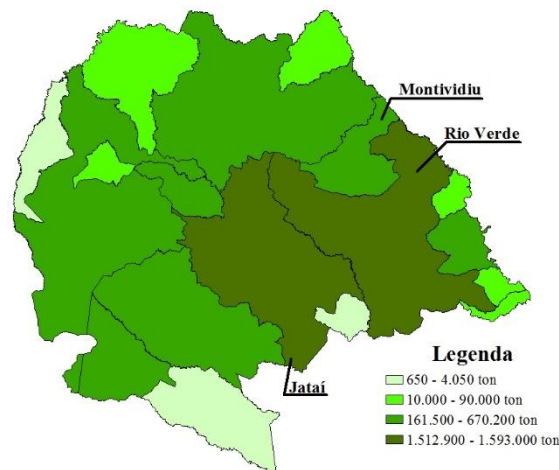
A produção de milho na microrregião sudoeste do Estado de Goiás foi de 5.890.600 milhões de toneladas no ano de 2015, conforme mostra o cartograma apresentado na Figura 40a. Os municípios com maior produção dessa cultura são Jataí, com 219 mil hectares de área colhida e 1.593.000 milhões de toneladas de grão; Rio Verde, com 219 mil hectares colhidas e 1.512.900 milhões de toneladas de grão; Montividiu, com 85,8 mil hectares de área colhida e 670.200 mil de toneladas de grão.

Como indicado na Figura 40b, as três principais cidades de produção de milho (Jataí, Rio Verde e Montividiu) alcançaram em 2015 o potencial energético de aproximadamente 20,9 mil TJ, e na microrregião sudoeste do estado de Goiás foi de 80 mil TJ, considerando a combustão de biomassa residual de sabugo e palhada. Na Figura 40c é representada a potência elétrica da microrregião sudoeste do Estado de Goiás, sendo que os municípios com maior destaque são Jataí, com 140 MW; Rio Verde, com 148 MW; e Montividiu, com 62 MW.

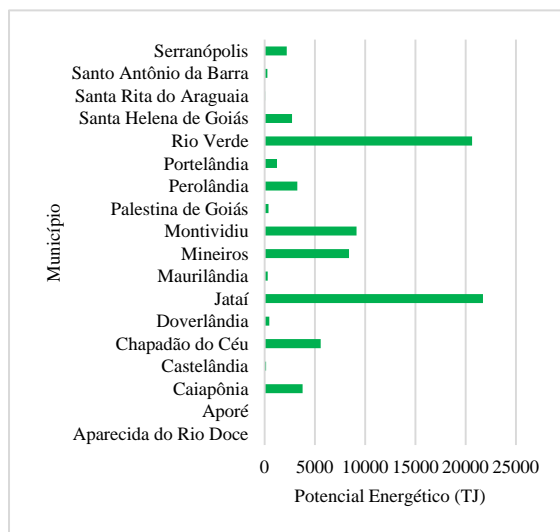
Estes resíduos estão disponíveis no período da colheita, que ocorre na região centro-oeste do Brasil, conforme o Calendário de Plantio e Colheita do MAPA (2015), em dois momentos, na safra, com colheita de novembro a janeiro, e na safrinha, de maio a setembro.

Figura 40 - Produção de milho em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.

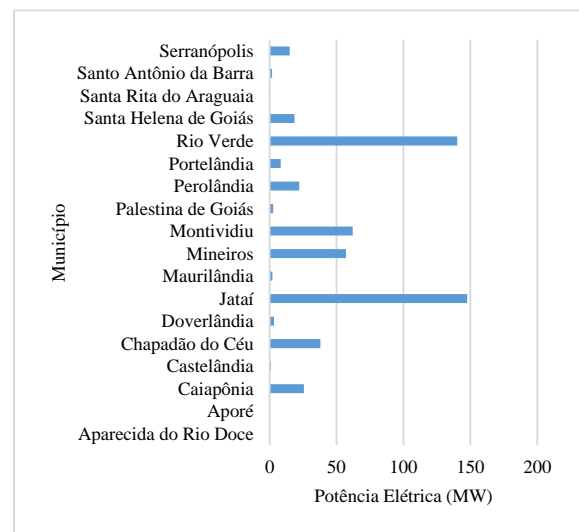
(a) Produção de milho.



(b) Potencial energético dos resíduos de milho.



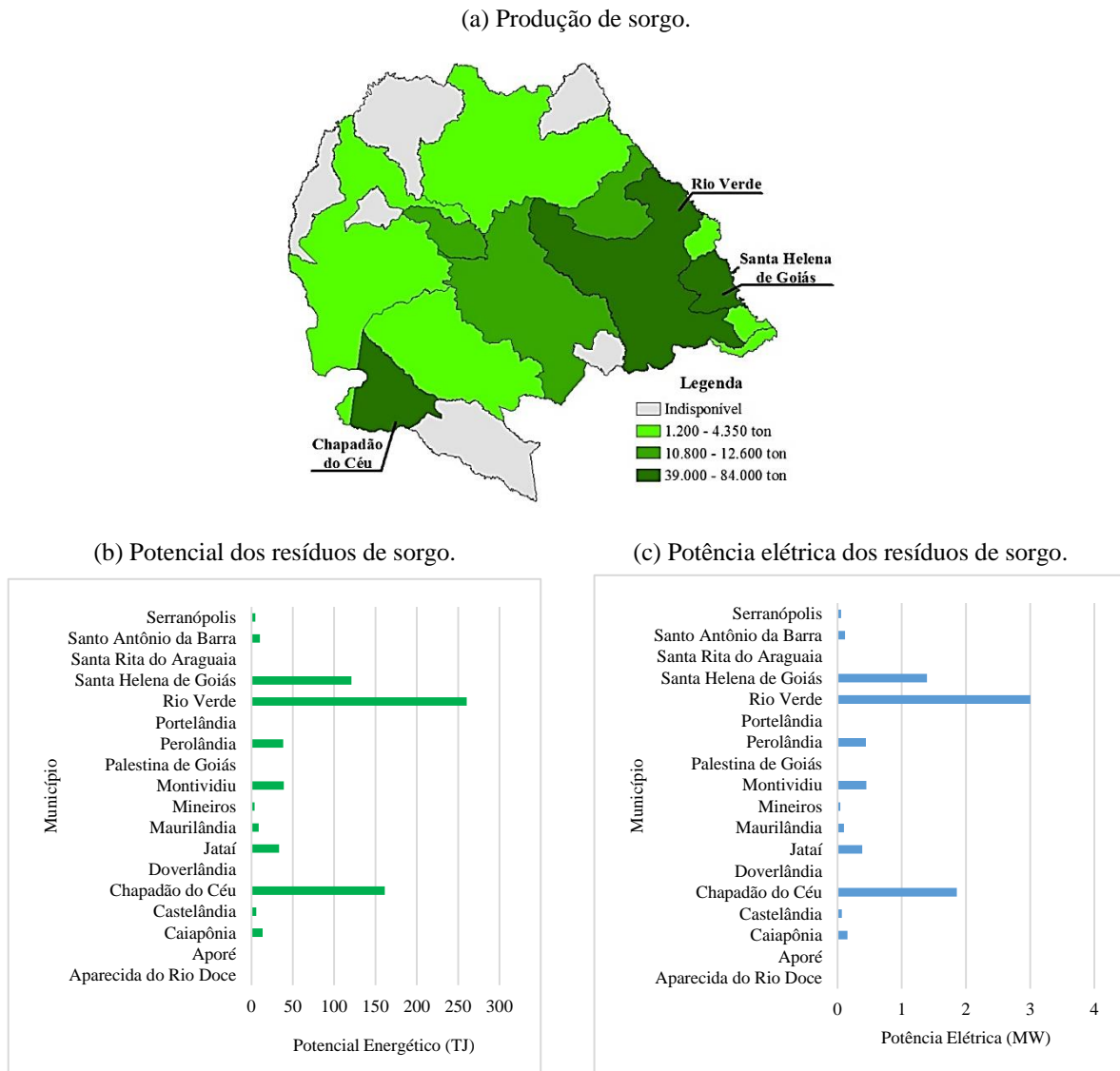
(c) Potência elétrica dos resíduos de milho.



### 5.3 BIOMASSA RESIDUAL DO SORGO - SITUAÇÃO 1

A produção de sorgo na microrregião sudoeste do estado de Goiás é destinada ao plantio de safrinha (Fev/Set), a área total colhida na região estudada é de 65 mil hectares com produção de 225.835 mil toneladas, conforme mostra o cartograma apresentado na Figura 41a. As cidades que obtiveram maior produção no ano de 2015 foram Rio Verde, Chapadão do Céu e Santa Helena de Goiás. O potencial energético da biomassa residual de sorgo nessas cidades foi de aproximadamente 260, 161 e 120 TJ, respectivamente, e na microrregião sudoeste do estado de Goiás foi de 695 TJ, conforme mostra a Figura 41b.

Figura 41 - Produção de sorgo em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.



Fonte: Própria autora.

A potência elétrica dos resíduos de sorgo, apresentada na Figura 41c, têm maior destaque nos municípios Rio Verde, com 3 MW; Chapadão do Céu, com 1,85 MW; e Santa Helena de Goiás, com 1,39 MW.

#### 5.4 BIOMASSA RESIDUAL DA CANA-DE-AÇÚCAR - SITUAÇÃO 1

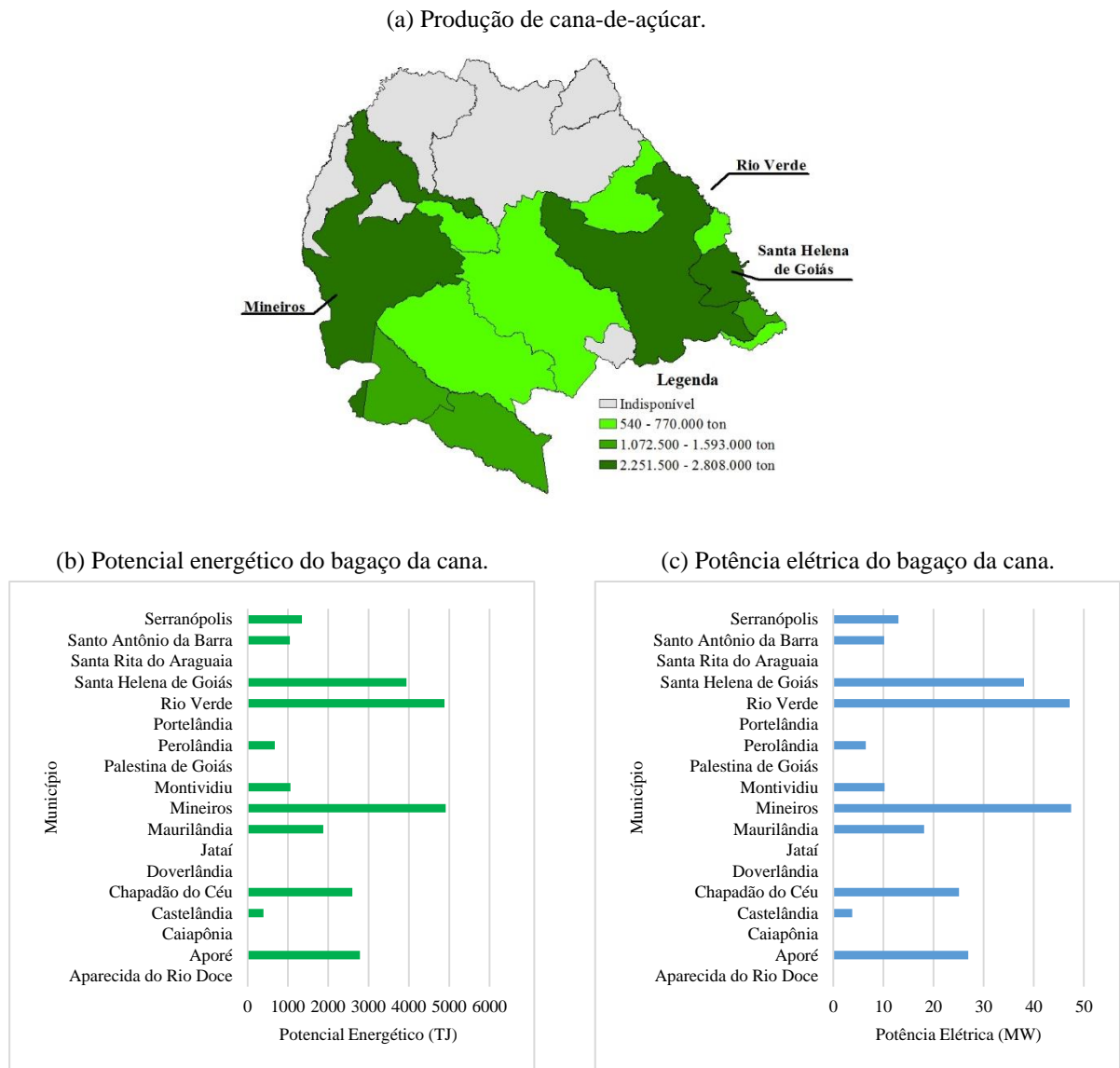
A região estudada possui 10 empreendimentos do setor sucroalcooleiro, sendo que estas usinas estão situadas próximas umas às outras (distância máxima de aproximadamente 100 km).

A expansão da cana-de-açúcar no sudoeste goiano é considerada recente (2005/2006), e esse crescimento é tanto da área plantada como da produtividade, pois a região têm solos e clima altamente favoráveis à cultura. Em 2015 a microrregião sudoeste do estado de Goiás apresentou 208.080 mil hectares de área colhida, com a produção de 14.587.340 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, os municípios que sobressaíram em produção foram Mineiros, com 2.808 milhões de toneladas, Rio Verde, com 2.790 milhões de toneladas, e Santa Helena de Goiás, com 2.251 milhões de toneladas, como pode ser observado no cartograma apresentado na Figura 42a.

O potencial energético da biomassa residual da cana-de-açúcar foi calculado para o bagaço e palhico da cana. As plantas de cogeração da região operam somente com o bagaço da cana, o potencial energético dessa biomassa residual em 2015 para as três principais cidades produtora dessa cultura foi de aproximadamente 4,9 mil TJ em Mineiros, 4,8 mil TJ em Rio Verde e 3,9 mil TJ em Santa Helena de Goiás, sendo o potencial de energia na microrregião sudoeste do estado de Goiás de aproximadamente 25,5mil TJ, conforme pode der visto na Figura 42b. As cidades que obtiveram maior valor de potência elétrica com a queima do bagaço da cana-de-açúcar foram: Mineiros, com 47,64 MW; Rio Verde, com 47,34 MW; Santa Helena de Goiás, com 38,20 MW, conforme mostrado na Figura 42c.

A disponibilidade do bagaço da cana-de-açúcar ocorre no período de safra, compreendido entre os meses de abril a dezembro. Dessa forma, as usinas da região param a moagem da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, o processo de cogeração de energia no período de entressafra (janeiro a março).

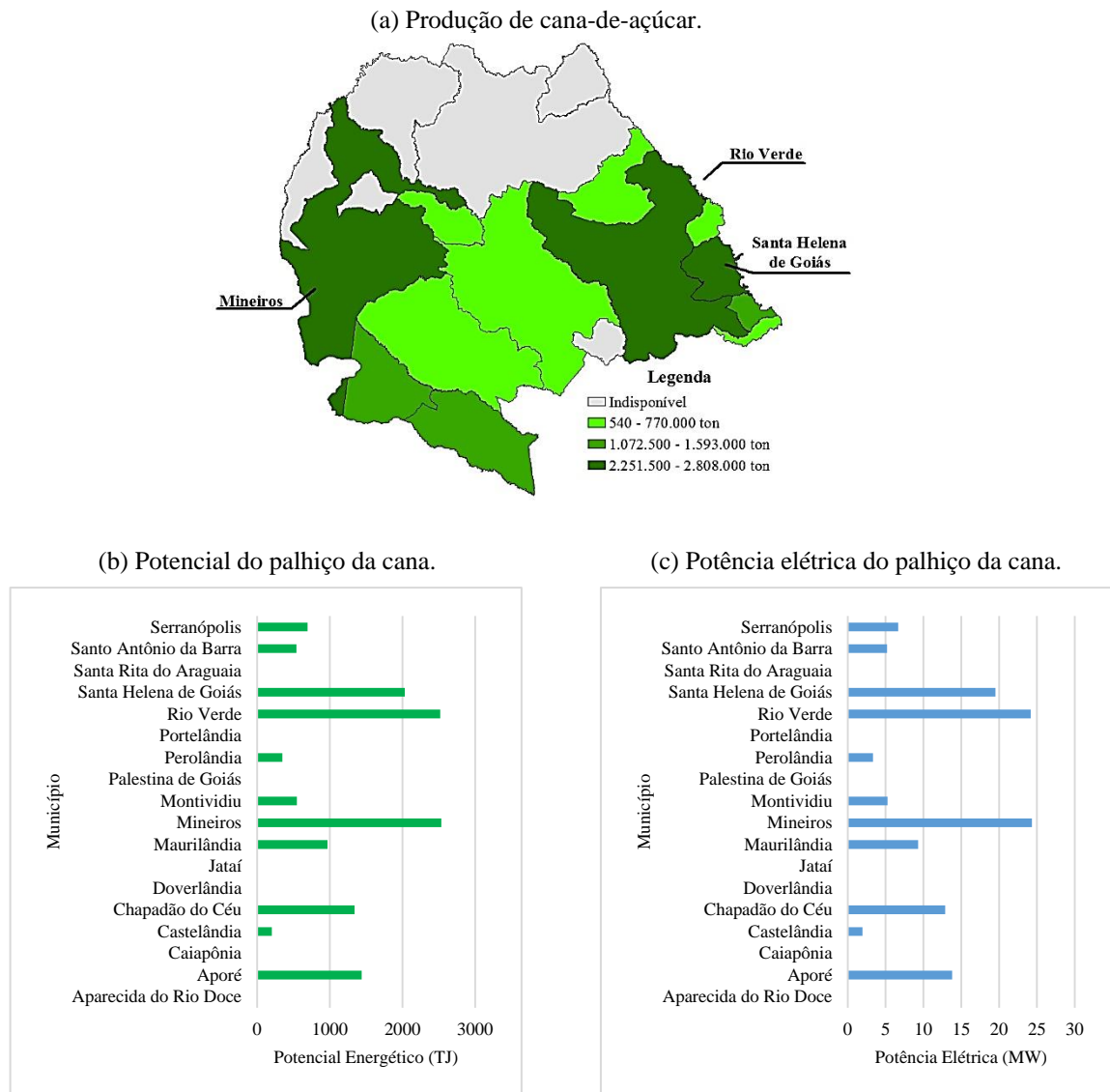
Figura 42 - Produção de cana-de-açúcar em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual (Bagaço) na microrregião sudoeste de Goiás.



Fonte: Própria autora.

Atualmente, na região estudada não é utilizado o palhico da cana-de-açúcar nas caldeiras das plantas de cogeração, sendo o mesmo deixado no solo. Para a utilização desse resíduo as indústrias necessitariam de tecnologias que viabilizassem a retirada e o transporte desse material do campo para a usina. O potencial energético do palhico da cana-de-açúcar, na microrregião sudoeste do estado de Goiás, foi calculado como sendo aproximadamente 13.000 TJ, sendo que para os três principais municípios com maior produção na região considerada é aproximadamente 2.500 TJ em Mineiros e Rio Verde; 2.000 TJ em Jataí, segundo dados apresentados na Figura 43b.

Figura 43 - Produção de cana-de-açúcar em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual (Palhiço) na microrregião sudoeste de Goiás.



Fonte: Própria autora.

A potência elétrica dos resíduos de palhiço de cana-de-açúcar, apresentada na Figura 43c, tem maior destaque nos municípios de Mineiros, com 24,4 MW; Rio Verde; com 24,3 MW e Santa Helena de Goiás, com 19,6 MW.



## 5.5 BIOMASSA RESIDUAL DA SOJA - SITUAÇÃO 1

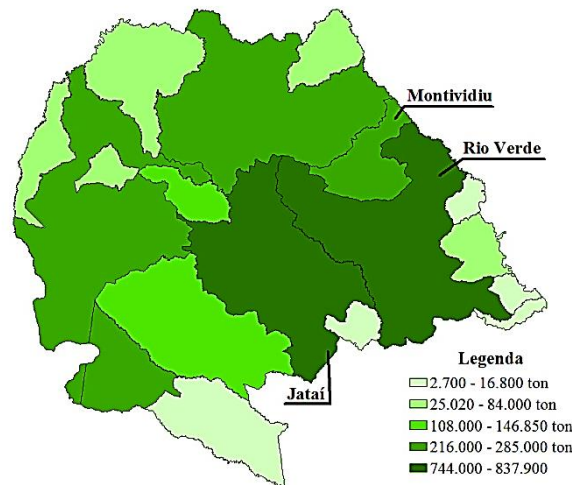
A produção de soja na microrregião sudoeste do Estado de Goiás foi de 3.179.530 milhões de toneladas no ano de 2015, conforme mostra o cartograma apresentado na Figura 44a. Os municípios com maior produção dessa cultura são Jataí, com 285 mil hectares de área colhida e 837 mil de toneladas de grão; Rio Verde, com 310 mil hectares colhidas e 744 mil de toneladas de grão; e Montividiu, com 125 mil hectares de área colhida e 285 mil de toneladas de grão.

Como indicado na Figura 44b, as três principais cidades de produção de soja (Jataí, Rio Verde e Montividiu) alcançaram em 2015 o potencial energético de aproximadamente 10, 9 e 3,4 mil TJ, respectivamente e na microrregião sudoeste do estado de Goiás foi de 38 mil TJ, considerando a combustão de biomassa residual da palhada da soja. Na Figura 44c é representada a potência elétrica da microrregião sudoeste do Estado de Goiás, os municípios com maior destaque são Jataí; com 166 MW, Rio Verde, com 148 MW; e Montividiu, com 56 MW.

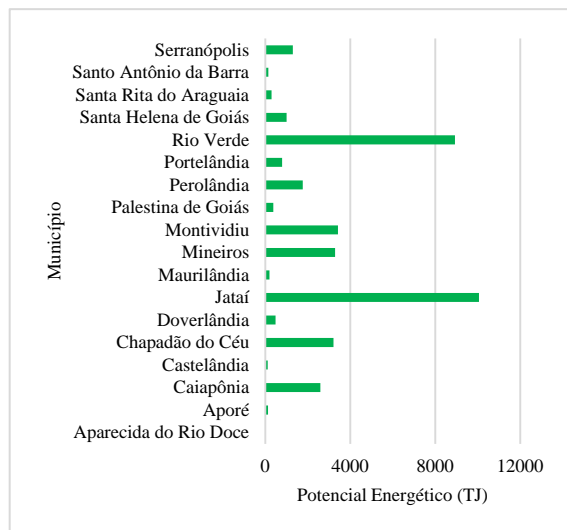
Estes resíduos estão disponíveis no período da colheita, que ocorre na região centro-oeste do Brasil entre janeiro e abril, conforme o Calendário de Plantio e Colheita do MAPA (2015).

Figura 44 - Produção de soja em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.

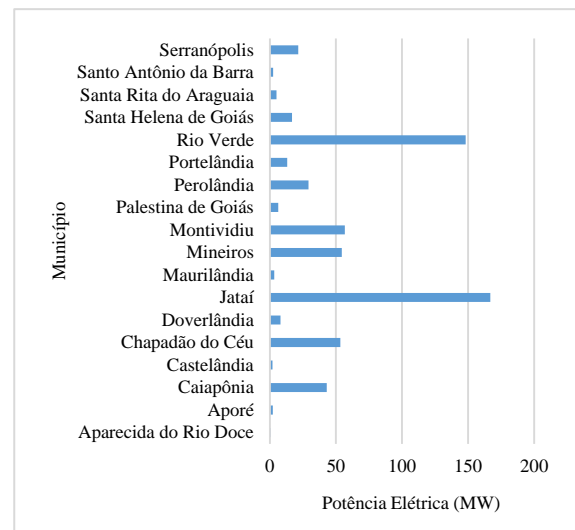
(a) Produção de soja.



(b) Potencial energético da biomassa de soja.



(c) Potência elétrica dos resíduos de soja.



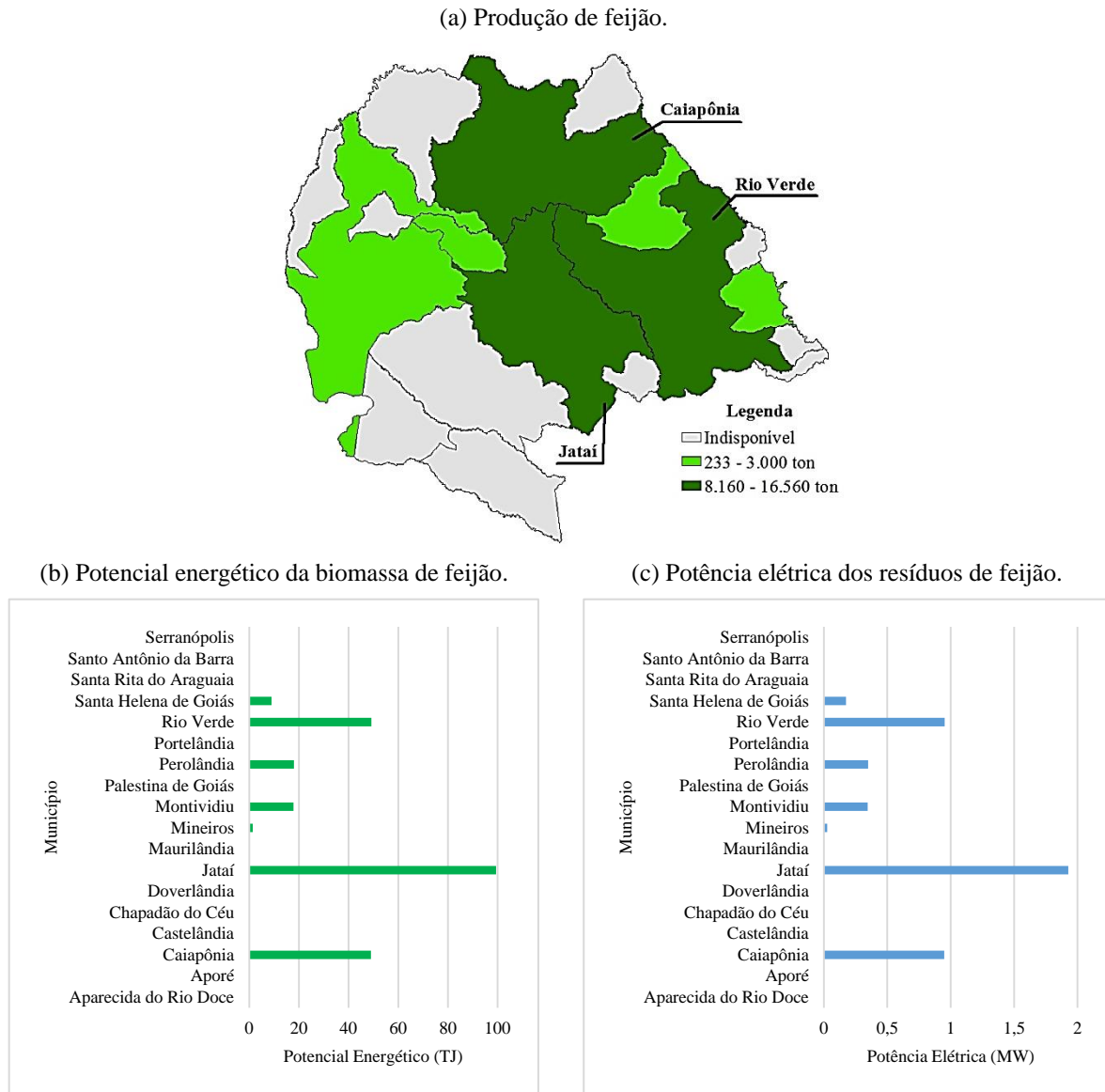
Fonte: Própria autora.

## 5.6 BIOMASSA RESIDUAL DO FEIJÃO - SITUAÇÃO 1

A produção de feijão na microrregião sudoeste do estado de Goiás é destinada ao plantio de safra (novembro e dezembro) e safrinha (março a junho), sendo que a área total colhida na região estudada é de 18 mil hectares com produção de 41 mil toneladas, conforme mostra o cartograma apresentado na Figura 45a. As cidades que obtiveram maior produção no ano de 2015 foram Jataí, Rio Verde, Caiapônia. O potencial energético da biomassa residual de feijão nessas cidades foi de aproximadamente 99, 49 e 48 TJ, e na microrregião sudoeste do estado de Goiás foi de 244 TJ, respectivamente, conforme mostra a Figura 45b. A potência

elétrica dos resíduos de feijão, apresentada na Figura 45c, tem maior destaque nos municípios Jataí, com 1,92 MW; Rio Verde, com 0,95 MW e Caiapônia, com 0,94 MW (Figura 45).

Figura 45 - Produção de feijão em 2015, potencial energético e potência elétrica de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.



Fonte: Própria autora.

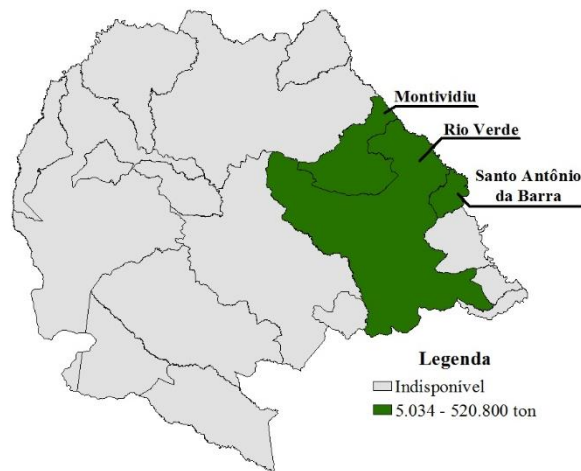
## 5.7 BIOMASSA RESIDUAL DO EUCALIPTO - SITUAÇÃO 1

A produção de eucalipto na microrregião sudoeste do estado de Goiás é destinada para a secagem de grão, em forma de lenha. A biomassa residual existente nessa região é oriunda do processo de colheita da madeira (galhos, ponteiros, tocos) que acaba permanecendo em

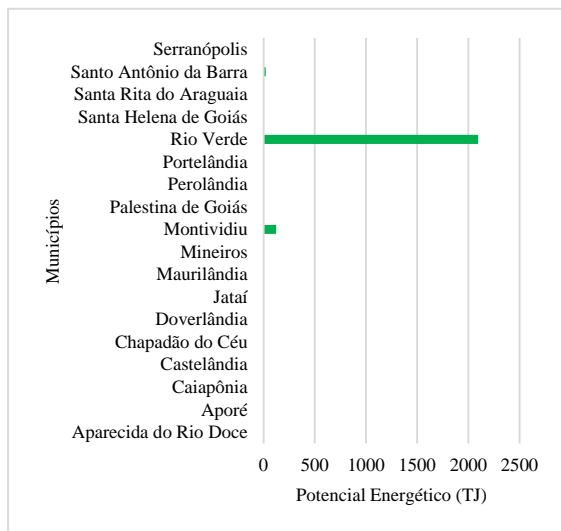
campo em decomposição, e está disponível durante do ano. Em 2015, os municípios de Rio Verde, Montividiu e Santo Antônio da Barra foram os produtores de eucalipto da região, sendo que a produção total de madeira para lenha foi de 556.214 milhões de toneladas, conforme mostra o cartograma apresentado na Figura 46a, sendo que o potencial energético da microrregião sudoeste do estado de Goiás foi de aproximadamente 2.238 mil TJ, sendo que para cada município foi de aproximadamente 2,1 mil TJ em Rio Verde; 122 TJ em Montividiu; e 20 TJ em Santo Antônio da Barra, conforme mostrado na Figura 46b. A potência elétrica da microrregião sudoeste do estado de Goiás foi de aproximadamente 15 MW, sendo que para cada município foi de aproximadamente 14 MW em Rio Verde; 0,82 MW em Montividiu; e 0,14 MW em Santo Antônio da Barra, conforme mostrado na Figura 46c.

Figura 46 - Produção de eucalipto em 2015 e potencial energético de sua biomassa residual na microrregião sudoeste de Goiás.

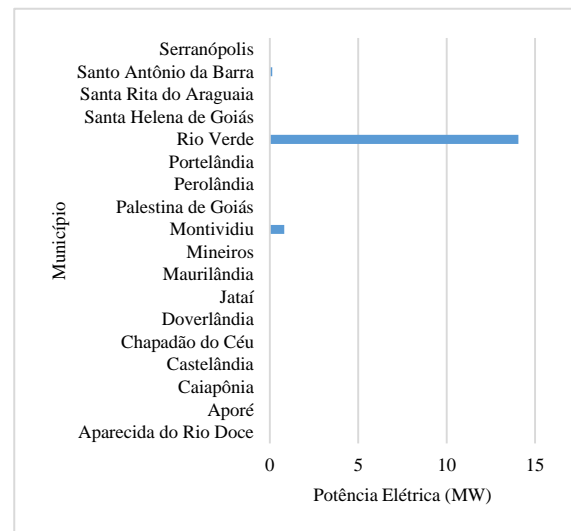
(a) Produção de eucalipto.



(b) Potencial energético dos resíduos de eucalipto.



(c) Potência elétrica dos resíduos de eucalipto.



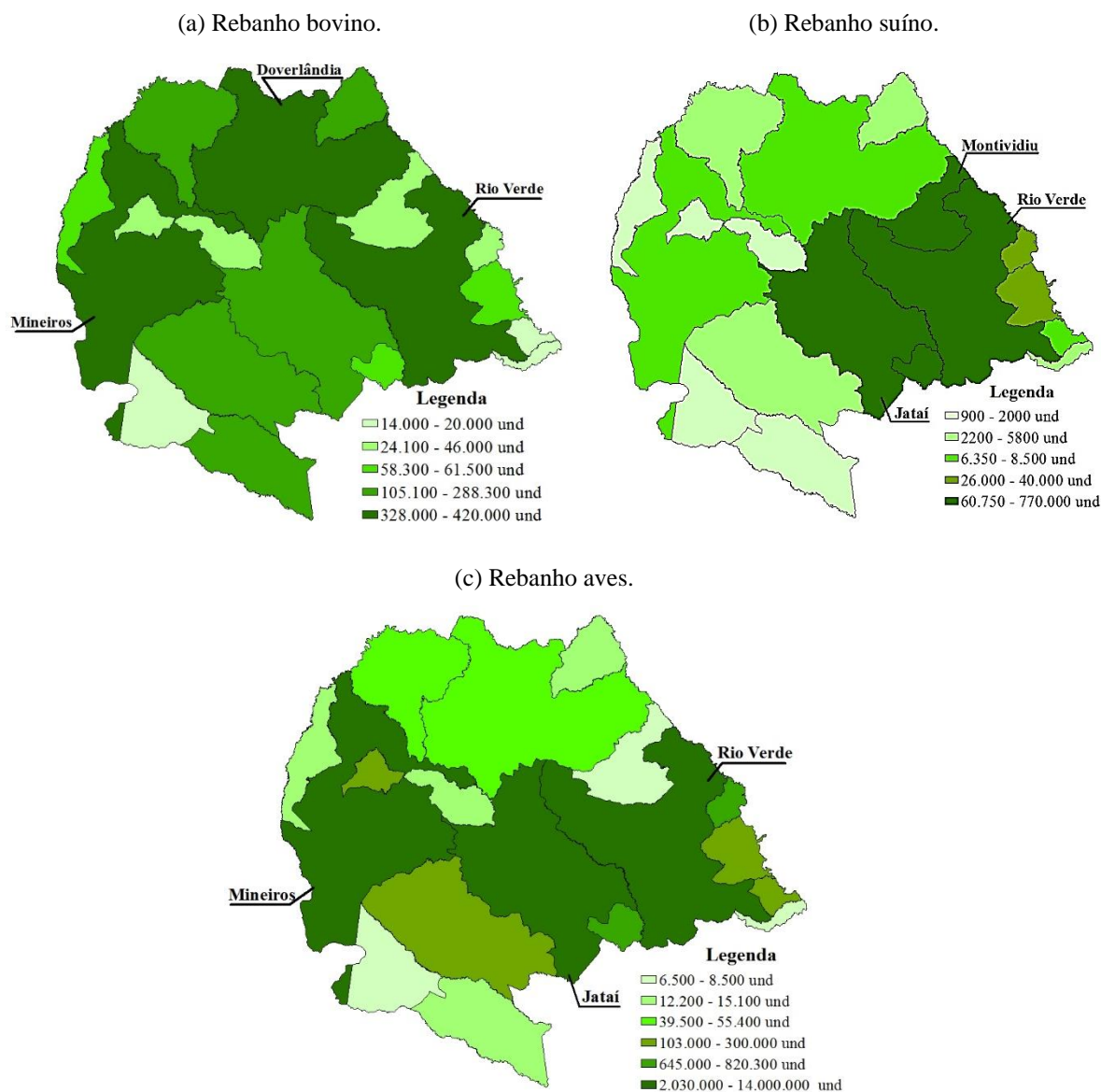
Fonte: Própria autora.

## 5.8 PRODUÇÃO DE BIOGÁS - SITUAÇÃO 2

Na Situação 2 foram utilizadas as premissas e considerações para produção de biogás pelo processo de digestão anaeróbia de resíduos pecuários. Os rebanhos estudados foram de bovinos, suínos e aves. Os municípios com maior número de rebanho de bovinos foram Caiapônia, com 420 mil cabeças; Mineiros, com 342 mil cabeças; e Rio Verde, com 328 mil cabeças, conforme mostrado na Figura 47a. A produção de suínos na microrregião sudoeste do estado de Goiás concentra-se nos municípios de Rio Verde, com 770 mil cabeças; Montividiu, com 700 mil cabeças; e Jataí, com 613 mil cabeças (Figura 47b). A criação de

aves destacou se nos municípios de Rio Verde, com 1,4 milhões de cabeças; Jataí, com 259 mil cabeças; e Mineiros, com 209 mil cabeças, conforme apresentado na Figura 47c.

Figura 47 - Produção de suínos em 2015 na microrregião sudoeste de Goiás.

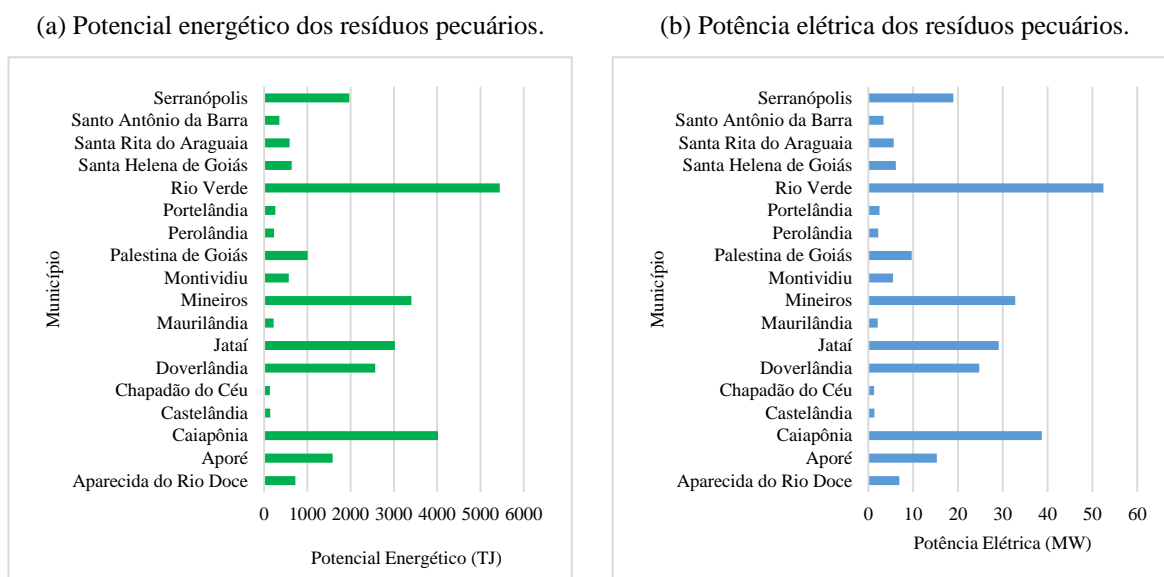


Fonte: Própria autora.

Para os cálculos do potencial energético e potência elétrica foi somada toda a produção de biogás a partir dos dejetos animais na microrregião sudoeste do Estado de Goiás, pela biodigestão, de acordo com o cenário definido. A Figura 48a, demonstra o potencial energético em TJ para os municípios da microrregião sudoeste do Estado de Goiás, destacando-se Rio Verde, com 5,4 mil TJ; Caiapônia, com 4 mil TJ, e Mineiros, com 3,4 mil

TJ. Por outro lado, com relação à potência elétrica, aparece Rio Verde, com 52 MW; Caiapônia, com 39 MW; e Mineiros, com 33 MW (Figura 48b).

Figura 48 - Potencial energético e potência elétrica em 2015, dos resíduos pecuários da microrregião sudoeste do Estado de Goiás.



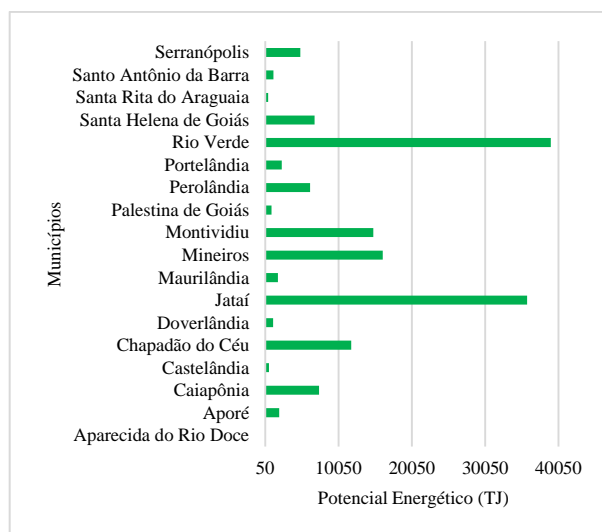
Fonte: Própria autora.

### 5.9 PRODUÇÃO DE BRIQUETES - SITUAÇÃO 3

Na microrregião sudoeste do Estado de Goiás existe um volume significativo de resíduos de natureza lignocelulósicos, mas ainda com baixo índice de aproveitamento. A técnica apresentada na Situação 3, compactação de resíduos em forma de briquetes para uso energético, ainda é pouco conhecida e utilizada na região de estudo.

O aproveitamento desses resíduos lignocelulósicos (milho, arroz, sorgo, soja, feijão e palhiço da cana-de-açúcar) em briquetes, realizado nesse estudo, resultou nos valores de potencial energético por município da microrregião sudoeste do Estado de Goiás, destacando-se Rio Verde, com 39 mil TJ; Jataí, com 36 mil TJ; e Mineiros, com 16 mil TJ, conforme demonstrado na Figura 49.

Figura 49 - Potencial energético com a produção de briquetes.



Fonte: Própria autora.

Analisando os dados apresentados, verifica-se que a cooperação de todas as biomassas residuais disponíveis na microrregião sudoeste de Goiás para a produção de energia elétrica através de sistema de geração ou cogeração é possível, visto que a maioria dos municípios possui esse tipo de empreendimento e as distâncias entre as cidades são relativamente pequenas.

Analisando os valores totais de potencial energético da microrregião sudoeste do Estado de Goiás, apresentados na Tabela 14, é possível evidenciar que a região estudada gera 22 % do potencial total existente na área, pois os empreendimentos situados na região utilizam somente a biomassa residual bagaço da cana-de-açúcar.

Tabela 14 - Potencial energético total por produto agrícola da microrregião sudoeste de Goiás.

<b>Produto Agrícola</b>	<b>Potencial Energético (mil TJ)</b>
Cana-de-Açúcar (Bagaço)	25,5
Cana-de-Açúcar (Palhiço)	13,1
Milho (Palha e Sabugo)	8,6
Arroz (Casca e Palha)	0,0086
Sorgo	1,3
Soja	38
Feijão	0,243
Eucalipto (Resíduo da Colheita Florestal)	2,2
Esterco (Biogás)	26,6
<b>Total</b>	<b>115,56</b>

Fonte: Própria autora.

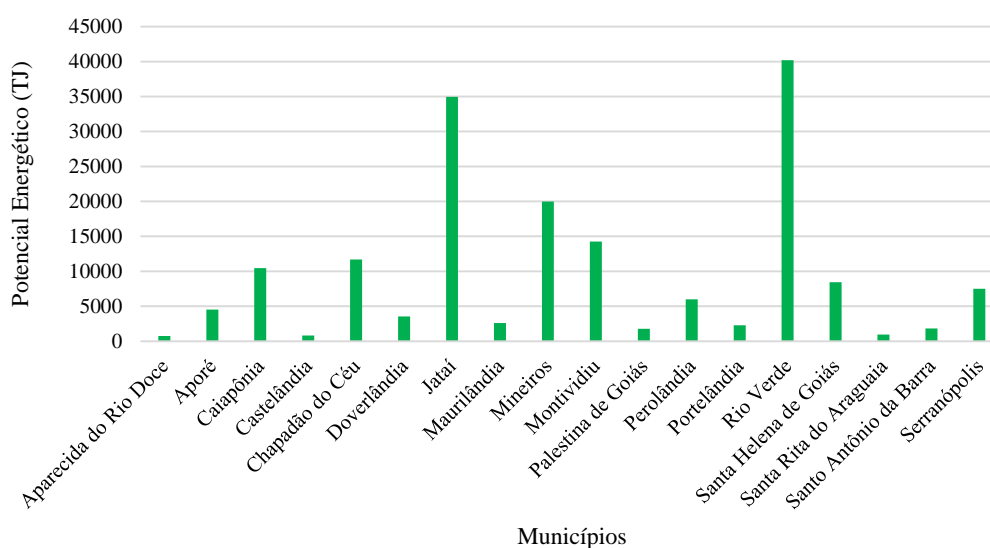


O potencial energético da biomassa residual da cultura agrícola de arroz e feijão é insignificante, tornando seu aproveitamento inviável na conversão tecnológica proposta na Situação 1.

Para o cálculo do potencial energético da biomassa residual que pode ser incrementado na produção de energia na microrregião sudoeste do Estado de Goiás é necessário descontar essa biomassa consumida (bagaço de cana) na região estudada. Dessa forma, o potencial de aumento é de aproximadamente 90 mil TJ.

A Figura 50 mostra o potencial energético para cada município considerando todos os resíduos disponíveis na microrregião sudoeste de Goiás. Comparando os valores do potencial energético por município é possível verificar que Rio Verde, Jataí, Mineiros e Montividiu, são favoráveis ao aproveitamento de biomassa residual para produção de energia.

Figura 50 - Potencial energético para cada município considerando todas as biomassas disponíveis



Fonte: Elaboração própria.

Analisando a Tabela 15 é possível verificar que, no decorrer do ano de 2015, o período com maior disponibilidade de biomassa residual é entre maio a setembro. Porém, a biomassa residual da soja, alcançou um valor de potência elétrica significativo em período de baixa disponibilidade de biomassa residual. Vale ressaltar, que nos meses de entressafra, as usinas sucroalcooleiras não há a disponibilidade de biomassa suficiente para manter a geração de eletricidade pelo processo de cogeração.

Este potencial de energia pode ser utilizado como indicador para a concepção e a construção de usinas termoeletricas ou investimentos no sistema de cogeração de energia em plantas já existentes (Retrofit).

Tabela 15 - Variação da disponibilidade de biomassa residual ao decorrer do ano de 2015.

Biomassa Residual	Potência Elétrica (MW)	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
		Eucalipto	15	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa	
Esterco (Biogás)	259	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
Cana-de-Açúcar (Bagaço)	247	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
Cana-de-Açúcar (Palhico)	127	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
Milho	546	Baixa disponibilidade de biomassa		Baixa disponibilidade de biomassa			Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa		Baixa disponibilidade de biomassa
Arroz	0,12	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
Sorgo	8	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
Soja	633	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
Feijão	4,8	Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			
		Baixa disponibilidade de biomassa				Alta disponibilidade de biomassa					Baixa disponibilidade de biomassa			

Fonte: Elaboração própria.

Outra tecnologia apresentada na literatura e citada anteriormente é a briquetagem que pode facilitar o transporte de biomassa a partir de suas colheitas para usinas de energia. Na fabricação dos briquetes, considerando como matéria-prima todos os resíduos agrícolas (exceto o bagaço de cana) e silvicultural estudados, é possível obter um potencial energético de aproximadamente 153 TJ para a microrregião sudoeste do Estado de Goiás.

Com o aproveitamento de biomassa para geração de energia, a microrregião sudoeste de Goiás poderá contribuir para diminuir os riscos do Estado de Goiás sofre com crises no setor elétrico, possibilitando o crescimento industrial contínuo do estado e do país, sem comprometimento da sua capacidade produtiva, gerando novos empregos e renda para o estado.

O grande gargalo do estado de Goiás para exploração do aproveitamento de biomassa residual para geração de energia está na falta de incentivos políticos e fomentos para estas tecnologias. A maioria dos incentivos e fomentos (FCO, PRONAF, BNDES, entre outros) estão voltados para a produção de carne e grão.

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho mostra as principais fontes energéticas, potencial energético e a potência elétrica das biomassas residuais para geração de bioeletricidade na microrregião sudoeste do Estado de Goiás. Os resultados dessa pesquisa demonstram que esta microrregião não aproveita toda biomassa residual disponível para a geração de energia, resultando num grande potencial para o incremento da geração de bioeletricidade.

Para chegar aos resultados deste estudo, a pesquisa iniciou com a caracterização das fontes residuais, identificando as principais culturas e animais produzidos na região, apontando a produtividade de cada cultura e animal, e caracterizando cada tipo de resíduo, sendo possível traçar o perfil da localização, quantidade e qualidade de cada biomassa analisada.

Em seguida, foi realizada a caracterização tecnológica de conversão da biomassa, a escolha das tecnologias foi entendida como as mais adequadas e/ou promissoras para a microrregião sudoeste do Estado de Goiás. Estas escolhas determinaram os possíveis cenários de beneficiamento e conversão da biomassa. Pontuando as principais alterações necessárias para a conversão de biomassa residual agrícola, pecuária e silvicultural em energia elétrica.

Dessa forma, grande parte destes resíduos está concentrada nos municípios que apresentam a maior demanda de energia, sendo eles Rio Verde, Jataí, Montividiu e Mineiros. Apesar de serem grandes produtores de biomassa, a sua utilização como fonte energética ainda tem baixos índices de aproveitamento. Estas regiões utilizam somente o bagaço da cana-de-açúcar como fonte energética.

O aproveitamento residual de biomassa, na microrregião sudoeste do Estado de Goiás, é mais promissor no município de Rio Verde, o qual conta com as oito principais fontes de biomassa residual da região (palhicho, milho, sorgo, soja, eucalipto, bovinos, suínos e aves), podendo converter essas biomassas residuais considerando qualquer uma das três situações apresentadas neste estudo.

Os resultados indicam que a cultura da soja e o biogás de dejetos dos animais, possuem o maior potencial energético da microrregião sudoeste do Estado de Goiás. Vale ressaltar que os resíduos de soja estão disponíveis no período de entressafra das usinas sucroalcooleiras da região, podendo favorecer o processo de cogeração de energia.

A geração de energia elétrica a partir do biogás dos dejetos pecuários, proposta na Situação 2, permite uma autossuficiência energética nas granjas e propriedades rurais, ou até mesmo a geração de excedente de energia que pode ser vendida para a rede elétrica local.

Os resultados da técnica de briquetagem apresentada pela Situação 3, demonstra uma eficiência, através do seu potencial energético de 153 TJ, na geração de energia. Podendo ser utilizado nas usinas ou no abastecimento de empreendimentos que utilizem a lenha nativa.

Por fim, o estudo mostra a importância e evidencia a necessidade de pesquisar o aproveitamento de resíduos na microrregião sudoeste do Estado de Goiás, uma vez que a região possui resíduos disponíveis para ser estudados.

Para otimizar o estudo foram adotadas várias premissas para realização dos cálculos. Dessa forma, a verificação destas premissas validaria os resultados deste trabalho. Assim, a seguir, são propostas sugestões para análises futuras:

- Elaborar um banco de dados de campo, georreferenciado, com inventário atual das diferentes biomassas agrícolas, pecuária e silvicultura, com índices de produtividade de resíduos, composição da biomassa, e zoneamento agrícola com disponibilidade para colheita;
- Verificar a competição pelos usos dos resíduos;
- Verificar os custos necessários para adequar as tecnologias existentes nas usinas da região, no intuito de realizar o aproveitamento de diferentes biomassas;
- Simular diferentes cadeias de logísticas para determinação dos custos de transporte e armazenamento da biomassa residual;
- Realizar estudos mais aprofundados na área de briquetes, visando conhecer melhor o processo possibilitando, assim, o aproveitamento de diferentes variedades de resíduos.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, DF, 2002. 153 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **BIG - Banco de Informações de Geração**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm>>. Acesso em: 03 dez. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz energética do Brasil**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=13&ger=Combustivel&principal=Biomassa>>. Acesso em: 15 abr. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **BIG - Banco de Informações de Geração**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm>>. Acesso em: 27 fev. 2017.
- AMUNDSEN, R. F. The cogeneration revolution. **Applied Energy**, Kidlington, v. 36, p. 79-83, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL (ABIB). **Atlas brasileiro biomassa florestal e industrial e agroindustrial**. Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://www.brasilbiomassa.com.br/images/stories/conteudo/biomassa.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.
- ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA (COGEN). **Empreendimentos estado de Goiás**. Disponível em: <[http://www.datacogen.com.br/empr\\_estado.asp?id\\_estado=9&Submit=OK](http://www.datacogen.com.br/empr_estado.asp?id_estado=9&Submit=OK)>. Acesso em: 01 fev. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC). **Perfil da pecuária no Brasil: relatório anual 2016**. São Paulo, 2016. 46 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS (ABCS). **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília, DF, 2014. 908 p.
- ASSOCIAÇÃO NOVA ESCOLA. **Botânica: registros científicos para conhecer**. [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/1992/botanica-registros-cientificos-para-conhecer>>. Acesso em: 30 jul. 2017.
- BRASIL ENERGIA. **Mais biomassa na rede**. [S. l.], 2016. Disponível em: <[http://brasilenergia.editorabrasilenergia.com/cadun/login?url\\_retorno=/news/renovaveis/biomassa/2016/07/mais-biomassa-na-rede-450367.html](http://brasilenergia.editorabrasilenergia.com/cadun/login?url_retorno=/news/renovaveis/biomassa/2016/07/mais-biomassa-na-rede-450367.html)>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- BELUSSO, D.; HESPANHOL, A. N. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percorso - NEMO**, Maringá, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Secretaria do Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Manual do usuário do programa de computador Biogás:** geração e uso energético. versão 1.0. São Paulo, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil: Análise do desempenho da safra 2009-2010.** Brasília, DF, 2011. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_05\\_05\\_15\\_45\\_40\\_geracao\\_termo\\_baixa\\_res.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, v. 2, Safra 2015/16, n. 2 - Segundo levantamento.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_13\\_08\\_49\\_33\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_08_49_33_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 12 - décimo segundo levantamento,** Brasília, set. 2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_09\\_11\\_08\\_57\\_48\\_boletim\\_graos\\_setembro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_08_57_48_boletim_graos_setembro_2015.pdf)>. Acesso em: 26/09/2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, v. 3 - Safra 2015/16, n. 12 - décimo segundo levantamento.** Brasília, DF, 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_09\\_06\\_09\\_03\\_20\\_boletim\\_12\\_setembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_06_09_03_20_boletim_12_setembro.pdf)>. Acesso em: 28 jan. 2017.

CAMPOS, F. P.; NUSSIO, C. M.; NUSSIO, L. G. **Métodos de análises de alimentos.** Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2002.

CONFERENCE OF THE PARTIES, 2015, Paris. Disponível em: <<http://www.cop21.gouv.fr/en/>>. Acesso em: 05 maio 2016.

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

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos.** Porto Alegre: Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves – EMBRAPA e Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER/RS, 2002. 31 p. Boletim Informativo de Pesquisa.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Embrapa milho e sorgo.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://grao.cnpms.embrapa.br/artigo.php?ed=MzQ=&id=MzE=>> Acesso em: 19 maio 2016.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Monthly energy review april 2016.** [S. l.], 2016. Disponível em: <<https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/mer.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015:** ano base 2014. Rio de Janeiro, EPE: 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015**: ano base 2014: relatório síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inventário energético de resíduos rurais**: nota técnica DEA 15/14. Rio de Janeiro, EPE: 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balço energético nacional 2016**: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 292 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Soja**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ERNESTO, V. A. R. T. **Caracterização térmica do bagaço da cana-de-açúcar visando aproveitamento energético**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2009.

FORTUNATTO, A. C. **Alternativas para o aproveitamento do licor negro da indústria de papel e celulose**. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP). **Um futuro com energia sustentável**: iluminando o caminho. São Paulo, 2010. 300 p.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008. 195 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GOIÁS. **Lei nº 15.834, de 23 de novembro de 2006**. Dispõe sobre redução gradativa da queima da palha de cana-de-açúcar em áreas mecanizáveis e dá outras providências. Goiânia, 2006.

GOIÁS. **Infraestrutura e energia**. Goiânia, 2015. Disponível em: <<http://www.goias.gov.br/paginas/invista-em-goias/infraestrutura-e-energia/>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Excerpt from electricity information**. [S. l.], 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/electricity-information---2015-edition---excerpt.html>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão político-administrativa**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.ngb.ibge.gov.br/Default.aspx?pagina=micro>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

INSTITUTO MAURO BORGES DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (IMB). **Pesquisa de Intenção de Investimentos no Estado de Goiás**. Goiânia, 2014. Disponível em: <<http://www.imb.go.gov.br/down/pii201405.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

JACINTO, R. C.; ANTUNES, R.; GRUBERT, W.; BRAND, M. A. Qualidade de resíduos da cadeia produtiva do arroz para geração de energia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - EBRAMEM, 15., 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s. n.], 2016.

JADOSKI, C. J. **Efeitos fisiológicos da piraclostrobina em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) condicionado sob diferentes tensões de água no solo.** 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2012.

JÚNIOR, J. B. F. M. O feijão comum: taxinomia, morfologia, histologia, parasitologia, microbiologia, composição química e usos. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, p. 83-104, 1960.

JÚNIOR, C. B.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2. ed. rev. Foz do Iguaçu: Techno Politik, 2009. 140 p.

KOOPMANS, A.; KOPPEJAN, J. Agricultural and forest residues: generation, utilization and availability In: REGIONAL CONSULTATION ON MODERN APPLICATIONS OF BIOMASS ENERGY, 1997, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: [s. n.], 1997. p. 6-10.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. **Wood energy: principles and applications.** Itajubá: Núcleo de Excelência em Geração Termoeletrica Distribuída - NEST, do Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2002.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo de Gaseificação de lama de alto forno da Arcelor Mittal Tubarão.** 2010. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1994. 27 p.

MAMEDES, J. A.; RODRIGUES, M. P. J.; VANISSAN, G. C. A. Biomassa no Brasil. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 65-73, 2010.

MARQUES, D. M. F. et al. **Produção e preço da cana-de-açúcar em Goiás.** Goiânia: SEGPLAN, 2012. Disponível em: <<http://www.imb.gov.br/pub/conj/conj23/artigo04.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

MAY, C. F. et al. **Sorgo biomassa para a cogeração de energia.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Calendário de plantio.** [S. l.], 2015. Disponível em: <[http://www.laborsolo.com.br/arquivos/formularios/calendario\\_plantio\\_20150407.pdf](http://www.laborsolo.com.br/arquivos/formularios/calendario_plantio_20150407.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2016.



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Resenha energética brasileira: exercício de 2014**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Ener%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em: 26 set. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética**. Brasília, DF, 2015.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado, **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, Maringá, v. 3, n. 1, p. 7-15, jan./jun. 2006.

MOREIRA, C. M. P. **Avaliação do potencial energético da biomassa nas sub-regiões do Minho-Lima, Ave, Cávado e Grande Porto**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2012.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Evangraf, 2005. p. 31.

NASCIMENTO, L. A. B. **Análise energética na avicultura de corte: estudo de viabilidade econômica para um sistema de geração de energia elétrica-eólico-fotovoltaico conectado a rede**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

NONES, D. L. **Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agroveterinárias) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

NOVACANA.COM. **Usinas de açúcar e álcool do estado de Goiás**. Goiânia, 2016. Disponível em: <<http://www.novacana.com/usinas-brasil/centro-oeste/goias/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

OLIVEIRA, E. R. **Procedimentos e normas para acompanhamento de análise da qualidade da cana-de-açúcar**. Ribeirão Preto: Organização de Plantadores de Cana da região Centro Sul do Brasil - ORPLANA, 2012. 81 p.

OLIVEIRA, L. G. S. **Aproveitamento energético de resíduos agrícolas: o caso da agroeletricidade distribuída**. 2011. 282 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

PARENTE, R. R. P. Produtividade do sorgo forrageiro em função de quantidades crescentes de adubação fosfatada e nitrogenada. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2014.

PARO, A. C. **Uma metodologia para gestão de eficiência energética em centrais de cogeração a biomassa: aplicação ao bagaço de cana**. 2011. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Energia e Automação Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

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

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos lignocelulósicos**. Brasília, DF: LPF/IBAMA, 1991. 18 p.

REIS et al. **Diagnóstico do setor de florestas plantadas no estado de Goiás**. Goiânia: Embrapa, 2015. 139 p.

RIBAS, P.M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. p. 14.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Informações Agrônomicas, n. 103, 2003.

ROMÃO JÚNIOR, R. A. **Análise da viabilidade do aproveitamento da palha da cana de açúcar para cogeração de energia numa usina sucroalcooleira**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2009.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento agrícola, cultivo do milho, sistemas de produção**. 5. ed. 2009.

SANTOS, A. B. dos; RABELO, R. R. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 135 p.

SAWIN, J. L.; BHATTACHARYA, S. C.; GALÀN, E. M.; MCCRONE, A.; MOOMAW, W. R.; SONNTAGO BRIEN, V.; SVERRISSON, F.; CHAWLA, K.; MUSOLINO, E.; SKEEN, J.; MARTINOT, E. **Renewables 2012 Global Status Report**. Paris: REN21, 2012.

SCHUTZ, F.; MASSUQUETTI, A.; ALVES, T. W. Demanda e oferta energética: uma perspectiva mundial e nacional para o etanol. **REGET**, v. 16, n. 16, p. 3167-3186, 2013.

SECRETARIAS DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SAA-SP); SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA-SP); UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR (UNICA); ORGANIZAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL (ORPLANA). **Protocolo Agroambiental do Setor Sucoenergético Paulista: dados Consolidados das safras 2007/08 a 2013/14**. São Paulo, 2014.

SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO (SIEG). **Georreferenciamento**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/rgg/apps/bde/map.html>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (SNIF). **As florestas plantadas**. [S. l.], 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

SOARES, T. S. et al. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garças, v. 4, n. 8, p. 1-22, 2006. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1\\_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf)>. Acesso em: 25/06/2016.

TEIXEIRA, C. M.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; CHRISOSTOMO, W; YAMAJI, F. M. Caracterização química de resíduos de *eucalyptus sp.* de floresta de curta rotação para a produção de bioenergia. **Revista Virtual Química**, Niterói, v. 8, n. 5, p. 1693-1701, 2016.

TORRES, E. A. **Avaliação exegética e termodinâmica de um sistema de cogeração de um polo petroquímico**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 1999.

VALE, A. T; DANTAS, V. F. S.; ZAMBRZYCKI, G. C. Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*zea mays*). **Evidência**, Joaçaba v. 13, n. 2, p. 153-164, jul./dez., 2013.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSON, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, London, v. 89, p. 913-933, 2010.

VERGARA, B. S. **A farmings primer on growing**. Los Baños: IRRI, 1979. 221 p.

WALKER, E. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Unijuí, 2009.

WALTER, A. C. **Viabilidade e perspectivas da cogeração e da geração termelétrica junto ao setor sucro-alcooleiro**, 1994. 283 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 1994.

WINROCK. **Manual de treinamento em biodigestão**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Curitiba: [s. n.], 2009.