



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRO - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**VANESSA ROSALES BEZERRA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSA GERADA NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE-PB  
2019**

**VANESSA ROSALES BEZERRA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSA GERADA NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, como requisito para obtenção do título de Mestre Ciência e Tecnologia Ambiental.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Valderi Duarte Leite**

**CAMPINA GRANDE  
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B574a Bezerra, Vanessa Rosales.  
Avaliação do potencial energético de biomassa gerada no Estado da Paraíba [manuscrito] / Vanessa Rosales Bezerra. - 2019.  
89 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.  
"Orientação : Prof. Dr. Valderi Duarte Leite, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
1. Biogás. 2. Energia elétrica. 3. Energias renováveis. 4. Resíduos orgânicos. 5. Digestão anaeróbia. I. Título  
21. ed. CDD 662.88

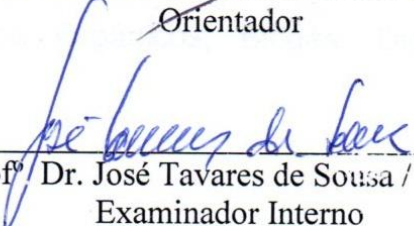
VANESSA ROSALES BEZERRA

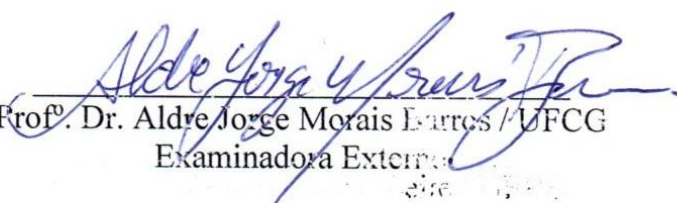
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSA GERADA NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Aprovada em 14/02/2019

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Valderi Duarte Leite / UEPB  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Tavares de Sousa / UEPB  
Examinador Interno

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Aldre Jorge Morais Barros / UFCG  
Examinadora Externa

## RESUMO

Os Impactos ambientais negativo, advindos do aumento da demanda de energia elétrica aumentam a necessidade de desenvolvimento tecnológico, utilizando tecnologia sustentável de suprimento energético. O Brasil vem realizando pesquisas, e incentivando a produção de energias renováveis através dos programas de financiamentos como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas). A Biomassa é uma das maiores fontes de energia renovável do Brasil, apresentando um grande potencial energético para produzir calor e eletricidade. O estado da Paraíba atualmente apresenta grande população e aglomerações em condomínios residenciais verticais e horizontais, em regiões metropolitanas, unidos com a produção agropecuária e agroindustrial, possui potencial energético de biomassa de resíduos sólidos orgânicos. A presente pesquisa propõe quantificar alguns resíduos de biomassa, pretende-se, com a contribuição de referências bibliográficas, estimar a produção teórica e biogás, através da tecnologia de digestão anaeróbia, em condições ideais, como também, a transformação de energia química em eletricidade, e utilizando modelos matemáticos, estimar o potencial energético advindo destas fontes de biomassa. Ressalta-se, que a capacidade energética do biogás é diretamente proporcional a quantidade de gás metano presente no mesmo, o qual vai definir seu poder calorífico. A estimativa de produção de biogás através dos resíduos orgânicos estudados é cerca de 332 milhões de Nm<sup>3</sup>/ano, e o potencial energético disponível é aproximadamente 475.065,58 MWh/ano. Portanto, poderia suprir a demanda energética de 886.316,38 habitantes ou 221.579,09 residências, do estado da Paraíba. O aproveitamento da biomassa traz benefícios ambientais como tratamento de resíduos orgânicos e redução dos gases de efeito estufa (GEE). Neste sentido, o trabalho proposto, tem o intuito de contribuir para estudos pertinentes ao potencial de produção de energia renovável, através de algumas fontes de biomassa produzidas no estado da Paraíba. Mediante o exposto, o aproveitamento da biomassa poderia contribuir para diversificar a matriz energética do estado da Paraíba, capaz de suprir cerca de 10% do consumo de eletricidade anual, e reduzir a dependência de outras fontes energéticas.

Palavras Chave: Resíduos Orgânicos; Biogás; Digestão Anaeróbia; Energia Elétrica.

## ABSTRACT

The negative environmental impacts arising from the increase in the demand for electric power increase the need for research development using sustainable energy supply technology. Brazil has been conducting research, and encouraging the production of renewable energy through financing programs such as PROINFA (Incentive Program for Alternative Sources). Biomass is one of the largest sources of renewable energy in Brazil, presenting a great energy potential to produce heat and electricity. The state of Paraíba currently has a large population and agglomerations in residential and horizontal condominiums, in metropolitan areas, together with agricultural and agroindustrial production, has biomass energy potential of organic solid waste. The present research proposes to quantify the residues with significant quantitative of biomass, with the contribution of bibliographical references, it is intended to estimate the theoretical production and biogas, through the anaerobic digestion technology, under ideal conditions, as well as the transformation of chemical energy in electricity, and using mathematical models, to estimate the energy potential coming from these sources of biomass. It should be noted that the energy capacity of the biogas is directly proportional to the amount of methane gas present in it, which will define its calorific value. The estimated biogas production through organic wastes studied is about 332 million Nm<sup>3</sup> / year, and the available energy potential is approximately 475,065.58 MWh / year. Therefore, it could supply the energy demand of 886,316.38 inhabitants or 221,579.09 residences, in the state of Paraíba. The use of biomass brings environmental benefits such as organic waste treatment and reduction of greenhouse gases (GHG). In this sense, the proposed work intends to contribute to studies pertinent to the potential of renewable energy production, through some sources of biomass produced in the state of Paraíba. Based on the above, the use of biomass could contribute to diversify the energy matrix of the state of Paraíba, capable of supplying about 10% of annual electricity consumption, and reduce dependence on other energy sources.

Keywords: Organic Waste, Anaerobic Digestion, Biogas, Electric Power.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Fontes de biomassa e processo de conversão em energia.....	14
<b>Figura 2:</b>	Capacidade instalada de biogás derivado de RSU.....	16
<b>Figura 3:</b>	Etapas do processo de tratamento das frações de RSO.....	17
<b>Figura 4:</b>	Digestão anaeróbia da vinhaça.....	20
<b>Figura 5:</b>	Oferta interna de energia elétrica nacional.....	24
<b>Figura 6:</b>	Características de tratamento via digestão anaeróbia.....	25
<b>Figura 7:</b>	principais fases da digestão anaeróbia.....	27
<b>Figura 8:</b>	Modelo de biodigestor Dranco.....	30
<b>Figura 9:</b>	Modelo de biodigestor Valorga.....	31
<b>Figura 10:</b>	Geração mundial de energia advinda da biomassa.....	34
<b>Figura 11:</b>	Capacidade instalada de eletricidade a partir da produção biogás	35
<b>Figura 12:</b>	Energia elétrica mundial derivada da produção de biogás.....	35
<b>Figura 13:</b>	Emissões de gases do efeito estufa por regiões geográficas.....	39
<b>Figura 14:</b>	Mesorregiões do estado da Paraíba.....	47
<b>Figura 15:</b>	Fluxograma de resíduos estudados na pesquisa.....	49
<b>Figura 16:</b>	Fluxograma da metodologia(RSU).....	49
<b>Figura 17:</b>	Fluxograma de resíduos Agropecuários.....	51
<b>Figura 18:</b>	Fluxograma de resíduos de carne bovina .....	53
<b>Figura 19:</b>	Fluxograma de vinhaça.....	56
<b>Figura 20:</b>	Dados estimados da geração de RSU das principais cidades.....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Produção de biogás de resíduos a partir de material seco	22
<b>Tabela 2:</b>	Produção de biogás em biodigestor localizado em Monteiro/PB	23
<b>Tabela 3:</b>	Composição média do biogás	33
<b>Tabela 4:</b>	Empreendimentos de geração de eletricidade a partir de biomassa	37
<b>Tabela 5:</b>	Características geográficas do estado da Paraíba	40
<b>Tabela 6:</b>	Tipos de geradores para conversão de eletricidade em biogás	40
<b>Tabela 7:</b>	Distribuição do consumo de energia elétrica no estado da PB	45
<b>Tabela 8:</b>	Fatores de emissão correspondente a composição de resíduos	48
<b>Tabela 9:</b>	Características geográficas do estado da Paraíba	50
<b>Tabela 11:</b>	Média de geração de resíduo animal	52
<b>Tabela 12:</b>	Parâmetros para calcular o potencial de biogás	52
<b>Tabela 13:</b>	Quantidade dos produtos e subprodutos de abatedouros	53
<b>Tabela 14:</b>	Geração de RSU de alguns municípios do estado da Paraíba	58
<b>Tabela 15:</b>	Estimativa de geração de RSU em município da PB	59
<b>Tabela 16:</b>	Projeção da geração dos RSU nos municípios do estado da PB	60
<b>Tabela 17:</b>	Estimativa de potencial energético de efluente bovino	65
<b>Tabela 18:</b>	Potencial energético de diversas fontes de biomassa na Paraíba	68
<b>Tabela 19:</b>	Potencial energético de diversas fontes de biomassa na Paraíba	70



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b>	Quantidade de RSU coletado por regiões geográficas no Brasil	18
<b>Quadro 2:</b>	Análise temporal de biogás a partir da vinhaça no Brasil	21
<b>Quadro 3:</b>	Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia	28
<b>Quadro 4:</b>	Biodigestores de baixa Taxa	29
<b>Quadro 5:</b>	Tecnologia de biodigestores	31
<b>Quadro 6:</b>	Equivalências energéticas entre fontes de energia e biogás	32
<b>Quadro 7:</b>	Características do Biogás	33
<b>Quadro 8:</b>	Parâmetros utilizado no cálculo do potencial energético	54
<b>Quadro 9:</b>	Composição química da vinhaça	55
<b>Quadro 10:</b>	Produção de cana no Brasil	55
<b>Quadro 11:</b>	Parâmetros para cálculo do potencial energético da vinhaça	56
<b>Quadro 12:</b>	Taxa per capita da geração de RSU	57
<b>Quadro 13:</b>	Estimativa do potencial energético dos resíduos agropecuários	62
<b>Quadro 14:</b>	Estimativa potencial de produção de biogás e energia elétrica	66
<b>Quadro 15:</b>	Produção de etanol no estado da Paraíba	67

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública
ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ANP	Agencia Nacional de Petróleo
BEN	Balanco Energético Nacional
CETESB	Companhia de tecnologia de saneamento ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda Química de oxigênio
EBA	European biogás Association
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MAPA	Ministério de agricultura Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério de minas e energia
PCH	Pequenas Centrais hidrelétricas
PNRS	Plano nacional de resíduos sólidos
PROINFA	Programa de incentivo de fontes alternativas
RSU	Resíduos sólidos urbanos
RSO	Resíduos sólidos orgânicos
SIN	Sistema interligado Nacional
SUDEMA	Superintendência estadual do meio ambiente
IRENA	Internacional Renewable Energy Agency
TEP	Tonelada equivalente de Petróleo

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	<b>Geral.....</b>	12
1.1.2	<b>Específicos.....</b>	12
<b>2.0</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
2.1	BIOMASSA.....	13
2.1.1	<b>Biomassa advinda de Resíduos Sólidos Urbanos.....</b>	<b>14</b>
2.1.2	<b>Biomassa advinda dos Resíduos Agroindustriais.....</b>	<b>18</b>
2.1.3	<b>Biomassa advinda das atividades Agropecuárias.....</b>	<b>21</b>
2.2	BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL.....	23
2.3	DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	24
2.3.1	<b>Biodigestão Anaeróbia de Biomassa.....</b>	<b>24</b>
2.3.2	<b>Tecnologia de digestão anaeróbia aplicada a biomassa.....</b>	<b>28</b>
2.4	PANORAMA ENERGÉTICO A PARTIR DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	32
2.4.1	<b>Biogás.....</b>	32
2.4.2	<b>Aproveitamento energético de biomassa no contexto Internacional..</b>	<b>33</b>
2.4.3	<b>Aproveitamento energético da biomassa no Brasil.....</b>	<b>36</b>
2.5	DESAFIOS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO USO DE BIOGÁS.....	39
2.5.1	<b>Legislação pertinente a energia renovável e Biogás.....</b>	<b>41</b>
2.6	MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS E GÁS METANO.....	42
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>47</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	47
3.2	ETAPAS E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	48
3.2.1	<b>Resíduos Sólidos Urbanos.....</b>	<b>49</b>
3.2.2	<b>Resíduos advindos das atividades agropecuária.....</b>	<b>51</b>
3.2.3	<b>Resíduos advindos de atividades agroindustriais.....</b>	<b>53</b>
<b>4.0</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	
4.1	RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS.....	
4.2	RESÍDUOS AGROPECUÁRIA PARAIBANA.....	62
4.3	RESÍDUOS AGROINDUSTRIAL.....	64

4.4	CONTRIBUIÇÃO DO BIOGÁS NA MATRIZ ENERGÉTICA DO ESTADO DA PARAÍBA.....	<b>67</b>
<b>5.0</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que apresenta tradição no uso de fontes renováveis de energia, destacando-se a utilização da energia hidrelétrica como responsável pela maior parcela, isto é, 64% de toda a geração de eletricidade. Por outro lado, existe um enorme potencial de fontes renováveis de energia, destaca-se, entre elas, a energia eólica (3,5%) a biomassa (8,0%), solar fotovoltaica (0,01%), as demais fontes de energia são nuclear (2,4%), gás natural (12,9%), carvão e derivados (4,5%) (MME, 2016).

Segundo Ministério de Minas e Energia (2017), as fontes renováveis de energia elétrica tendem a aumentar significativamente nos próximos cinco anos, visto que, os custos de implantação de tais fontes estão diminuindo, principalmente, as fontes eólicas, fotovoltaicas e de biomassa.

As principais fontes de biomassa energética disponíveis no Brasil são, a cana de-açúcar e seus derivados, os resíduos sólidos urbanos (RSU), os resíduos agrícolas, agroindustriais e agropecuários (MAPA, 2011).

O Estado da Paraíba apresenta potencial para desenvolvimento de energia sustentável advindo da biomassa, devido a grande geração de RSU, bem como, a geração de resíduos de agropecuária e agroindustrial.

Segundo Secretaria de Planejamento do estado da Paraíba (2016), dentre as prioridades do Estado da Paraíba inerente a produção de energia, está o mapeamento e diagnóstico das potencialidades energéticas, principalmente energia solar, biomassa e energia eólica, haja vista a necessidade de colaboração na Paraíba referente ao desenvolvimento energético sustentável.

Fonte de energia renovável, o gás metano é um biocombustível que possui conteúdo energético elevado, semelhante ao gás natural, apresenta inúmeras aplicações, como produção de energia elétrica, térmica e gás combustível. Neste contexto, a biodigestão anaeróbia apresenta-se como uma tecnologia de tratamento viável para este tipo de resíduo, através da utilização de biodigestores.

O Brasil tem potencial considerável de geração de eletricidade a partir do biogás obtido pela digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos, que poderia suprir a demanda de energia em locais com altas taxas de produção do mesmo (SALOMON; LORA, 2005).

O aproveitamento de biogás desponta como uma fonte alternativa de energia e solução em vários aspectos: socioeconômico, incentivo ao desenvolvimento de tecnologias, geração de empregos; quanto ao aspecto ambiental favorece a conservação de recursos naturais, o gerenciamento de resíduos orgânicos, e a redução de poluentes atmosféricos.

A digestão anaeróbia é um processo biológico utilizado para tratamento de resíduos orgânicos, como subproduto ocorre a formação de gases, chamado de biogás. Dentre os gases presente na composição química do biogás em maior proporção, está o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que são agressivos para a atmosfera.

A tecnologia da digestão anaeróbia apresenta viabilidade no setor agropecuário, pois, a criação de animais bovinos, suínos e avicultura, trazem problemas de saúde animal e proliferação de insetos, quando não ocorre manejo e tratamento adequado de seus resíduos. Ressalta-se, que a grande quantidade de dejetos de animais produzidos diariamente, causam malefícios ao meio ambiente e ao ser humano.

De acordo com Souza et al. (2002), a implantação de políticas governamentais no Brasil, visa o incentivo da geração distribuída como medida de redução de riscos de suprimento de energia no Brasil. Neste contexto, a identificação de potenciais de aproveitamento de biomassa é de fundamental importância para gestores públicos e privados do país.

Ressalta-se, que este estudo subsidiará a formulação de políticas públicas no setor energético e a definição de ações coordenadas, visando à sustentabilidade ambiental da matriz energética brasileira, por se tratar, de uma fonte com potencial para geração de energia, principalmente para atendimento à demanda local, com ganhos ambientais e sociais significantes, porém, pouco incentivada.

A iminente necessidade de alternativas sustentáveis para tratamento de resíduos orgânicos, como também, utilizar novas fontes de energia elétrica, de forma renovável para diversificar a matriz energética, tendo em consideração a escassez de combustíveis fósseis, constitui o norteador para iniciar os estudos desta pesquisa.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

Avaliar o potencial energético de biomassa gerada no estado da Paraíba e sua provável contribuição na matriz energética estadual.

### 1.1.2 Específicos

- Estimar a fração orgânica advinda dos resíduos sólidos urbanos gerados pela população do estado da Paraíba;
- Estimar a biomassa advinda de alguns resíduos agroindustriais e agropecuários no estado da Paraíba;
- Realizar o mapeamento dos municípios do estado da Paraíba que apresentam maiores potenciais de produção de biogás;
- Estimar o potencial de produção de biogás, via processo de biodigestão anaeróbia, de algumas fontes de biomassa produzida no estado da Paraíba;
- Estimar o potencial de geração de energia elétrica, a partir do aproveitamento energético do gás metano, advindo de algumas fontes de biomassa e sua participação na matriz energética estadual;

## 2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 BIOMASSA; ASPECTOS GERAIS

A Biomassa é constituída quimicamente por um conjunto de hidrocarbonetos, que possuem átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse elemento químico possibilita que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, conseqüentemente, a quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminuindo assim, o seu poder calorífico (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

A utilização da biomassa disponível para aproveitamento de energia foi imperioso para progresso humano. Atualmente, ocorre o avanço ambiental e tecnológico para geração de eletricidade oriundo da biomassa.

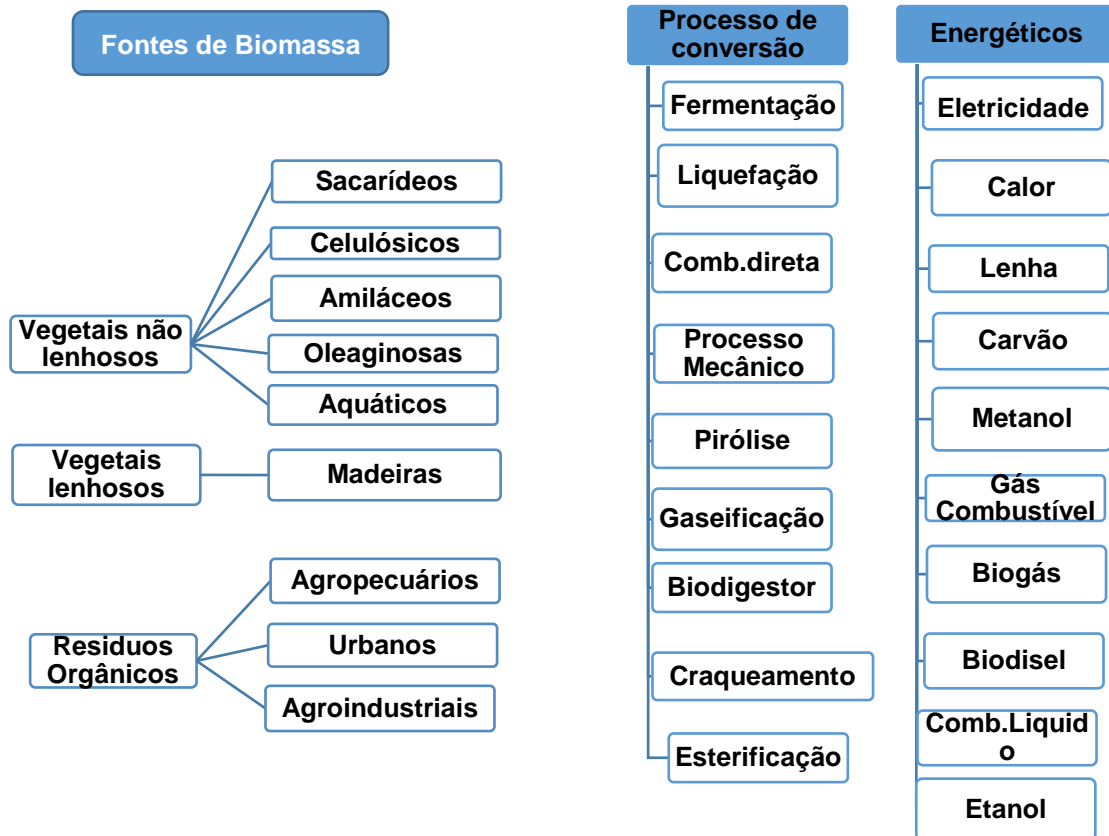
A inserção de projetos para utilização da biomassa disponível oferece a possibilidade de crescimento econômico e social da população, através da geração de empregos diretos e indiretos, e benefícios como qualidade de vida e crescimento de novas atividades econômicas.

Muitos empreendedores continuam sem estar convencidos sobre a importância que a biomassa tem como fonte de energia atualmente, e na maioria das vezes, não estão disponíveis a investir em longo prazo, o qual, é uma das características da energia renovável.

A definição de biomassa é bastante ampla, e existe uma variedade de fontes de energia que difere quanto à tecnologia de sua produção e aplicação para a produção de energia elétrica. Na Figura 1, são apresentadas as principais matérias – primas produtoras de biomassa, as rotas de conversão da biomassa, bem como os processos de conversão em calor e energia elétrica.



**Figura 1:** Fontes de Biomassa e processos de conversão em energia



Fonte: IEA bioenergy, (2009) Adaptado do autor

Algumas biomassas são de difícil classificação, como o caso de resíduos vegetais, na etapa inicial de transformação em carvão vegetal, ou mesmo os óleos vegetais produzidos a partir de produtos derivados de árvores, como é o caso do dendê.

Outras formas de classificação da energia derivada da biomassa consideram as rotas tecnológicas a serem adotadas para sua utilização, ou seu nível de desenvolvimento tecnológico, como o caso das fontes de biomassas tradicionais e modernas (NOGUEIRA; LORA, 2003). De maneira geral, as fontes de biomassa são classificadas em três grupos: resíduos orgânicos, vegetais lenhosos e não-lenhosos.

### 2.1.1 Biomassa advinda de Resíduos Sólidos Urbanos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (12.305/2010) estabelece que, apenas os rejeitos sem viabilidade econômica para a recuperação, devem ser

depositados em aterros sanitários, ou seja, materiais cujas possibilidades técnicas e econômicas de utilização e tratamento estejam esgotadas.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, ABRELPE (2016), a geração diária de RSU per capita no Brasil é 1.040 kg (hab.dia)<sup>-1</sup>. Com a intensificação das atividades humanas, o aumento do consumo da população, o valor per capita da geração de resíduos tende a aumentar, havendo necessidade da participação efetiva de políticas, e exigir do poder público maior incentivo financeiro para as etapas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

O aproveitamento energético dos RSU, diminui a emissão de gases poluentes, propicia a geração de energia térmica ou elétrica em substituição do uso de combustíveis fósseis. A não emissão de poluentes atmosféricos, podem ser credenciados para a geração de créditos de carbono, que são comercializados no mercado financeiro como títulos brasileiros. Os créditos de carbono podem simbolizar uma segunda fonte de renda para o sistema operacional da tecnologia de tratamento de RSU.

O rendimento do biogás de resíduos sólidos orgânicos, depende da quantidade das concentrações dos gases gerados e da composição dos resíduos. O rendimento pode variar fortemente, em função de vários fatores, como a origem do resíduo (mercados, restaurantes, casas, indústria alimentícia), a forma de coleta, umidade, tamanho das partículas, temperatura e pH (CIBIOGAS,2017).

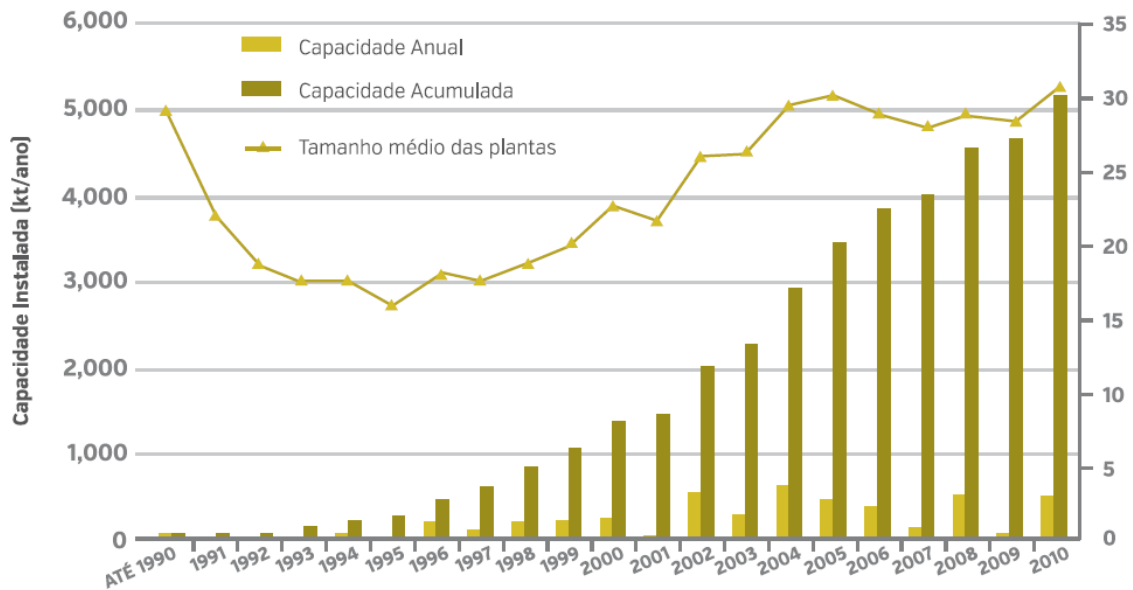
A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que, RSU envolve os resíduos domiciliares (residências urbanas) e os resíduos de limpeza urbana (vias públicas, varrição e limpeza de logradouros).

O aproveitamento da fração putrescível, resultante dos resíduos sólidos urbanos (RSU), colabora complementarmente para resolução de problemas que envolve saneamento básico e favorece ao gerenciamento de RSU. Neste sentido, o que contribui para um bom resultado concernente ao potencial energético de tais resíduos, é a gestão de resíduos sólidos consolidada e o grande número da população urbana.

Neste contexto, a tecnologia de disposição final de RSU, sem recuperar seu valor econômico, já foi descartado por países desenvolvidos, em virtude de enterrar grandes volumes de RSU, sem aproveitar seu potencial energético e recuperar os materiais recicláveis (FLYHAMMAR,2011). Na Figura 2, estão apresentados os

dados referente a evolução da capacidade instalada dos sistemas de biogás, com utilização de RSU (fração putrescível) como substrato.

**Figura 2:** Evolução da capacidade instalada dos sistemas de produção de biogás derivado de RSU



Fonte: Adaptada de DE BAERE e MATTHEEUWS (2010)

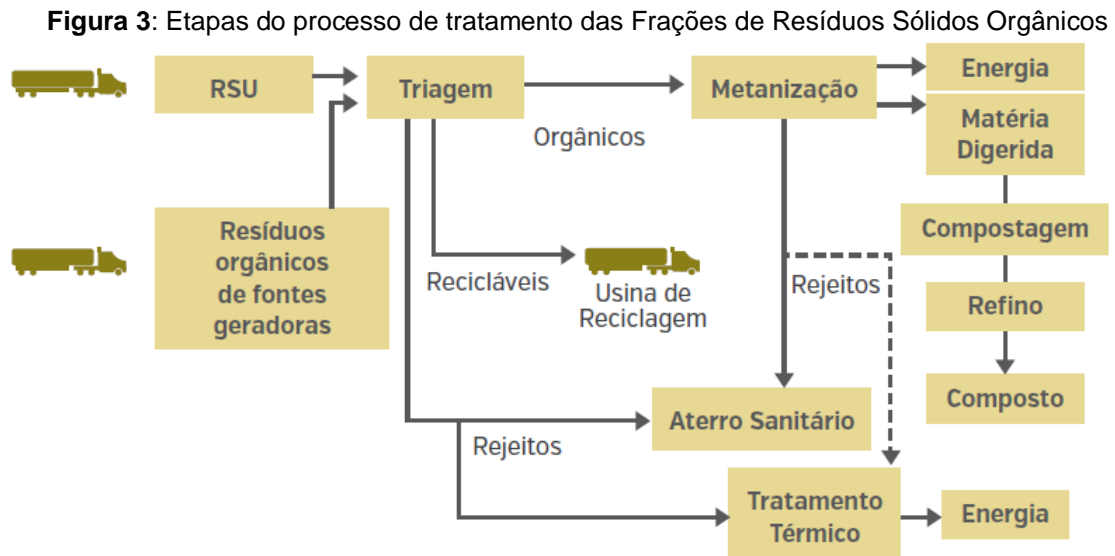
O número de plantas de metanização da fração orgânica de RSU na Alemanha, está com crescimento da capacidade total de tratamento. No total, estão ativas 63 instalações, com capacidade total de 1.359.000 Ton./ano (BMU,2013).

De acordo com Probiogás (2015), verifica-se que, dentre os países mais populosos da Europa, a Espanha é o que possui o maior potencial de tratamento da fração putrescível de resíduos sólidos urbanos via metanização. Entretanto, considerando o total de RSU potencialmente passível de metanização, o país trata pouco mais de 10% deste total, demonstrando o grande potencial ainda por ser explorado.

Conforme Godoy (2015), com técnicas mais eficientes, os biodigestores oferecem vantagens operacionais e econômicas, comparando-se a captação direta de biogás em aterros sanitários, pois, a concentração de biogás nos biodigestores permite que a captação seja em locais específicos, confinados e não disseminados. Desta forma, através de tecnologia simples, é possível captar maior quantidade de biogás, com aplicação de biodigestores.

O tratamento de RSU putrescível, é responsável apenas por uma das etapas do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, as demais etapas devem estar interligadas, para que o tratamento ocorra com eficiência.

Na Figura 3, são apresentadas as etapas do processo de tratamento de resíduos sólidos urbanos.



Fonte: Probiogás,(2016)

De acordo com Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL,2010), são atribuídas responsabilidades recíprocas e o gerenciamento integrado nas diferentes etapas do processo, envolvendo a cooperação entre a sociedade, o setor empresarial e o governo na esfera federal, estadual e municipal.

O art. 3º, XI, da Lei da PNRS, (BRASIL,2010) define a gestão integrada como o conjunto de ações que têm o objetivo de buscar alternativas para os resíduos sólidos, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social sob a ótica da sustentabilidade e do controle social. Nessa perspectiva, identificar o potencial energético do biogás, produzido a partir de RSU putrescíveis, é uma forma de buscar alternativas de tecnologias sustentáveis para tratamento de RSU, favorecendo a gestão integrada de RSU.

No Quadro 01 são apresentados os dados quantitativos de RSU coletados nas regiões geográficas do Brasil.

**Quadro 1:** Quantidade de RSU coletado por regiões no Brasil

Região	RSU Total (ton./dia)
Norte	12.500
Nordeste	43.355
Centro-Oeste	15.990
Sudeste	102.620
Sul	20.987
Brasil	195.452

Fonte: Pesquisa ABRELPE, (2016)

Conforme dados fornecidos por SUDEMA (2018), 193 municípios paraibanos ainda não implantaram o aterro sanitário, apenas 30 municípios destinam RSU em aterros sanitários e somente quatro equipamentos são regularizados perante as normas, provocando riscos à segurança, a saúde pública e poluição ambiental.

A elevada geração de RSU no Estado da Paraíba, torna-se viável o aproveitamento energético do biogás, em função da disponibilidade de resíduos. Segundo Leite, et al. (2003), após pesquisa experimental, com resíduos sólidos orgânicos urbanos através de biodigestores, no município de Campina Grande (PB), concluíram que, o tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos, com aproveitamento do biogás, tornar-se uma alternativa tecnológica de relação satisfatória ao custo/benefício, e em sua totalidade, o processo é de fácil instalação e monitoração.

### **2.1.2 Biomassa advinda dos Resíduos Agroindustriais**

Conforme a Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA N<sup>o</sup>. 313 de 2002(BRASIL,2002) e a NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, os resíduos gerados nas indústrias devem ser classificados, identificados, armazenados de forma correta, tratados quando necessário e com disposição final adequada. Nessa perspectiva, vários sistemas estão sendo implantados para tratamento e destinação final dos resíduos industriais.

Segundo Bley (2009), os efluentes do agronegócio, tanto das unidades produtoras de carne suína, aves e carne bovina, assim como leite e ovos, e nas indústrias de transformação que as integram, apresentam altas cargas orgânicas expressas em demanda bioquímica e química de Oxigênio (DBO e DBQ, respectivamente) e de nutrientes, como nitrogênio e fósforo que dispostas no

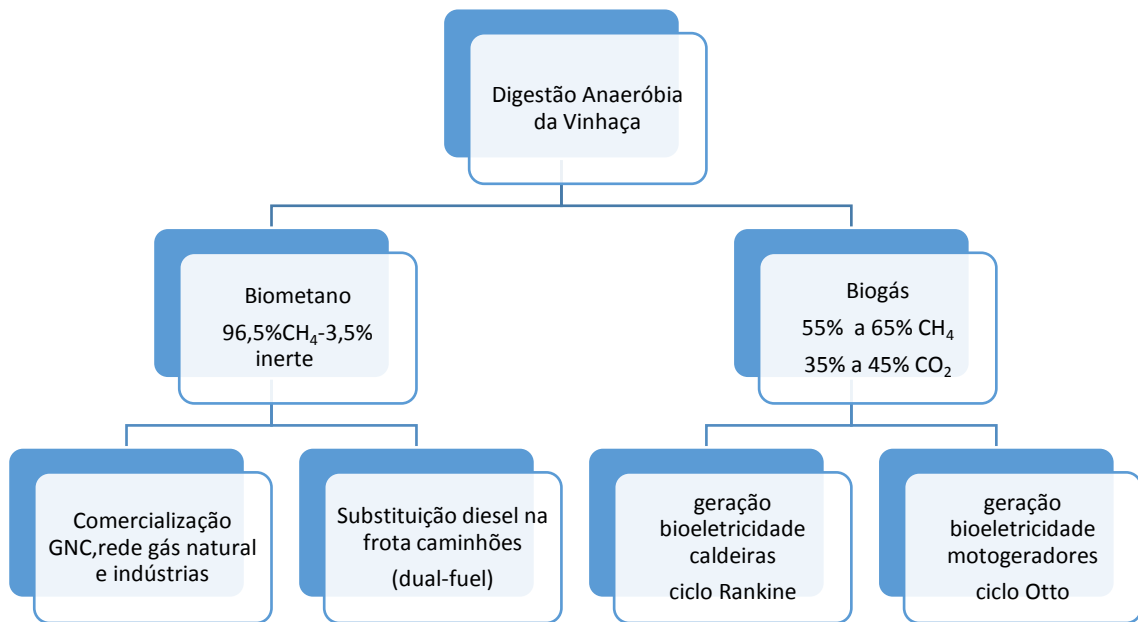
ambiente comprometem a qualidade das águas, tendendo a acumular-se em reservatórios e lagos naturais, alterando-lhes as condições limnológicas.

Abatedouros são atividades industriais que mais produzem resíduos com alto teor de carga orgânica, relativo à presença de sangue, gordura, esterco e conteúdo estomacal e intestinal; somado a flutuações de pH e temperatura. Esses efluentes, são usualmente divididos em duas correntes, chamadas vermelha e verde: a primeira pressupõe a existência de sangue, enquanto a segunda não. Essa separação é essencial para facilitar e melhorar o tratamento (físico-químico), de forma a remover e segregar melhor os resíduos em suspensão (PACHECO; YAMANAKA, 2006).

As indústrias que utilizam cana de açúcar no processo produtivo, geram como efluente industrial, a vinhaça, subproduto, derivado da fermentação do caldo da cana de açúcar e do melaço, também chamado de vinhoto e mosto.

Segundo Bernal et al., (2017) a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar é o setor industrial de grande economia, e importância ambiental no Brasil. Esta indústria produz grande volume de resíduos e consome grande área de plantação. A vinhaça é caracterizada por apresentar alto teor de matéria orgânica, altas concentrações de sais, os quais podem contaminar os lençóis freáticos e águas superficiais.

A biodigestão anaeróbia, pode reduzir o potencial poluidor da vinhaça, reduzir DBO e elevar o pH, e ao mesmo tempo, produzir gás metano e fertilizante como subproduto de tratamento anaeróbio (SALOMON,2007). A Figura 4, são apresentadas as etapas de digestão anaeróbia da vinhaça no processo industrial da cana de açúcar

**Figura 4:** Digestão Anaeróbia da Vinhaça

**Fonte:** Renabio (2013)

Analisando os dados presentes na Figura 4, é possível observar que a utilização da vinhaça apresenta potencialidade para uso como fonte de energia renovável. Além do aproveitamento energético do biogás, é possível reduzir custos financeiros e realizar tratamento do efluente industrial.

A produção de biogás a partir deste resíduo, pode ser utilizado para geração de energia elétrica, caldeiras ou biocombustível. Atualmente, a utilização de vinhaça é empregado para fertirrigação da produção de cana de açúcar, por apresentar potássio e nitrogênio, mas pode causar saturação do solo.

Neste contexto, a produção de biogás a partir da vinhaça pode contribuir para a eficiência ambiental e energética das indústrias sucroalcooleira. No Quadro 2, apresenta-se a análise temporal da produção de biogás a partir da vinhaça no Brasil.

**Quadro 2:** Análise temporal da produção de Biogás a partir da vinhaça no Brasil

Ano	Empresa/ Instituição	Biodigestor	Capacidade [m <sup>3</sup> ]	Produção biogás [L biogás/ L vinhaça]	Remoção DQO [%]	CH <sub>4</sub> [%]
1981	IPT e PAISA	UASB	11	13,1	95	65
1981	Destil.Jacques	Tipo indiano	330	16,5	62	55
1982	Cetesb	Misto	0,185	-	60,4	63,2
1983	CTC	-	0,052	-	75-95	-
1984	CTC/Usina Iracema	Manta de lodo	12	-	45-95	-
1984	Codistil/Paques	Manta de lodo	120	-	-	-
1986	Usina São João	UASB	1500	-	-	70
1987	Usina São Martinho	UASB	75	9,8	71	60
1995	Usina São Martinho	UASB	5.200	-	-	-
2012	Usina Ester	Lona	20.000	-	-	-
2012	Grupo JB	UASB	1.000	-	-	80
2012	GeoEnergética	Co-biodigestor	-	-	-	-

Fonte: Unica(2016)

### 2.1.3 Biomassa advinda das atividades Agropecuárias

A falta de tratamento e deposição incorreta de resíduos orgânicos, advindos da produção agropecuária apresenta impactos negativos ao meio ambiente, devido ao seu alto grau poluidor, causam degradação dos recursos hídricos e do solo.

No Brasil, se intensificou o interesse pelo biogás entre as décadas de 70 e 80, principalmente por parte dos suinocultores. Algumas empresas e programas governamentais induziram e subsidiaram a implantação de muitos biodigestores nas propriedades rurais, com o foco principal na geração de energia (KUNZ, 2010).

Em 2014, no Brasil o conteúdo energético da biomassa residual pecuária (esterco) produzida foi de 8 Mtep (tonelada equivalente de Petróleo). Em 2050, o conteúdo energético desta produção de biomassa residual deve atingir 18 Mtep(EPE,2015).



A produção na atividade rural agrega valor, quando utilizada energia de fonte renovável, neste sentido, o uso de resíduos agrícolas e dejetos de animais, como fonte de biomassa apresenta grande aproveitamento energético.

Na Tabela 1, apresenta o potencial de produção de biogás a partir do material seco e o percentual de gás metano produzido.

**Tabela 1:** Produção de Biogás de resíduos a partir de material seco

<b>Biomassa (Esterco)</b>	<b>Produção de biogás (a partir de material seco em m<sup>3</sup>/t)</b>	<b>% de gás metano no biogás</b>
Bovino	270	55%
Suíno	560	50%
Avícola	285	Variável
Eqüinos	260	Variável

**Fonte:** Colatto; Langer (2011)

Segundo Plataforma Itaipu de Energias Renováveis (2008), uma unidade de produção de leitões típica, com 5 mil matrizes suínas produz cerca de 250 m<sup>3</sup> de dejetos por dia. Esse efluente contém 25.000 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), ou seja, a carga orgânica de atividades agropecuária, como por exemplo suinocultura é bastante poluidora, superior a de efluente doméstico, sendo este em média, 600 mg/L.

Os dejetos suínos sempre foram causadores de grandes fontes de poluição, porém, é necessário destacar que esta poluição pode ser transformada em fontes de riqueza. Uma granja de suínos, além de produzir a carne e outros derivados, pode constituir em excelente produtora de energia, tanto para si, como para terceiros. É importante enfatizar que esse tipo de energia é renovável e a busca pelas tais fontes está crescendo rapidamente em todo o mundo (SILVA; FRANCISCO, 2010).

Segundo Santos et al. (2017), a produção de biogás na zona rural é a adaptação de modelos de biodigestores que podem ser utilizados de acordo com a necessidade da propriedade e produtor. Do ponto de vista sanitário, o uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais, favorece a redução de doenças associadas a falta de saneamento, tais resíduos possuem inúmeros microrganismos patogênicos.

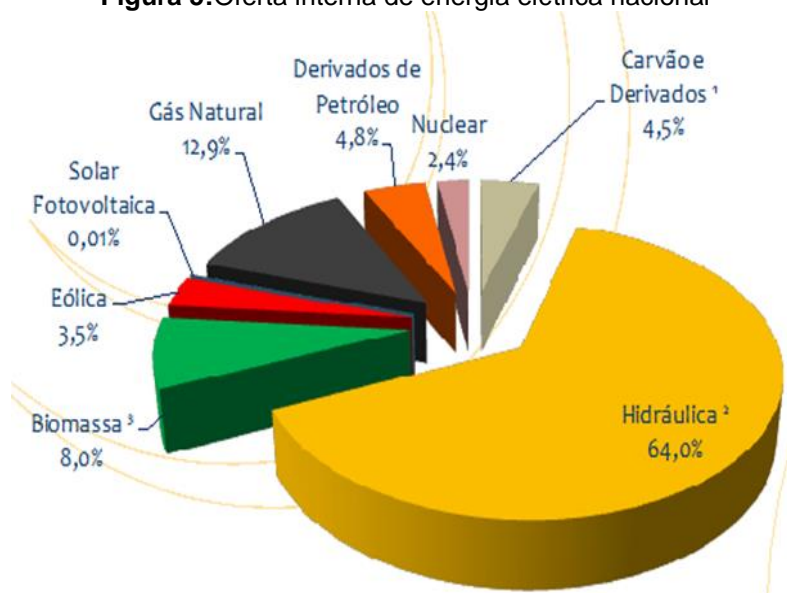
É necessário realizar uma análise de custo/benefício para a utilização dos resíduos sólidos orgânicos da agropecuária para aproveitamento energético, avaliar os custos relacionados a transporte, coleta de resíduos, e o nível de tecnologia para desempenho desta atividade.

## 2.2 BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL

A situação das energias renováveis apresentam grande crescimento no mercado internacional, como exemplo, o estudo realizado pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA – Internacional Renewable Energy Agency), denominado Renewable Power Generation Costs em 2014, que aponta a relação custo-eficácia das tecnologias de geração de energia renováveis, tornando viabilidade técnica e econômica eficiente.

De acordo com IRENA (2014), em poucos anos de incrível crescimento, as energias renováveis passaram a ter uma contribuição importante na matriz energética mundial, prometem ser o motor da economia do futuro, e mostra que o Brasil está em segundo lugar no ranking dos países com maior capacidade renovável disponível, para geração de energia por meio de biomassa, com 11,5% .

O Brasil é um país de grande extensão, e bastante populoso, possui grande diversidade nas atividades econômicas e com valores representativos, o que concerne a atividade na pecuária, indústria e agroindústria. Os resíduos provenientes da população e tais atividades, através de tecnologias sustentáveis podem ser reaproveitados para fomentar o suprimento de energia. Na Figura 5, estão apresentadas as fontes de energia utilizadas no País, na qual a biomassa representa 8% da oferta interna nacional de energia.

**Figura 5:** Oferta interna de energia elétrica nacional

Fonte: Brasil(2015)

As principais fontes de biomassa energética disponíveis no Brasil são a cana de-Açúcar e seus derivados, a lenha de florestas energéticas ou nativas manejadas, os Resíduos sólidos urbanos (RSU) e os resíduos agrícolas, agroindustriais e agropecuários (BRASIL, 2015).

Segundo Borges et al. (2017) o Brasil apresenta um grande potencial para produção de biomassa, e diferente dos outros países, possui vantagens para liderar a energia oriunda da agricultura. Uma das vantagens que se destaca, é a capacidade de incorporar novas áreas à agricultura para geração de energia, sem competir com a agricultura de alimento e com impactos ambientais limitados.

## 2.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA

### 2.3.1 Biodigestão anaeróbia da biomassa

A biodigestão anaeróbia é um processo bioquímico, que ocorre na ausência de oxigênio molecular livre, no qual, diversas espécies de microrganismos interagem para converter compostos orgânicos complexos em CH<sub>4</sub>, compostos inorgânicos como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S e traços de outros gases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (LEITE et al.2009)

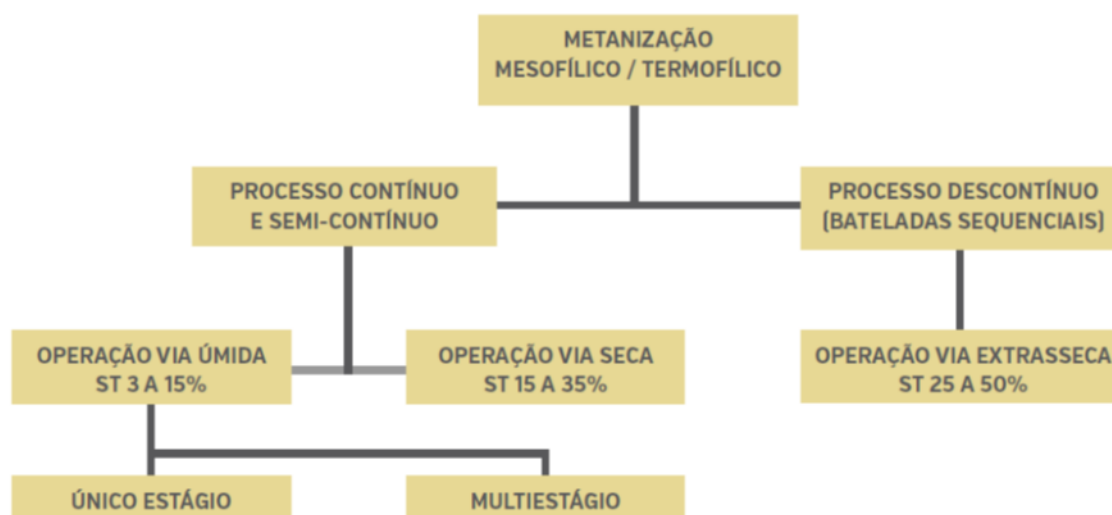
A utilização de tecnologia anaeróbia era utilizada antigamente para eliminação de resíduos, mas nas últimas décadas, a partir de resíduo putrescível (por exemplo, fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, esterco de animais, bagaço da cana-

de- açúcar, resíduos de laticínios) são reaproveitados como oportunidade de produzir um biocombustível, que fomenta o rápido crescimento do biogás.

A digestão anaeróbia é importante alternativa para o tratamento de resíduos com elevadas concentrações de materiais orgânicos putrescíveis, haja vista incorporar baixos custos operacionais e produzir fonte limpa de energia.

De acordo com Observatórios Sistema FIEP (2016), o processo de biodigestão depende de alguns fatores para ser bem-sucedido, a temperatura configura um deles. O essencial é que ela se mantenha constante no biodigestor, dentro de uma faixa adequada para a biodigestão (normalmente entre 37 e 42° C ou entre 50 e 60° C). Os microrganismos adaptam-se a vários intervalos de temperatura, já que se trata de um consórcio entre diversas espécies, o que o torna mais resistente a mudanças bruscas. Na Figura 6, são apresentadas as características básicas das tecnologias de biodigestão anaeróbia

**Figura 6:** Características dos processos para tratamento via digestão anaeróbia



Fonte: Fricke; Pereira(2013)

O processo contínuo é caracterizado por dois tipos de sistemas: operação via úmida, (concentração de sólidos totais 3 a 15%) e operação via seca, (concentração de sólidos totais entre 15 a 35%), ou seja, apresentando menor umidade o resíduo a ser degradado para operação via seca.

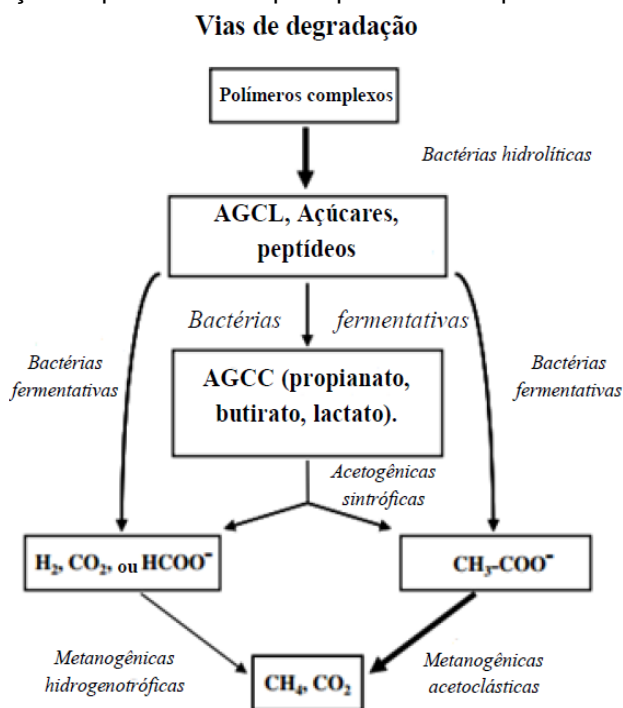
Existem basicamente duas faixas de temperatura utilizadas no processo de metanização - mesofílica e termofílica. No processo mesofílico, os microrganismos apresentam uma taxa máxima de crescimento a temperaturas em torno de 37°C,

enquanto que no termofílico, a temperatura ideal é de aproximadamente 55°C.(PROBIOGÁS,2016)

Os sistemas de bateladas sequenciais são tecnologicamente mais simples, robustos e baratos, tendo como principais desvantagens, a necessidade de uma maior área e uma menor produtividade de biogás. Entretanto, devido aos reatores serem completamente esvaziados ao final de cada processo, torna-se possível eliminar um dos principais problemas operacionais enfrentados em usinas de biodigestores de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, o acúmulo de materiais inertes no interior do reator (DE BAERE; MATTHEEUWS, 2010).

Nos reatores de único estágio, todas as etapas do processo de digestão anaeróbia (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) ocorrem simultaneamente em um único tanque de reação, de mistura completa. Entretanto, devido aos microrganismos metanogênicos serem mais sensíveis a mudanças no meio e possuem requerimentos metabólicos específicos, bem como uma taxa de crescimento menor do que os demais, os reatores devem ser manejados de forma a prover as condições ótimas a este grupo de microrganismos. Devido à taxa de crescimento mais acelerada dos demais microrganismos envolvidos no processo e à elevada produção de ácidos, pode ocorrer o processo denominado inibição por substrato, prejudicando o desenvolvimento dos microrganismos metanogênicos. De forma a otimizar cada uma das etapas do processo de metanização, foram desenvolvidas tecnologias que operam em processos multiestágio (AUSTERMANN et al., 2007).

Na Figura 7, estão apresentadas as etapas do processo de digestão anaeróbia, resumido em quatro etapas: Hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogêneses, como também, os grupos microbianos envolvidos no processo.

**Figura 7:** Representação esquemática das principais fases do processo de Digestão Anaeróbia

**Fonte:** Adaptado de Pind et al. (2003).

Entre 5 a 15% do material orgânico é convertido em lodo ou biomassa microbiana e cerca de 10 a 30% não é convertida em biogás ou biomassa, permanecendo como material não degradado (CHERNICHARO, 1997). Salienta-se que estas características dependem do tipo de substrato utilizado.

No Quadro 3, são apresentadas as vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

**Quadro 3 :** Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, que é cerca de 5 a 10 vezes menor que a verificada nos processos aeróbios;	Suscetibilidade das bactérias anaeróbias à inibição por um grande número de compostos
Aplicabilidade em pequena e em grande escala.	Na ausência de lodo de semente adaptado, a partida do processo é lenta
Baixo consumo de energia, com consequente redução de custos operacionais	Pré-tratamento usualmente necessário;
Produção de metano (que pode ser convertido em energia);	Possibilidade da geração de maus odores, porém, controláveis;
Tolerância a elevadas cargas orgânicas;	Remoção de nitrogênio, fósforo e patogênicos insatisfatória.

**Fonte:** Chernicharo,(2007)

As vantagens de utilização de biodigestores na agropecuária são: fornecimento de combustível no meio rural mediante o biogás e adubo por intermédio de biofertilizante, valorização dos dejetos para uso agrônômico; redução do poder poluente e do nível de patógenos; exigência de menor tempo de detenção hidráulica e de área em comparação com outros sistemas anaeróbios; geração de créditos de carbonos. Já as desvantagens são: processo de fermentação anaeróbia é lento, porque depende das bactérias metanogênicas, cuja velocidade de crescimento é lenta, que se reflete num tempo longo de retenção dos sólidos; necessidade de homogeneização dos dejetos para garantir a eficiência do sistema.(COLLATO;LANGER, 2011)

### **2.3.2 Tecnologia de digestão anaeróbia aplicada a biomassa**

Biodigestores são estruturas projetadas e construídas de modo a produzir a degradação da biomassa residual, sem que haja qualquer tipo de contato com o ar. Isso proporciona condições para que alguns tipos especializados de bactérias, altamente consumidoras passem a predominar no meio e, com isso, provoquem degradação mais acelerada da matéria (BLEY, 2009)

O Biodigestor é um equipamento utilizado para diversos tipos de resíduos orgânicos, os quais são transformados por intermédio da digestão anaeróbia para resultar em gás combustível, com teores de metano e dióxido de carbono, além de outros gases, possibilitando a geração de energia (COLATTO; LANGER, 2011).

Além de ser uma tecnologia viável ambientalmente, os biodigestores tem a capacidade de suprir as necessidades energéticas e promover benefícios sociais e econômicos. Dentre os biodigestores mais conhecidos, estão os tipos indiano, canadense e chinês, são de baixa taxa e apresentam rendimentos inferiores, e o custo de investimento é mais barato, os modelos variam de acordo com seu modelo de construção e operação.

Os biodigestores de baixa taxa apresentam rendimentos inferiores, e seu custo de investimento é mais barato. No Quadro 4, são apresentadas as características e algumas particularidades

**Quadro 4:** Biodigestores de baixa taxa

<b>Tipo de Biodigestor</b>	<b>Formas construtivas</b>	<b>Particularidades</b>	<b>Manutenção</b>
Indiano	Cúpula móvel de metal	Por ser enterrado no solo é imprescindível, o cuidado com infiltrações	Atenção especial a cúpula e gasômetro
Chinês	Teto impermeável (armazenamento do biogás)	Devido a necessidade de pressão constante, deve haver regulador de pressão	Pode apresentar problemas de estanqueidade
Canadense	Cúpula de metal ou PVC/lona		Limpeza simples, devido a fácil remoção da lona

**Fonte:** FNR,(2010),adaptado do autor

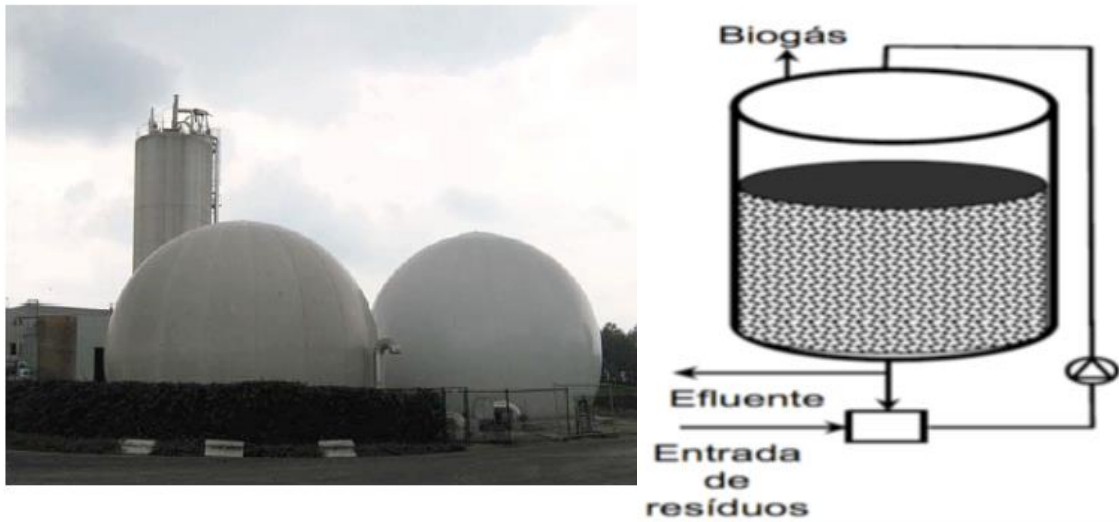
Segundo Bley, (2016) os reatores anaeróbios dividem-se em baixa taxa, alta taxa e alta taxa em dois estágios. A denominação alta ou baixa taxa refere-se à carga orgânica suportada na alimentação do equipamento. Os reatores dependem de configurações e características, demonstram capazes de absorver grandes quantidades de matéria orgânica na corrente de entrada (alta taxa), ou se limitam a absorver concentrações menores (baixa taxa). A natureza do resíduo a ser tratado, configura o critério para a escolha da tecnologia mais apropriada à digestão, determinando se serão necessárias etapas de pré-tratamento ou de concentração antes da biodigestão propriamente dita.

É importante ressaltar, que o biodigestor é o equipamento mais importante para a produção de biogás, a quantidade e a qualidade do resíduo orgânico determina a viabilidade técnica e econômica do processo, assim, o projeto e sua execução devem ser feitos com exatidão e qualidade.

O modelo DRANCO, na Bélgica, usa um recipiente de fluxo vertical sem mistura. A matéria-prima entra pelo topo e sai na parte inferior da embarcação, onde o movimento da matéria-prima é por força gravitacional (LI;PARK;ZHU,2011) conforme a Figura 8. O digerido é desidratado e o líquido é recirculado para inocular a matéria-prima fresca. A digestão é operada sob condições termofílicas (55 ° C) e a concentração total de sólidos é de cerca de 25 a 40%.



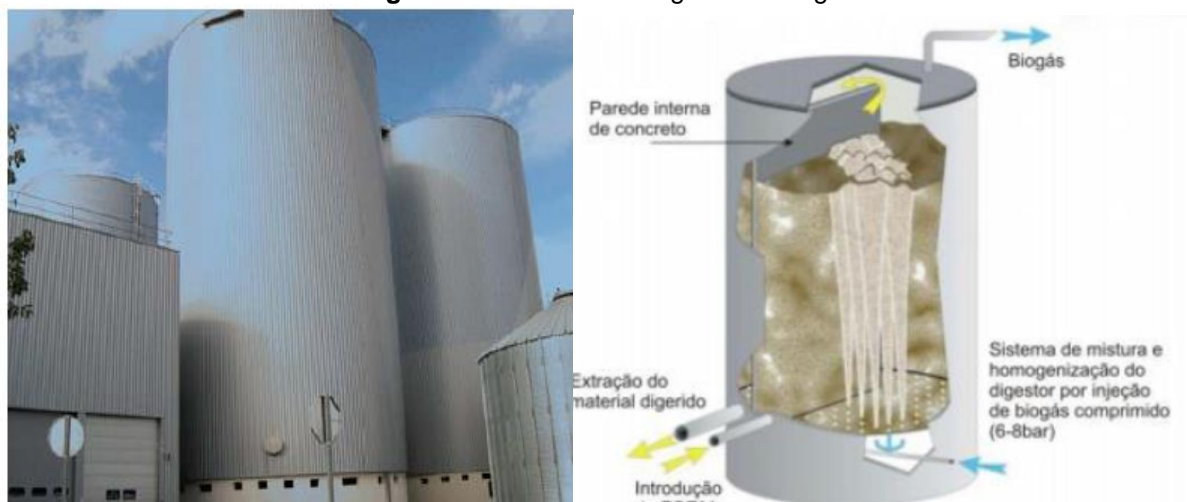
**Figura 8 :** Modelo de biodigestor Dranco



Fonte: Rapport et al. (2008).

O modelo de Valorga (França), utiliza tanques de aço verticais com um defletor central que se estende por dois terços do centro do tanque (Figura 9). O material é forçado a fluir em torno do defletor a partir da entrada para alcançar a porta de saída no lado oposto, criando um fluxo de plugue no reator. Estes tanques podem operar entre 25% e 35% de sólidos totais. (LI; PARK; ZHU, 2011)

**Figura 9 :** Modelo de biodigestor Valorga



Fonte: Rapport et al. (2008).

Para que funcione de maneira eficiente os biodigestores devem ser considerados, o tipo de material construtivo, a instalação, operação de todo o sistema e a tecnologia selecionada para tratamento dos resíduos.

No Quadro 5, são apresentados alguns modelos de tecnologia a partir de digestão anaeróbia, utilizando resíduos orgânicos como matéria-prima, e que estão sendo utilizado atualmente em diversos países.

**Quadro 5:** Tecnologia de biodigestores

<b>País</b>	<b>Tecnologia utilizada</b>	<b>Características técnicas</b>
Eslovênia	O biogás produzido resulta em 4 GWh por ano de eletricidade	Digestores: 3 x 500 m <sup>3</sup> Capacidade: 13.000 Ton Biogás: 1.800.000 m <sup>3</sup> Metano:73%
Lille, França	Os poluentes, como sulfeto de hidrogênio (H <sub>2</sub> S) e CO <sub>2</sub> , dissolvidos em água.	Digestores: 3 x 1.900 m <sup>3</sup> Capacidade: 108.000 Ton. Biogás: 7.400.000 m <sup>3</sup> Metano: 4.111.000 m <sup>3</sup>
Oshkosh, WI, USA	- 2,8 milhões de kWh -Processamento adicional de biofertilizante através da empresa local de compostagem	Volume de digestor de 2.900 m <sup>3</sup> ;

**Fonte:** EBA(2017)

## 2.4 PANORAMA ENERGÉTICOS A PARTIR DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

### 2.4.1 Biogás

Em termos de uso, o biogás pode ser aproveitado para geração de calor, eletricidade com uso de caldeira, geração de eletricidade em motores e turbinas, células de combustível, após a realização de limpeza de H<sub>2</sub>S e outros contaminantes nas membranas, introdução em uma rede de transporte de gás natural após purificação e agregação dos aditivos necessários, especialmente utilizado em Alemanha, Suécia e Holanda, material básico para a síntese de produtos de alto valor agregado, como o metanol ou o gás natural liquefeito, e mesmo como combustível automotivo (IDAE, 2007).

No Quadro 6, são apresentadas as equivalências energéticas entre fontes energéticas e 1 m<sup>3</sup> de biogás.

**Quadro 6:** Equivalências energéticas entre fontes de energia em 1 m<sup>3</sup> de Biogás

<b>Fontes energéticas</b>	<b>1 m<sup>3</sup> de biogás equivalente:</b>
Gasolina	0,61-0,70(L)
Querosene	0,58-0,62(L)
Óleo Diesel	0,55(L)
GLP	0,40-1,43(kg)
Álcool	0,80(L)
Lenha	3,50(kg)
Eletricidade	1,25-1,43(kWh)

**Fonte:** Pompermayer (2000)

Na Tabela 3 são apresentados os dados da composição do biogás, produzido a partir da biodigestão anaeróbia, no entanto, esta composição pode ser variável, depende do resíduo orgânico degradado e da eficiência de tecnologia utilizada.

**Tabela 3:** Composição média do biogás

<b>Gás</b>	<b>Composição (%)</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	55 a 66
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	35 a 45
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0 a 3
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0 a 1
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 a 1
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0 a 1

**Fonte:** CTGAS (2015)

As tecnologias utilizando o biogás, expõem capacidade de grande amplitude geográfica, sua técnica de aplicação em sistemas de escala e produção variados é adaptada em diferentes situações. No Quadro 7, são apresentadas características específicas do biogás

**Quadro 7:** Características do biogás

Ácido sulfúrico(H <sub>2</sub> S)	134 ppm ou 0,01%
PCI	5.300 Kcal/m <sup>3</sup> ou 22.195 kJ/m <sup>3</sup>
Massa Específica	0.86 kg/m <sup>3</sup> a 15 <sup>o</sup> C 101,325 kJ/m <sup>3</sup>
Pressão	250 mmc.a.(Medida do Gasômetro)
Volume produzido	24.000 m <sup>3</sup> /dia(aproximadamente)

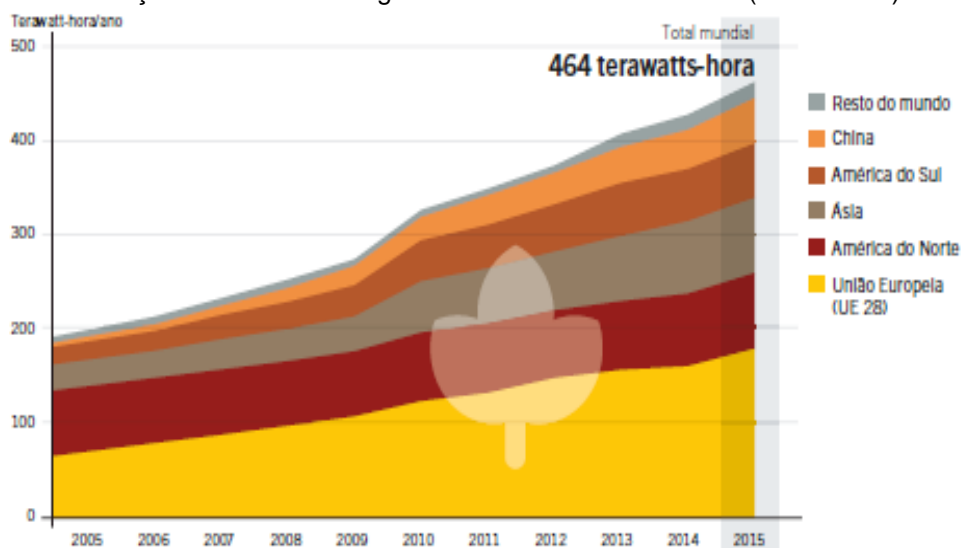
**Fonte:** CENBIO ,2003; SABESP,2001

## 2.4.2 Aproveitamento energético de biomassa no contexto Internacional

Cerca de três quartos do consumo mundial de energia renovável envolve bioenergia, com mais da metade disso, consiste o uso tradicional de biomassa. A bioenergia representou cerca de 10% do consumo final total de energia e 1,4% da geração global de energia em 2015 (IRENA, 2016).

Segundo dados da Jeppe (2011), os dados da produção bruta de eletricidade a partir da biomassa sólida nos países da União Europeia em 2010 foi de 69,9 TWh, dos quais 63 % foram produzidos em centrais de cogeração. Na Suécia, Polônia e Dinamarca toda a energia elétrica produzida a partir de biomassa sólida, é derivada dos sistemas de cogeração. Na Finlândia, a cogeração corresponde a 90% da geração de eletricidade usando biomassa sólida. A produção de eletricidade a partir do biogás na União Europeia no ano de 2010 foi de 10,9 TWh. Na Figura 10, são apresentados os dados da geração mundial de energia advinda de Biomassa

**Figura 10:** Geração mundial de energia advinda da biomassa entre (2005 -2015)



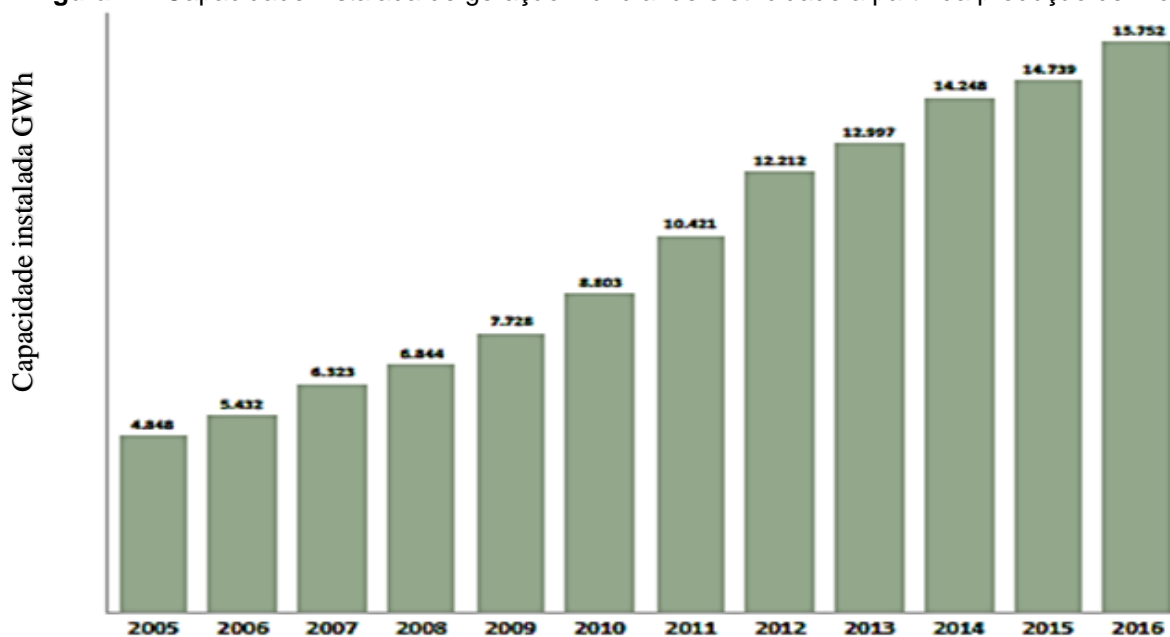
Fonte: Ren21(2017)

Na Europa, algumas aplicações de biomassa no setor residencial, são projetadas para as instalações de cogeração, os custos são competitivos e estão crescendo rapidamente (CREUTZIG *et al.*, 2012). De acordo com Holm-nielsen *et al.*, (2009), pelo menos 25% de toda a bioenergia no futuro poderá originar de biogás na união europeia, produzidos a partir de materiais orgânicos úmidos, tais como: estrume animal, silagens de culturas, alimentos úmidos e resíduos alimentares.

Os biocombustíveis líquidos geraram 1,7 milhões de empregos e biogás 0,3 milhões de empregos em 2016. Com empregos concentrados no fornecimento de matéria-prima. Brasil, China, Estados Unidos e Índia foram a chave dos mercados de trabalho de bioenergia (IRENA, 2017). A China, Índia e Alemanha são os países que apresentam maior número de empregados na atividade de biogás atualmente.

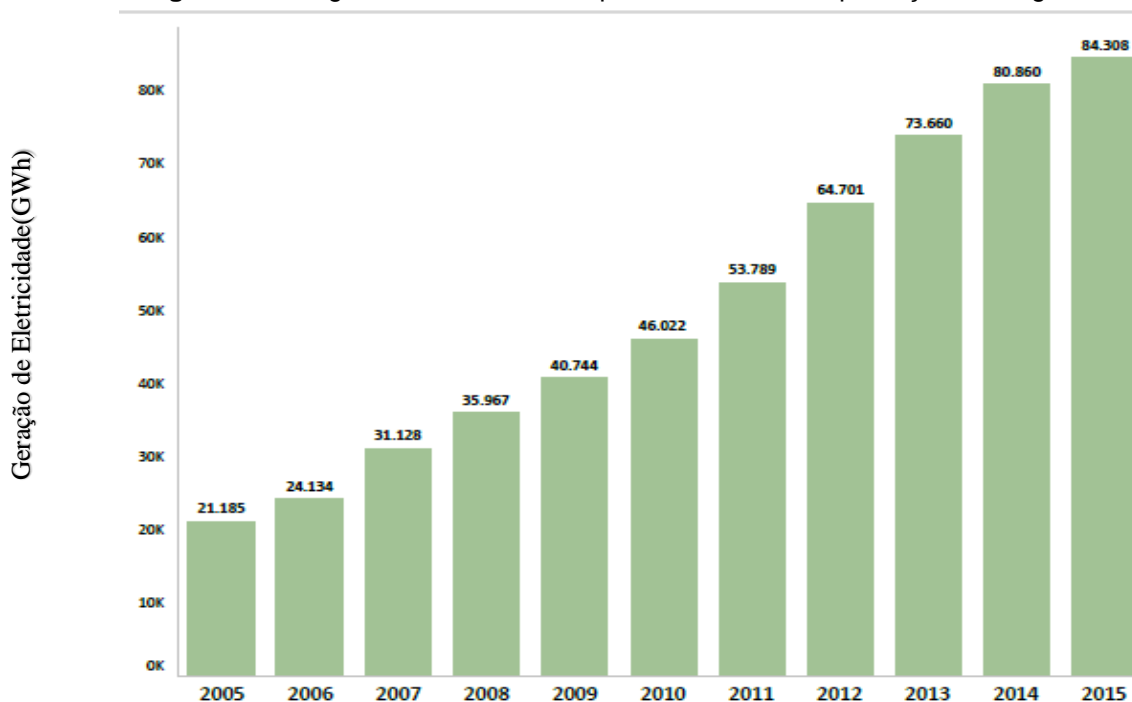
As energias renováveis fazem parte da matriz energética mundial e apresenta um futuro bastante promissor de grande crescimento econômico, pois em poucos anos houve grande expansão. Na Figura 11, são apresentados os dados referentes a capacidade de eletricidade instalada atualmente no mundo, derivado de biogás, sendo aproximadamente 15.752 GWh de energia elétrica por ano.

**Figura 11:** Capacidade instalada de geração mundial de eletricidade a partir da produção de Biogás



Fonte: Irena 2017

A capacidade de geração de energia elétrica, se todos os países utilizassem deste recurso renovável seria capaz de suprir as necessidades energéticas de inúmeros países, na Figura 12, é apresentado o potencial energético disponível de geração de energia Elétrica a partir de Biogás.

**Figura12:** Energia elétrica mundial disponível derivada da produção de biogás

**Fonte:** Irena (2017)

O biogás pode desempenhar um papel fundamental na transformação das energias renováveis com um grande potencial na Índia (aproximadamente 48,383 milhões de m<sup>3</sup> de biogás por ano), tendo possibilidades de substituição e, portanto, reduzir a dependência de combustíveis fósseis (JHA, BHASKAR et al.,2015).

Alguns países têm optado pelo uso recorrente do biogás para produção de energia elétrica na zona rural, onde o acesso a energia elétrica é mais escasso como a China, Índia e Bangladesh. Os países da União Europeia que obtém a maior quantidade de energia elétrica, procedente de biogás como fonte renovável são Alemanha, França e Itália

Apesar dos desafios na aquisição e processamento de recursos de biomassa, produção de energia com base em resíduos é mais sustentável, seguro e econômico para o desenvolvimento do setor de biogás da União Europeia (Meyer et al,2017).

Na Europa, segundo Capros et al. (2008) as usinas de biogás resultantes de efluentes industriais, geralmente são localizados na fonte geradora. Os resíduos agrícolas podem ser tratados em pequenas usinas de biogás ou como usinas que recebem o resíduo agrícola de vários estabelecimentos rurais.

### 2.4.3 Aproveitamento energético da biomassa no Brasil

A Empresa de Pesquisa Energética (2015), considera que o potencial energético das biomassas no Brasil saltará de 210 milhões de TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo) em 2013, para cerca de 460 milhões de TEP em 2050.

A Associação Brasileira de Biogás e Biometano, (2017), relata que o potencial nacional é cerca de 20 bilhões de metros cúbicos ao ano, nos setores sucroalcooleiro e na produção de alimentos. No setor de saneamento básico, resíduos sólidos e esgotos domésticos é de três bilhões de metros cúbicos ao ano, e esse volume, significa uma geração de 1.065,5 megawatt-hora (MWh) por ano. Considerando a média per capita de consumo de energia em 2016, que foi de 2.266 MWh por habitante, a atual capacidade instalada de biogás poderia alimentar uma cidade de quase 470 mil pessoas, conforme os cálculos da Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABILOGÁS, 2017).

A produção de energia elétrica no Brasil a partir do biogás, em 2017, foi 14% superior à geração comparada ao mesmo período do ano anterior. As 35 usinas que aproveitam rejeitos urbanos, da pecuária e da agroindústria somaram 135,279 megawatts (MW) médios, entregues ao longo do ano passado, frente aos 118,6 MW médios gerados no mesmo período de 2016, segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Todos os anos, o Brasil deixa de gerar 115 mil gigawatts-hora (GWh) de energia com o não aproveitamento do potencial disponível para geração de biogás. Esse volume poderia abastecer 25% de toda energia consumida em 2016. É viável que o Brasil alcance uma produção diária de 10,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia até 2025 para produção de bioeletricidade.

Na Tabela 4, estão apresentados os dados da geração de energia elétrica advinda da biomassa por várias fontes. Estão identificadas a relação entre o tipo de fonte, e produção de capacidade instalada de energia elétrica em KW, mostrando também o número de usinas existentes no ano 2016 no Brasil em cada setor descrito. Conforme os dados da ANEEL,(2017) a parcela referente a produção de biogás ainda é pouco difundida no Brasil

**Tabela 4:** Empreendimentos de geração de energia elétrica a partir da biomassa, através de diversas fontes de matéria-prima

<b>Fonte nível 2</b>	<b>Número de Usinas</b>	<b>Capacidade Instalada (KW)</b>
Bagaço de cana-de-açúcar	387	9.880.703
<b>Biogás agroindustrial</b>	<b>2</b>	<b>1.722</b>
Capim Elefante	2	31.700
Carvão vegetal	7	51.400
Gás de Alto Forno	7	107.865
Licor Negro	17	1.785.102
<b>Biogás (RSU)</b>	<b>12</b>	<b>1.361</b>
<b>Biogás(Agropecuária)</b>	<b>11</b>	<b>66.971</b>

Fonte: Aneel(2017).

Segundo Brasil (2015), o Biogás corresponde a apenas 0,06% da potência instalada, menos que outras tecnologias renováveis que possuem maiores limitações quanto à instalação e à operação.

No passado, o setor econômico que utilizava o biogás restringia-se apenas para zona rural, em pequenos produtores, mas, atualmente é utilizado um sistema de produção industrial desenvolvido e complexo.

A tecnologia de produção do biogás ainda é incipiente no Brasil. Durante um longo período de 40 anos (1970 a 2010) não teve a importância adequada, sendo considerado um subproduto, sem valor econômico. (BLEY, 2015)

O Brasil atualmente não possui assistência técnica especializada e uma cadeia de produção para realizar o processo de reaproveitamento de energia, pelo processo de biodigestão, sendo realizado por empresas internacionais.

Para implantação de usinas com aproveitamento de biogás em grande escala no Brasil, são necessárias discussões incessantes sobre o assunto, desenvolvimento de estudos e pesquisas, gerenciamento dos resíduos orgânicos na fonte geradora, e disseminação da importância referente ao potencial de produção de biogás na matriz energética como fonte renovável.

Segundo Stegelin (2010), os benefícios de energia gerada pelo biogás originada de resíduos orgânicos, consistem em economia no custo da energia elétrica comprada, economia com combustível quando o biogás é usado para esse fim.



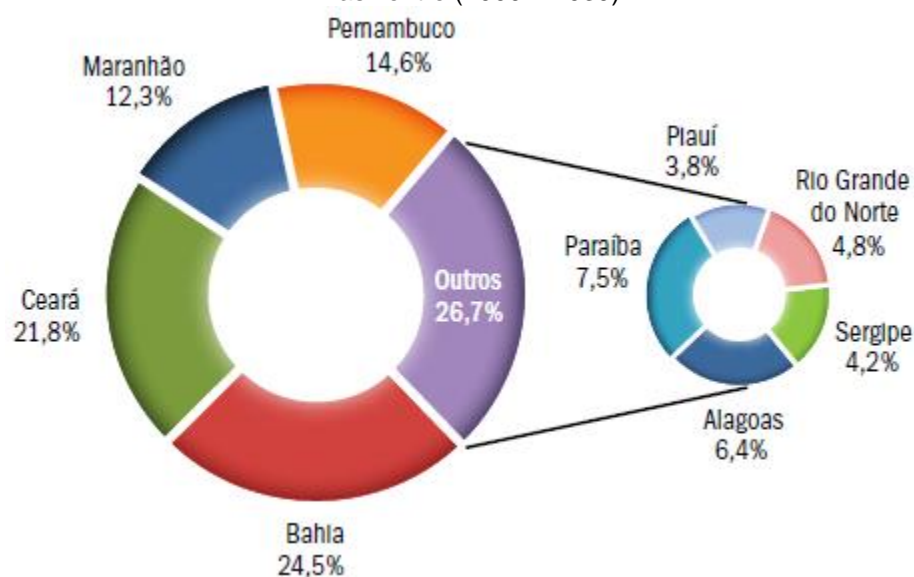
O biogás também é uma fonte de energia substituta para os combustíveis como diesel e gasolina que são fontes de combustíveis fósseis. São claras as vantagens da produção de energia elétrica a partir de biogás, entre elas: geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo; possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias; redução da quantidade de eletricidade comprada da concessionária; possibilidade de uso de processos de cogeração; redução das emissões de metano para a atmosfera, pois este também é um importante gás de efeito estufa; créditos de carbono; redução de odores (SALOMON ; LORA, 2009).

A produção de biogás pode ser considerada importante racionalização da produção e do uso de energia renovável na agricultura, principalmente, em escalas menores de produção. A utilização destes sistemas depende da viabilidade técnica e econômica (SERVI et al., 2011).

## 2.5 DESAFIOS E PROPOSTAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO USO DE BIOGÁS

As emissões de gases de efeito estufa, ocorrem praticamente em todas as atividades humanas e setores da economia: na agricultura, por meio da preparação da terra para plantio e aplicação de fertilizantes; na pecuária, por meio do tratamento de dejetos animais e pela fermentação entérica do gado; no transporte, pelo uso de combustíveis fósseis, como gasolina e gás natural; no tratamento dos resíduos sólidos, pela forma como são tratados e disposto; nas florestas, pelo desmatamento e degradação de florestas; e nas indústrias, pelos processos de produção (BRASIL, 2017). Na Figura 13, são apresentados os dados das emissões de GEE por estado na Região Nordeste (2009 – 2039).

**FIGURA 13:** Porcentagem das emissões de gases do efeito estufa por estado na região Nordeste do Brasil entre (2009 – 2039)



Fonte: Pesquisa ABRELPE(2016)

A tecnologia para aproveitamento do biogás está fora do alcance dos mais desfavorecidos, devido ao alto investimento inicial. Existe também, uma série de restrições que afetam a implementação da tecnologia de biogás em grande escala, tais como: político, social-cultural, financeiro, informativo, restrições institucionais, técnicas e formativas. Para o desenvolvimento da tecnologia de biogás incluem: avaliação dos padrões de demanda e oferta de energia e suas distribuições setoriais em nível nacional, a fim de estimar a contribuição da tecnologia de biogás e outra energia renovável para a nação (OECD,2010)

Atualmente, as tecnologias mais utilizadas para conversão de biogás em geração de energia elétrica pode ser dividida de acordo com o uso

**Conjunto Gerador de Eletricidade:** Consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (álcool, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade, independente da rede de energia elétrica da concessionária local (OLIVEIRA, 2004)

Existem inúmeros instrumentos para conversão de biogás em energia elétrica, na Tabela 5, estão apresentados os tipos de geradores que são capazes de converter o biogás para eletricidade, de acordo com a potência, porcentagem de rendimento do biogás, bem como fabricante.

**Tabela 5:** Tipos de geradores para conversão de eletricidade a partir biogás

<b>Tecnologia</b>	<b>Potência</b>	<b>Referência</b>	<b>Rendimento com biogás (%)</b>
Grupo gerador	815	Caterpillar	31
Grupo gerador	1062	Caterpillar	35,8
Grupo gerador	1600	Caterpillar	38,9
Microturbina	1000	Capstone	33

**Fonte:** Adaptado por Klaus,2004

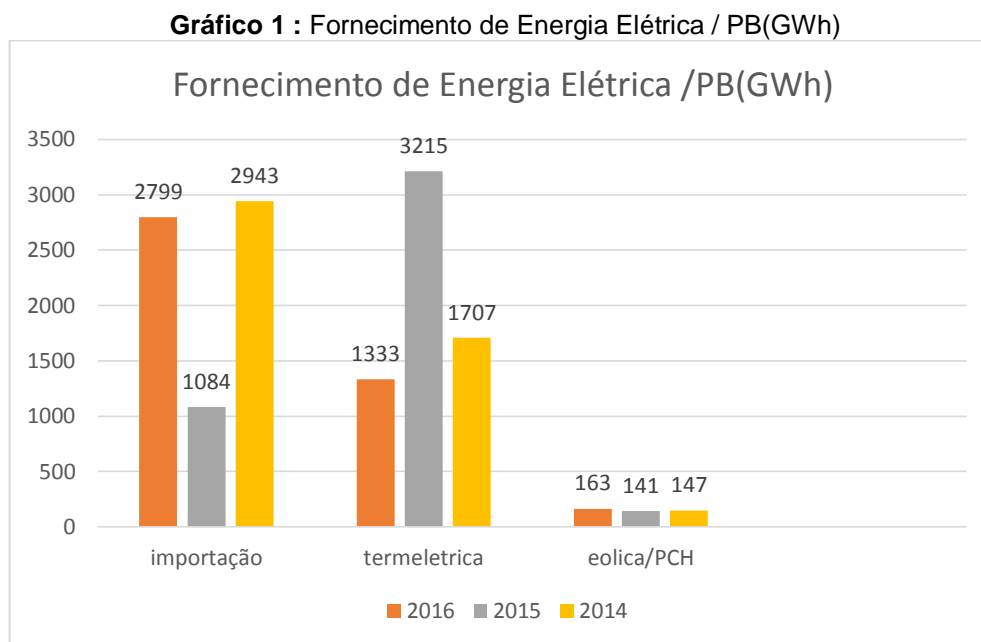
A distribuição do consumo de energia elétrica no estado da Paraíba é subdividida em grupos de consumidores, a Tabela 6 são apresentados os dados do consumo de energia.

**Tabela 6:** distribuição do consumo de energia Elétrica no Estado da Paraíba

<b>Tipos de Consumidores</b>	<b>2016</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>
Residencial	1812 GWh	1776 GWh	1720 GWh
Industrial	1460 GWh	1465 GWh	1475 GWh
Comercial	911 GWh	921 GWh	886 GWh
Rural	278 GWh	289 GWh	277 GWh
Público	720GWh	728 GWh	737 GWh
Consumo Total	5189GWh	5186 GWh	5103 GWh
Número de Consumidores	1.587.330	1.559.893	1.509.035

**Fonte:** Aneel(2017); EPE(2017) adaptado do Autor

Quanto a geração de energia produzida no estado da Paraíba, a maior quantidade é através de importação, advinda de energia hidrelétrica, salienta-se que o estado apresenta grande potencial de crescimento com energia eólica, apenas a região do município de Mataraca(PB), apresenta cerca de 63 MW de potência instalada (ANEEL,2017). No Gráfico 1, são apresentados os dados do fornecimento de energia elétrica a partir de termelétrica, energia eólica e importação das usinas hidrelétricas.



Fonte: ANEEL(2017);Energisa(2017) Adaptado do Autor

### 2.5.1 Legislação brasileira pertinente à energia renovável e ao biogás

Quanto à legislação e às iniciativas governamentais, o Brasil vem apresentando avanços, dentre os incentivos federais, destacando-se o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, o PROINFA foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). (EPE, 2016)

De acordo com a Nota Técnica 13/2014, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), junto à Série de Estudos da Demanda de Energia 2050, o biogás foi introduzido no cenário do Planejamento Energético Nacional, a participação na Matriz energética Brasileira nos próximos anos. Nesta perspectiva, é utilizado para geração de energia e também utilizado para combustível veicular.

Em Janeiro de 2015 a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) publicou a Resolução 8, regulamentando o uso do biometano no Brasil. Conforme essa resolução, o gás natural é tratado de forma equivalente ao biometano, este sendo produzido a partir de biomassa, como resíduos sólidos orgânicos de diversas fontes.

Em dezembro de 2012, pelo Decreto nº 58.659, foi instituído o programa paulista de biogás, com objetivo de incentivar e ampliar a participação de energias renováveis na matriz energética do Estado de São Paulo, através das externalidades positivas da geração de gases combustíveis, provenientes de biomassa e estabelecer a adição de um percentual mínimo de Biometano ao gás canalizado comercializado no Estado de São Paulo (BORSCHIVER; SILVA,2014).

Baseado nestas informações, é possível observar o progresso relacionado a implantação de políticas públicas ao longo das últimas décadas relacionada a utilização da biomassa, mas ainda são necessários maiores avanços neste sentido.

## 2.6 MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS E GERAÇÃO DE GÁS METANO.

Para a estimativa de resíduos é apresentada a metodologia proposta por Oliveira, (1993) a quantidade de dejetos total que são gerados, advindo de atividades agropecuárias, é calculado conforme a Eq.(1)

$$Gt = g \times q \quad (1)$$

Onde:

g :Geração de Resíduos de cada animal (kg/animal)

q : Quantidade total animal por ano (animal/ano)

Gt :Geração de Resíduos total (kg/ano)

Para identificar o potencial de produção de biogás, a ser produzido via digestão anaeróbia, o número total de animais, os fatores de conversão de resíduos para biogás e posteriormente o índice de conversão para energia elétrica foram obtidos na literatura a partir do modelo proposto por (KUNZ; OLIVEIRA,2006).

Com esses dados, o volume de biogás produzido anualmente para os resíduos e o potencial de geração de energia elétrica, foi estimado usando a Eq. (2) e (3)

$$Q = Na \times T \times F \times E \quad (2)$$

Onde:

T: taxa de geração de esterco do animal (kg /ano);

Na: número de animais em todo o território;

F: fator de biogás produção (m<sup>3</sup>/ kg);

E: eficiência do biodigestor ( 85%);

Q: digestão anaeróbia de esterco (m<sup>3</sup>/ano);

Para calcular o potencial de geração de energia elétrica

$$P = Q \times E \quad (3)$$

Onde:

P: produção de energia elétrica (KWh);

E: Fator de conversão biogás para energia elétrica (KWh/ m<sup>3</sup>);

Q: Produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de esterco (m<sup>3</sup>);

Para cálculo da estimativa teórica de resíduos sólidos urbanos, proposto por (Zanta,2003) inicialmente, é necessário identificar o número de habitantes, para posteriormente constatar a geração de RSU, foi calculado usando a Eq. (4):

$$Q_{rsu} = (TPP \times hab.) \quad (4)$$

Onde:

Q<sub>rsu</sub>: Quantidade de resíduos sólidos urbanos (kg/dia)

TPP: taxa de geração per capita de RSU (kg.dia<sup>-1</sup>.habitante<sup>-1</sup>)

hab.: número de habitantes (hab.)

Posteriormente, é calculado a geração de RSU orgânico, neste sentido, é calculado a fração orgânica, conforme a Eq. (5):

$$Q_{RSO} = Q_{RSU} \cdot F_{RSO} \quad (5)$$

Onde:

Q<sub>RSO</sub>: Quantidade diária de resíduos sólidos orgânicos (kg/dia)

Q<sub>RSU</sub>: Quantidade resíduos sólidos urbanos (kg/dia)

F<sub>RSO</sub>: Fração orgânica (%)

## Modelo IPCC

Existem alguns métodos para calcular a quantidade de metano produzido pela digestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos. O modelo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), apresenta metodologia simples e bastante utilizada na literatura, baseia-se na determinação da produção de metano no processo anaeróbio de RSU, considerando a fração orgânica presente, é calculado a partir do teor orgânico degradável (DOC) dos resíduos, a equação para estimar a produção de metano é a seguinte, conforme a Eq.(6):

$$E = Pop. \times TPP \times RSUf \times FCM \times COD \times CODF \times F \times 16/12 \quad (6)$$

Onde:

E: Produção de metano ( $m^3CH_4/dia$ )

Pop: população (habitantes) (dados do IBGE 2017);

TPP: taxa per capita de geração de RSU ( $kg.dia^{-1}.habitante^{-1}$ );

RSUf: fração de resíduos sólidos urbanos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos (%);

FCM: fator de correção de metano (% - fração adimensional –, existem valores recomendados pelo IPCC);

COD: carbono orgânico degradável no resíduo sólido urbano ( $gC g^{-1} RSU$ );

CODF: Fração de COD que realmente degrada (%);

F: fração de  $CH_4$  no Biogás (% - fração adimensional);

16/12 : taxa de conversão de carbono em metano (adimensional).

Para identificar o valor referente ao carbono orgânico degradável no resíduo sólido urbano ( $gC g^{-1} RSU$ ), temos:

DOC(t) : Fator de emissão\* Fração de Resíduo Orgânico

Na Tabela 7, são apresentados os dados do fator de emissão, de acordo com o tipo de fração de resíduo utilizado para base de cálculo.

**Tabela 7:** Fatores de Emissão correspondente a composição do Resíduo

<b>Fração do resíduo correspondente</b>	<b>Fator de Emissão (IPCC 2006) gC/MSW</b>
Papel e Papelão	0,17
Têxtil	0,26
Alimentos	0,45
Madeira	0,47
Borracha e Couro	0,07
Plástico	0,11
Metal	0,29
Vidro	0,33
Outros	0,13

Fonte: IPCC(2006)

Quanto a fração do resíduo correspondente, proposto por IPCC (2006) são para países predominantes na América do Sul, desde que não haja dados locais disponíveis.

### **Modelo LandGEM (USEPA)**

Landfill Air Emissions Model (LandGEM) é um software desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), bastante utilizado para preparação de projetos e inventários de emissão de metano e biogás (FIRMO, 2013). O modelo matemático teórico para estimativa de produção de gás metano a partir de RSU utilizado partir da Eq. (7) (USEPA, 2005)

$$QCH_4 = k.Rx.Lo.e^{-k(x-1)} \quad (7)$$



Sendo:

$Q_{CH_4}$  = vazão de metano gerado por ano ( $m^3CH_4/ano$ )

$k$  = constante de decaimento( $ano^{-1}$ );

$R_x$  = quantidade de resíduos (kg/ ano);

$L_o$  = potencial de geração de metano ( $m^3 /kg$  RSO);

$x$ = tempo de deposição dos resíduos (ano)

A constante  $k$  representa a fração biodegradável, ou seja, a parte dos resíduos orgânicos. Neste sentido, quanto maior a geração de gás metano em curto tempo, maior o valor da constante descrita, ressalta-se que os valores de  $k$ , depende da umidade dos resíduos.

O potencial de energia elétrica a partir da produção de gás metano, segundo do modelo matemático proposto por Barros et al, (2014) e Santos et al, (2016) é apresentado, bem como o cálculo da geração de energia elétrica também é utilizado a tecnologia a partir de motogerador, segundo Salomon (2009), considerando 40% de rendimento. Para calcular a produção de energia, as equações (8) e (9).

$$Pot = (Q \times PCI \times n) \div 860 \quad (8)$$

$$E = Pot \times \Delta T$$

(9)

Onde:

Pot - potência gerada (KW);

$Q$  - Volume de gás metano ( $m^3$ );

PCI - poder calorífico do gás metano ( $kcal/m^3$ );

$E$  - Energia disponível anualmente (KWh);

$n$  - eficiência elétrica do motor (40%);

860 - Conversão kcal para kW

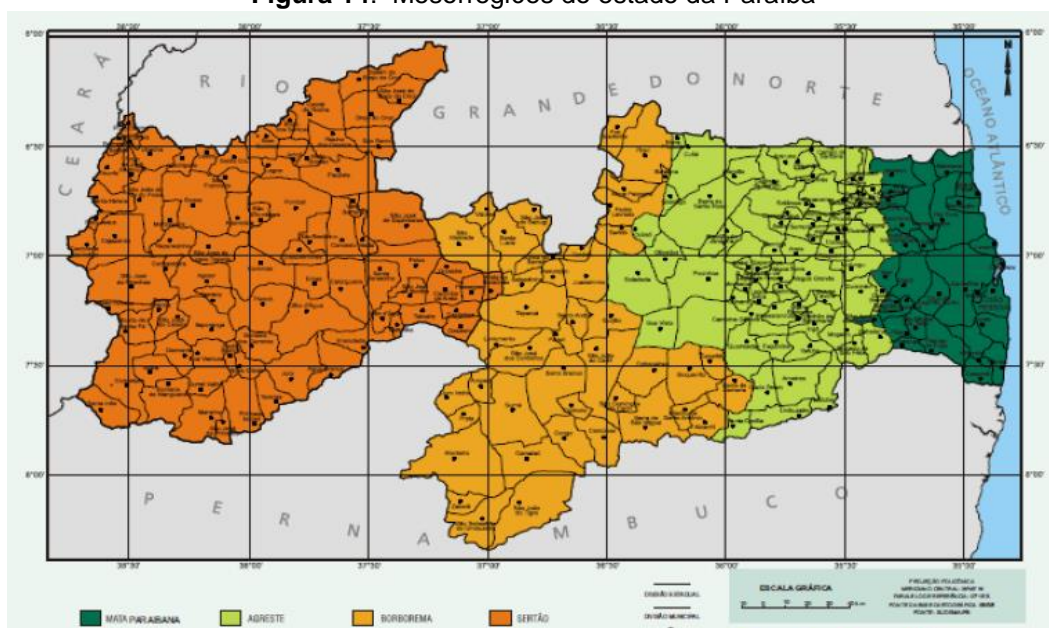
8400 - Número de horas adotadas de operação anual

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A estimativa de potencial energético de Biomassa será realizada no Estado da Paraíba, entre o período de 2017 e 2018. Segundo o IBGE (2017), a estimativa da população paraibana é 4.025.558 milhões de habitantes, distribuído em 223 municípios, as três cidades com maior número de população são: Campina Grande, João Pessoa e Santa Rita. Na Figura 14, estão sendo apresentadas as divisões territoriais das quatro mesorregiões do Estado da Paraíba.

**Figura 14:** Mesorregiões do estado da Paraíba



Fonte: IDEME,(2014)

As mesorregiões do Estado são: Sertão Paraibano, Borborema Agreste e Mata Paraibana.

Sertão Paraibano: é a 3ª (terceira) mais populosa do Estado, dividida em sete microrregiões que, juntas, abrigam 83 municípios, ou seja, o maior número de municípios.

Borborema: é a menos populosa do Estado, formada pela união de quatro microrregiões que compartilham 44 municípios.

Agreste Paraibano: é a 2ª (segunda) mais populosa do Estado, formada pela união de 66 municípios agrupados em oito microrregiões.

Mata Paraibana: é a mesorregião mais importante do Estado, formada pela união de 30 municípios agrupados em quatro microrregiões. É a única mesorregião litorânea da Paraíba. (PERSPB,2014). Na Tabela 8, estão sendo apresentadas as coordenadas geográficas do estado da Paraíba.

**Tabela 8:** Características geográficas do estado da Paraíba

<b>População (hab.) 2017</b>	<b>Latitude extremo norte</b>	<b>Longitude extremo leste</b>	<b>Latitude extremo sul</b>	<b>Longitude extremo oeste</b>	<b>Altitude (m)</b>
4.025.558	-6° 01'48"	-34° 47'30"	-8° 18' 10"	-38° 46'17"	Entre 300 e 900 m

Fonte: IBGE(2017)

### 3.2 ETAPAS E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

As coletas das informações foram realizadas através de fontes como órgãos oficiais e do governo (IBGE, MAPA, EMBRAPA, ABIEC, ÚNICA). Neste sentido, a metodologia utilizada, será considerado os resultados presentes em artigos técnicos-científicos e pesquisas acadêmicas.

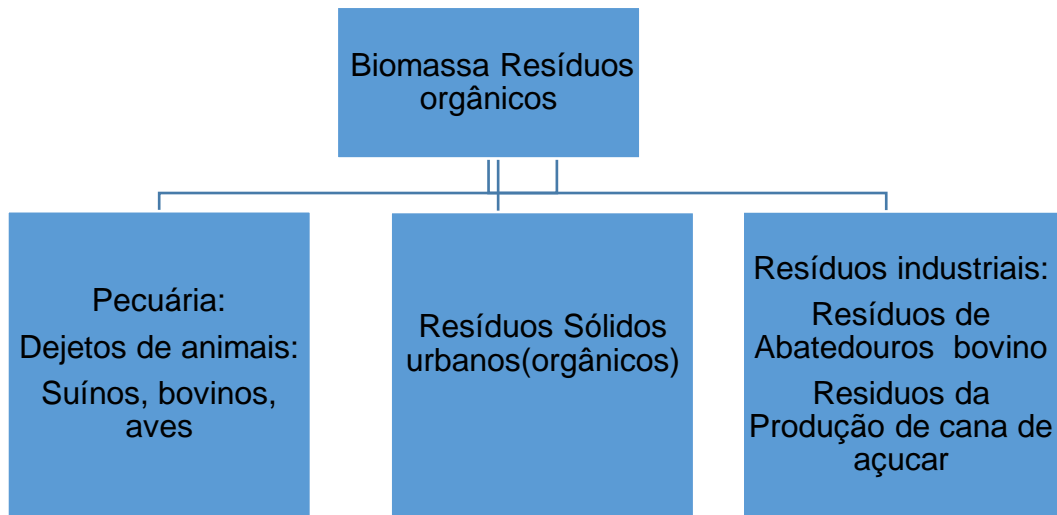
A partir dos dados obtidos das principais fontes poluidoras de resíduos orgânicos no estado da Paraíba, foi realizado o mapeamento georeferenciado das áreas que possuem potencial de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos, como ferramenta foi utilizado a tecnologia de geoprocessamento (sistema de informação geográfica-SIG), como um instrumento funcional, agilizando a função dos gestores ambientais na identificação dos poluentes.

No processo de execução da pesquisa, foram utilizadas imagens do software Google Earth Pro, e o software livre Qgis versão 2.12. Além dos dados obtidos durante a pesquisa, foi localizado os municípios com maior geração de RSU, geração de resíduos como vinhaça e efluentes advindos de abatedouros, em anexo 01.

Para chegar ao objetivo delimitado do trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com a finalidade de estimar o potencial energético das fontes de biomassa, a partir de modelos matemáticos teórico, proposto na literatura, para quantificar a produção de biogás e posteriormente, estimar a geração de energia elétrica, os cálculos foram realizados a partir do programa Excel, planilha eletrônica do sistema operacional Windows.

O resultado encontrado inerente ao potencial energético das fontes de biomassa, indicaram a estimativa teórica, ou seja, o aproveitamento total da biomassa disponível, na Figura 15, são apresentadas as fontes de biomassa utilizadas nesta pesquisa.

**Figura 15:** Fluxograma dos resíduos estudados na pesquisa

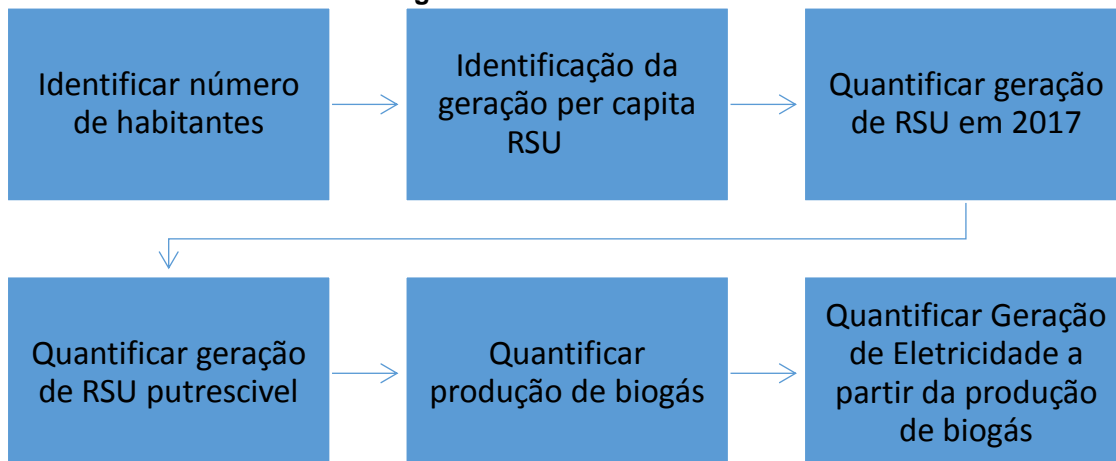


Fonte: Autoria Própria

### 3.2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Inicialmente foram utilizados os dados fornecidos pelo (IBGE,2017) relacionado a quantidade de habitantes no estado da Paraíba, como também a geração per capita de RSU, proposto por (ABRELPE; IBGE,2017) expressos em  $\text{kg.dia}^{-1}.\text{habitante}^{-1}$ , sendo necessário para quantificar a geração de RSU. Na figura 16, são apresentadas as etapas utilizadas para desenvolvimento do estudo.

**Figura 16:** Resíduos sólidos urbanos



Fonte: Autoria Própria

Não foi utilizado para a estimativa de geração de RSU os Resíduos comerciais e industriais do Estado. Para calcular a geração de resíduos foi utilizado o número da População, a geração per capita de RSU e a fração putrescível. Na Tabela 9, são apresentados os dados do número da população de alguns municípios do estado da Paraíba.

**Tabela 9:** Municípios mais populosos no estado da Paraíba

<b>Municípios</b>	<b>Número população (2017) IBGE</b>
Joao Pessoa	811.598
Campina Grande	410.332
Santa Rita	136.851
Patos	107.790
Bayeux	97.010
Sousa	69.554
Cabedelo	68.033
Cajazeiras	62.187
Guarabira	58.881
Sapé	52.697

**Fonte:** IBGE,(2017)

Foi utilizado o método proposto por Zanta,(2003), essa metodologia quantifica geração de RSU, diante disso, foi calculado usando a Eq. (1):

$$Q_{rsu} = (0,800 \text{ kg/hab. dia} \times 4.025.558 \text{ hab.}) \quad (1)$$

Posteriormente, é calculado a geração de RSU putrescível, considerando que esta fração seja aproximadamente 50%, conforme a composição gravimétrica de RSU no Brasil. Neste sentido, é calculado a fração orgânica, conforme a Eq. (2):

$$Q_{rsorgânicos} = Q_{rsu} \times 0,50 \text{ kg/hab. dia} \quad (2)$$

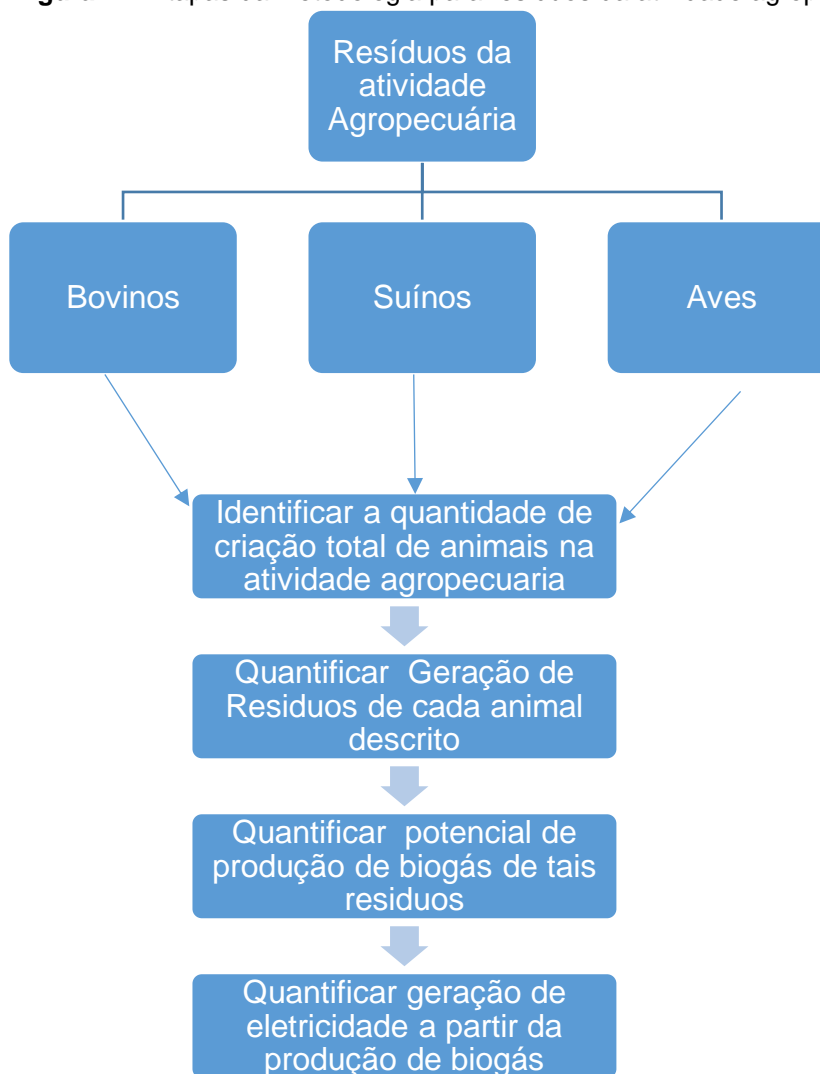
Os indicadores de conversão para determinar a quantidade de metano dos resíduos orgânicos que foram utilizados nos cálculos foi, segundo o IPCC (1996),

IPCC (2000), citado por Salomon (2007) e como base de cálculo foi utilizado apenas a fração referente aos resíduos orgânicos. Para identificar o potencial de energia elétrica a partir da produção de metano, foi aplicada a metodologia baseada em (Barros et al.,2014) e (Santos et al., 2016).

### 3.2.2 Resíduos advindos das atividades Agropecuária

De acordo com o que está sendo apresentado na Figura 17, buscou-se encontrar a estimativa de resíduo para cada tipo de animal estudado, a quantidade de dejetos total que são gerados por ano no estado da Paraíba advindo de atividades agropecuárias, conforme metodologia proposta por Oliveira(1993).

**Figura 17:** Etapas da metodologia para resíduos da atividade agropecuária



**Fonte:** Autoria Própria

Na Tabela 10, apresenta a média da geração de resíduo animal diária, de acordo com o tipo de animal.

**Tabela 10:** Média de geração de resíduo animal

<b>Resíduos (origem)</b>	<b>Quantidade kg resíduo/dia</b>
Suínos	2,35
Bovinos	12,5
Aves	0,15

**Fonte:** Oliveira, (1993).

Na Tabela 11, apresenta os dados utilizados para calcular o potencial de produção de biogás e quantificar a geração de energia elétrica.

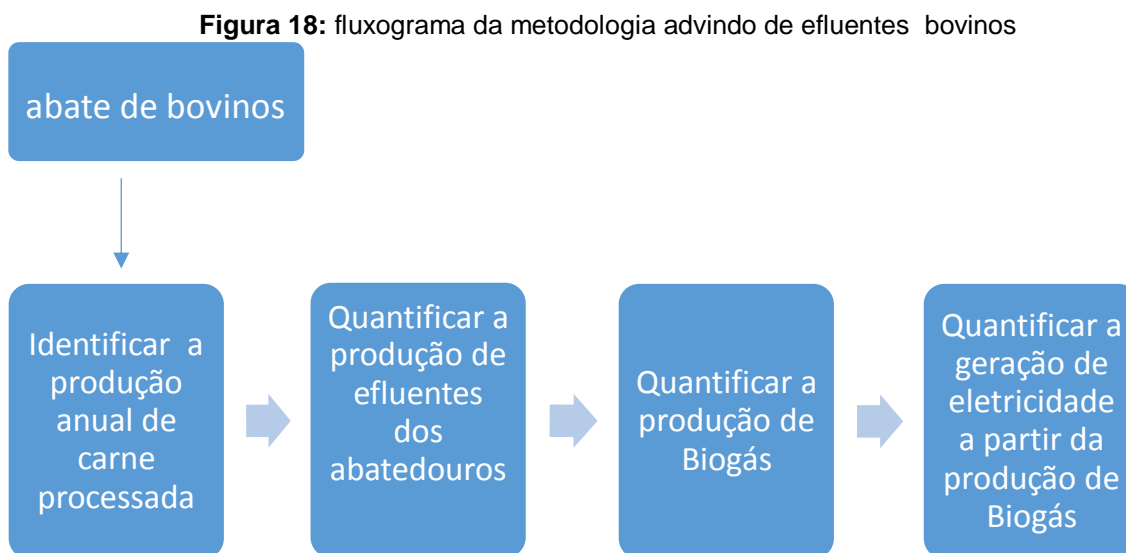
**Tabela 11:** Parâmetros para calcular o potencial de Biogás

<b>Parâmetro</b>	<b>Indicador</b>	<b>Referência</b>
Produção de biogás a partir de resíduos Bovinos (Nm <sup>3</sup> /Kg)	0,038	KUNZ; OLIVEIRA,2006
Produção de Biogás a partir de resíduos Suínos (Nm <sup>3</sup> /Kg)	0,079	KUNZ; OLIVEIRA,2006
Produção de Biogás a partir de resíduos de Aves (Nm <sup>3</sup> /Kg)	0,050	KUNZ; OLIVEIRA,2006
Fator de conversão de biogás em energia elétrica(kWh/ m <sup>3</sup> )	1,43	SGANZERLA ,1983

Com esses dados, o volume de biogás produzido anualmente para os resíduos e o potencial de geração de energia elétrica, foi estimado usando o modelo proposto por KUNZ; OLIVEIRA,(2006).

### 3.2.3 Resíduos advindos de atividades agroindustriais

Na Figura 18, apresenta o fluxograma da metodologia realizada para definição dos objetivos propostos relacionado a efluentes de Abatedouros no estado da Paraíba, proveniente de animais bovinos.



Para identificar o potencial energético de biogás foi estabelecido a partir de algumas etapas metodológicas:

A primeira etapa: foi quantificar os resíduos descrito gerados no beneficiamento da carne bovina no estado da Paraíba. Na Tabela 12, são apresentados os valores relacionados as quantidades medias dos principais tipos de resíduos gerados nos abatedouros bovinos

**Tabela 12:** Quantidade de produtos e subprodutos de abatedouros

<b>Resíduos (origem)</b>	<b>Quantidade kg/cabeça Bovinos</b>
Sangue (abate)	15 – 20 L
Vísceras comestíveis	19
(ossos, gordura, cabeça)	95
Conteúdo estomacal, intestinal	20 – 25

**Fontes:** CETESB, 1993; UNEP; DEPA; COWI, 2000



A segunda Etapa: realizar os cálculos para identificar o potencial de biogás gerado, através do processo de digestão anaeróbia, utilizando biodigestores como tecnologia de tratamento. Como parâmetros utilizados para identificar o potencial de produção de biogás e potencial energético, estão apresentados no Quadro 8.

**Quadro 8:** Parâmetros utilizados no cálculo de potencial energético

<b>Tipo de animal</b>	<b>Fator de conversão de carne processada em efluente Nm<sup>3</sup>/t</b>	<b>Índice de conversão de efluente em biogás Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></b>	<b>Fator de conversão de biogás para energia elétrica KWh/ m<sup>3</sup></b>
Bovinos	13,0	8,58	1,43
Fonte:	ROSENWINKEL;AUSTE RMANMN- HAUN;MEYER,2005	ROSENWINKEL;AUST ERMANMN- HAUN;MEYER,2005	Sganzerla,1983

A terceira etapa: calcular o potencial de energia elétrica, a partir dos dados da produção de Biogás. Portanto, a partir dessas informações, é possível identificar os dados finais da pesquisa.

Os Processos anaeróbios são apropriados para tratamento despejos provenientes de matadouros e frigoríficos, dada a natureza dos despejos. Altas Cargas de DBO e de sólidos em suspensão, características próprias destes despejos, são requisitos básicos para o sucesso do tratamento anaeróbio (SCARASSATI,2003).

Neste contexto, a tecnologia da digestão anaeróbia aplicada a efluentes provenientes de abatedouros, traz benefícios como a redução da matéria orgânica, diminuição de odores, e tratamento dos contaminantes microbiológicos.

### **Efluente Industrial: Vinhaça**

A vinhaça é um efluente industrial com grande volume de produção, visto que, aproximadamente doze litros de vinhaça é produzido a partir de um litro de álcool. (ANA ,2009) conforme a ISO 10.00434, a vinhaça é considerado, um Resíduo Sólido Classe II A (não perigoso e não inerte). No Quadro 9, estão apresentadas as características físico-químicas da vinhaça.

**Quadro 9:** Composição química da Vinhaça

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
pH	3,6
Sólidos Totais(mg/l)	57152,0
Sólidos Totais fixos(mg/l)	38604,0
Sólidos Totais Voláteis(mg/l)	18548,0
Nitrato	0,1
Nitrogênio Amoniacal(mg/l)	252,0
DBO(mg/l)	19591,2
DQO(mg/l)	55680,0
Potássio(mg/l)	1700,00
Carbono orgânico	8,1
Sulfeto(mg/l)	42,6

Fonte: Nicholletti(2012)

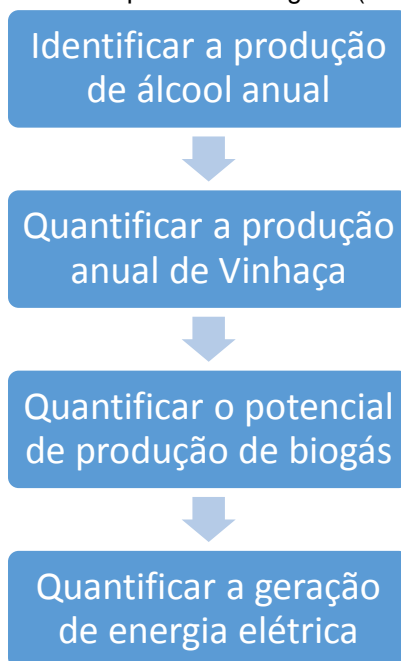
Neste sentido, percebe-se que a quantidade de DQO é 55.680,00 mg/l, de valor acentuado, sua concentração é bastante superior ao efluente doméstico, como também, apresenta pH baixo, esta conjuntura de constituintes, acarreta inúmeros malefícios ao meio ambiente, se não for tratado adequadamente. No Quadro 10, apresenta a produção de cana e seus derivados no Brasil.

**Quadro 10:** Produção de cana no Brasil entre (2015-2016)

<b>Brasil</b>	<b>Quantidade de produção</b>
Cana	670 milhões de Toneladas
Açúcar	30 mil Toneladas
Vinhaça	390 mil metros cúbicos

Fonte: Unica(2017), adaptado do autor

Baseado na importância de solucionar a problemática do descarte de vinhaça de forma correta, a proposta apresentada a seguir, tem o intuito de promover benefícios econômicos e ambientais ao setor industrial de cana de açúcar. Neste contexto, a Figura 19, estão apresentadas as etapas metodológicas para obtenção da produção de eletricidade a partir da vinhaça como fonte de energia.

**Figura 19:** Etapas metodológicas (vinhaça)

**Fonte:** Autoria própria

De acordo com levantamento realizado com alguns empresários do setor industrial da Paraíba, a vinhaça é diluída com água e outros nutrientes, e utilizada para fertirrigação da própria plantação. No Quadro 11, estão apresentados os parâmetros utilizados para cálculo dos potenciais descritos anteriormente.

**Quadro 11:** Parâmetros para cálculo do potencial energético da vinhaça

Fator de conversão de etanol em vinhaça $m^3/m^3$	Fator de conversão de vinhaça em Biogás $m^3/m^3$	Fator de conversão de biogás em energia elétrica $kWh/m^3$
12,0	9,5	1,43
ANA,2009	ANA,2009	Sganzerla,1983

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados encontrados a partir do mapeamento das zonas de produção de biogás, foi constatado que o Sistema de informação Geográfica facilitou a análise e reduziu o tempo de trabalho, posto que, não houve necessidade de idas a campo para coleta de dados. A espacialização dos dados foi importante para visualizar rapidamente as áreas suscetíveis ao aproveitamento de biogás.

### 4.1 Resíduos sólidos orgânicos

No Quadro 12, são apresentados os valores da geração per capita de RSU de acordo com as faixas populacionais e na Tabela 13, estão apresentados os dados da composição gravimétrica de RSU

**Quadro 12:** Taxa de geração de RSU

Taxa de Geração de RSU (kg.dia <sup>-1</sup> .habitante <sup>-1</sup> )	Faixas Populacionais
0,6 kg	Pop.<25.000 habitantes
0,7 kg	Pop. 25.001 a 100.000 habitantes
0,8 kg	Pop. 100.000 a 500.000 habitantes

Fonte: SNIS (2014)

**Tabela 13:** Composição gravimétrica de RSU no município de Campina Grande/PB

Composição	Porcentagem (%)
Plástico	29
Metal	5
Vidro	4
Papel e Papelão	7
Compósitos	5
Matéria orgânica	38
Têxteis sanitários	4
Outros	8

Fonte: Araújo,(2011)

Na Tabela 14, são apresentados os valores da estimativa da geração de RSU nos municípios mais populosos do estado da Paraíba, e a estimativa de geração de

resíduos putrescíveis, empregando-se o modelo proposto por Zanta,(2003) apresentado na revisão bibliográfica.

**Tabela 14:** Estimativa de geração de RSU em municípios populosos da Paraíba

Municípios	Habitantes (2017) Fonte: IBGE	Quantidade RSU (Ton./dia)	Quantidade Fração orgânica (Ton./dia)
Joao Pessoa	811.598	621,68	310,84
Campina Grande	410.332	314,31	157,15
Santa Rita	136.851	104,82	52,41
Patos	107.790	82,56	41,28
Bayeux	97.010	74,30	37,15
Sousa	69.554	53,27	26,63
Cabedelo	68.033	52,11	26,05
Cajazeiras	62.187	41,47	20,73
Guarabira	58.881	45,10	22,55
Sapé	52.697	40,36	20,36

**Fonte:** Autoria Própria

A partir dos dados obtidos, pertinente a estimativa de geração de resíduos, o estado da Paraíba apresenta a produção de RSU no valor de aproximadamente 1.125.505,05 Ton./ano, sendo 562.752,52 Ton./ano de resíduos sólidos orgânicos, inerente a população total da Paraíba 4.025.558 habitantes (IBGE,2017),

A estimativa teórica da produção de metano, utilizando resíduos sólidos orgânicos urbanos na Paraíba, a partir do modelo matemático proposto por (IPCC,2000) é de 29.386.550 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano, ou seja, a cada tonelada de resíduo é produzido 52,2193 Nm<sup>3</sup> de metano (CH<sub>4</sub>), neste sentido, a geração per capita de produção de metano chega a 7,2999(Nm<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.hab.<sup>-1</sup>). Embora expressivo, este potencial deve ser avaliado de maneira conservadora, porque este valor não refere-se ao potencial de energia elétrica.

A administração adequada do RSU e a geração de energia por meio da utilização do biogás, são soluções ambientalmente sustentáveis, inclusive, a geração de energia a partir do biogás permite a redução dos gases do efeito estufa

(GEE) e a maximização do índice de conversão de metano, contabilizado no cálculo para emissão de créditos de carbono (SANTOS, 2017). O valor da produção de biogás anual, multiplica-se por seu poder calorífico e pela eficiência das tecnologias de geração em estudo, determinando-se assim a geração de eletricidade anual. (SALOMON, 2007)

A partir dos dados obtidos por (IBGE, 2017) referente a estimativa da população paraibana no ano de 2032, foi calculado a geração de resíduos sólidos urbanos e a fração putrescível no respectivo ano a partir do modelo proposto por Zanta (2003), ressalta-se que no cálculo, não foi alterado o valor da geração per capita da população. Na Tabela 15, são apresentados os dados de projeção da geração de RSU nos municípios mais populosos do estado da Paraíba.

**Tabela 15:** Projeção da geração de RSU em municípios populosos do estado da Paraíba

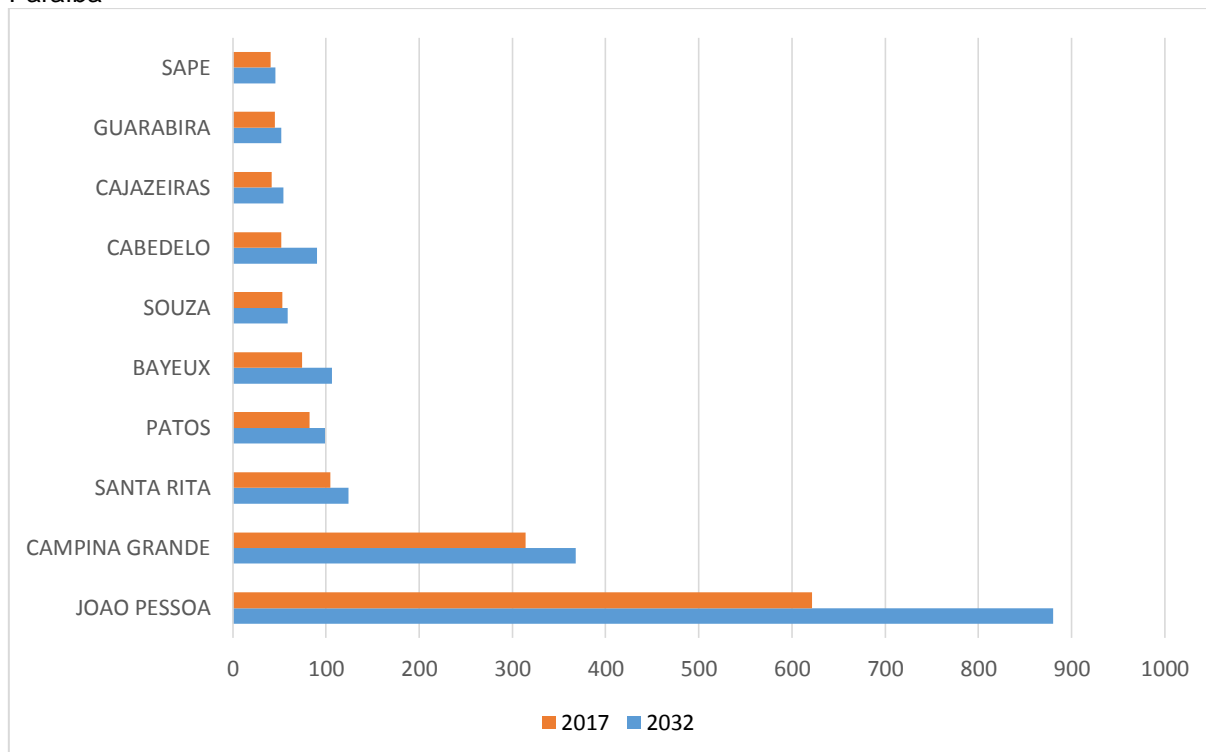
Municípios	Habitantes (Projeção/2032)	Quantidade RSU(Ton./dia)	Quantidade Fração orgânica (Ton./dia)
João Pessoa	1.100.512	880,4096	440,2048
Campina Grande	460.098	368,0784	184,0392
Santa Rita	130.751	155.120	124,096
Patos	123.449	123.449	98,7592
Bayeux	132.728	132.728	106,1824
Sousa	73.348	73.348	58,6784
Cabedelo	112.651	112.651	90,1208
Cajazeiras	67.574	67.574	54,0592
Guarabira	64.823	51,8584	25,9292
Sapé	56.873	56.873	45,4984

**Fonte:** Autoria Própria

Os resultados desta pesquisa relatam que, a estimativa de geração de RSU da capital João Pessoa chegará a aproximadamente 880 Ton./dia, tal estudo mostra a complexidade do fenômeno causado na zona urbana, no que concerne a projeção de geração dos RSU e resíduos sólidos orgânicos, pois aumenta significativamente, havendo necessidade de planejamento a longo prazo da gestão e gerenciamento dos RSU, estabelecendo as diretrizes e metas para tratamento dos resíduos. Na

Figura 20, são apresentados os dados da estimativa de geração de RSU nos principais municípios do estado da PB, uma análise comparativa da geração de RSU entre (2017-2032) anos

**Figura 20:** Dados estimados da geração de RSU em relação as principais cidades do estado da Paraíba



A partir dos resultados desta pesquisa, a geração de resíduos sólidos urbanos na Paraíba será crescente nos próximos anos, e conseqüentemente a produção de metano também aumentará, na mesma proporção a demanda energética nacional cresce de forma bastante acelerada, tão assustador quanto a geração de RSU .

O potencial de produção de metano identificado, a partir do modelo proposto por IPCC, (2000) refere-se ao valor aproximado, deve ser utilizado como parâmetro referencial, levando em consideração fatores externos como época do ano, hábitos de consumo da população, por isso, é necessário avaliar as características físicas e antrópicas do local a ser estudado.

As equações do modelo matemático teórico da estimativa da produção de metano, são utilizadas também para cálculo de produção de (GEE), tal metodologia apresentada por IPCC(2000), resulta em dados mais conservadores, visto que

geram projetos que tem o intuito da certificação de créditos de carbono que são comercializados no mercado internacional, e para isto preconiza-se uma forma de não superestimar os valores de produção de GEE (FIGUEIREDO,2012).

De acordo com Castro et al. (2013), em estudo realizado, pertinente a análise comparativa entre o modelo teórico proposto por IPCC (2000), e modelo prático (desde dados obtidos em campo), para estimativa de produção de gás metano, constataram que a produção estimada através do modelo matemático, foi menor que a produção de gás metano obtido em análise experimental, no mesmo período analisado, tal estudo foi justificado em virtude da elevada biodegradabilidade dos resíduos utilizados.

Segundo Vanelk ,(2018) o modelo de estimativa teórica de produção de metano proposto por IPCC (2000) apresenta limitações, posto que, não é considerado para o cálculo da estimativa de metano a composição dos resíduos sólidos urbanos da localidade estudada, e as mudanças de padrão de consumo da comunidade.

É imprescindível para escolha da tecnologia utilizada, para tratamento de RSU (fração orgânica), a localização do empreendimento, método de operação do processo, composição gravimétrica, condições climáticas, como também mercado econômico para os subprodutos do tratamento de RSU.

O principal fator para que o sistema de tratamento de RSU ocorra com eficiência, é o gerenciamento de RSU consolidado, é indispensável a separação de RSU a partir da fonte geradora, até a triagem dos resíduos. Neste sentido, a colaboração da sociedade e da gestão pública na geração, e segregação dos resíduos é fundamental.

A estimativa de geração de RSU pode ser utilizado como instrumento, para o norteamento de políticas e estratégias de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e, reduzir custos econômicos no que concerne aos investimentos de gestão, salienta-se que o aperfeiçoamento das estatísticas e dos dados referentes à estimativa de geração de resíduos deve ser contínuo (MELO,2009).

De acordo com FEAN (2012), Para tornar o processo de tratamento de RSO viável, faz-se necessário o aporte diário de, no mínimo, 100 Ton./dia, quanto maior a escala do processo, maior viabilidade apresenta.

Neste ponto de vista, para implantação de sistema de aproveitamento de metano a partir de RSU, em regiões populosas, como os municípios de João pessoa



e Campina Grande, apresentam viabilidade técnica-econômica, pois a centralização de grande quantidade de RSO no mesmo local, favorece ao aproveitamento energético.

Finalmente, esta pesquisa tem o intuito de dar subsídios para próximas ações relacionadas a importância da fração de resíduos orgânicos, dos RSU, para tratamento anaeróbio, levando em consideração as características locais.

#### 4.2 RESÍDUOS ADVINDOS DA AGROPECUÁRIA PARAIBANA

A estimativa da geração de resíduos derivados de algumas atividades agropecuárias do estado da Paraíba identificada, foi aproximadamente 6.101.864,27 Ton./ano , derivado de resíduos advindos de animais bovinos, suínos e aves. Para quantificação da produção de biogás desta pesquisa, foi considerado que todos os resíduos sejam coletados e direcionados ao tratamento adequado, através do uso de biodigestores, como tecnologia de tratamento.

Os resíduos da pecuária bovina apresentam maior potencial de produção de biogás e potencial energético, devido a grande quantidade de resíduos produzidos por animal diariamente, pois a geração de resíduos é bastante expressiva em animais de grande porte.

Porém, a maior parte do rebanho bovino, corresponde à criação extensiva, posto isso, estas estimativas devem ser analisadas de formas distintas, haja vista particularidades de cada criação. Neste contexto, quando a criação de animais ocorre em confinamento, a viabilidade técnica-econômica é mais expressiva.

No Quadro 13, estão apresentadas as estimativas de produção de biogás anual, derivada de resíduos de atividades agropecuárias, como também o potencial de eletricidade a partir da produção de biogás.

**Quadro 13:** Estimativa do potencial energético advindo dos resíduos agropecuários

Tipo de animal	Efetivo número de animais Fonte: (IBGE,2016)	Quantidade anual de resíduos por cabeça (kg/ano)	Produção total de resíduos (kg/ano)	Potencial da produção de biogás (m³/ano)	Potencial energético (MWh/ano)
Aves	9.643.617	54,75	527.988.030,75	26.399.401,54	37.751,14
Suínos	179.258	857,75	153.758.549,50	12.146.925,41	17.370,10
Bovinos	1.187.971	4.562,5	5.420.117.687,50	205.964.472,13	294.529,20

Fonte: autoria própria

O estado da Paraíba apresenta grande produção avícola, aproximadamente nove milhões de aves (IBGE,2016), a estimativa do potencial energético foi cerca de 37.751,14 (MWh/ano).

Os modelos matemáticos para estimativa de produção de biogás são calculados a partir da quantidade de resíduos, também podem ser utilizados para projeção das emissões de GEE, e dimensionamento para implantação do sistema de coleta de biogás (MACHADO et al., 2009). Neste contexto, foi utilizado nesta pesquisa a metodologia proposta por Kunz (2006), para estimar a produção de biogás.

A atividade agropecuária proveniente de vacas ordenhadas, criação bovina intensiva, criação de aves e de suínos possui o potencial de produção de biogás de aproximadamente 244.510.799,07 Nm<sup>3</sup>/ano.

O potencial de eletricidade da atividade pecuária, calculado a partir do proposto por Sganzerla,(1983) citado por Kunz,(2006) é 349.650,44 MWh/ano, através desses resultados, é possível observar que o estado da Paraíba possui potencialidade disponível para implantação de usinas de biodigestores, com a finalidade para produção de biogás e posteriormente, energia elétrica.

Grande parte do beneficiamento e fabricação de produtos na atividade agropecuária depende intrinsecamente da energia elétrica para produção, sendo de fundamental importância para tal atividade. Nesta perspectiva, a geração de eletricidade nas propriedades rurais agrega valor financeiro e propicia insumos energéticos renováveis para a produção agropecuária.

Zago (2013) avaliou o potencial de produção de eletricidade a partir do biogás, para uma criação de animais suínos, na zona rural da cidade de Santa Catarina e observou que a produção biogás foi cerca de 50 (Nm<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>),e possuiu a capacidade para geração de 2.160(kWh.mes<sup>-1</sup>) . Constatou também, que a propriedades rural pode converter-se em auto suficiente quanto a geração de energia elétrica, com o uso de um sistema com capacidade de 20 KW de potência elétrica, tal pesquisa destacou que o empreendimento é viável economicamente.

Coldebella et al. (2006) analisou a produção de energia elétrica via biogás da bovinocultura em estudo experimental, constatou que o custo de produção de energia elétrica está diretamente associado ao tempo de amortização do investimento e de operação do sistema.

Vale salientar, que as características quanto a tecnologia disponível e viabilidade econômica do aproveitamento do biogás, para produção de energia elétrica no setor agropecuário, deve ser avaliado cada situação de forma diferenciada.

Ressalta-se que a utilização de biogás para produção de eletricidade na zona rural é pouco difundida, em virtude da falta de informações sobre tecnologias disponíveis e a falta de conhecimento sobre tal assunto.

Portanto, a utilização de biodigestores é viável, porque além de realizar o tratamento de resíduos agropecuários, evitando problemas de contaminação, traz vantagens econômicas ao utilizar corretamente o biogás e os biofertilizantes, que são os subprodutos do processo.

#### 4.3 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAL

A estimativa de produção anual de resíduos bovinos foi 705.140,80 m<sup>3</sup>. Nesta perspectiva, na Tabela 16, são apresentados os valores da produção de resíduos bovinos derivados do processamento industrial na Paraíba, sendo aproximadamente m<sup>3</sup>/ano de resíduo derivado de abate bovino, o potencial de biogás por ano no valor aproximado de  $6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, considerando que todos os resíduos bovinos fossem coletados e direcionados ao tratamento adequado, através do uso de Biodigestores, como tecnologia de tratamento.

**Tabela 16:** Estimativa potencial energético de efluentes bovinos

<b>Setor industrial</b>	<b>Produção anual de resíduos em (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Potencial de Biogás em (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Potencial energético (MWh/ano)</b>
Bovinos	705.140,80	6.050.108,06	8.651,65

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Segundo Motta (2014), existe um grande potencial da produção de biogás, com a aplicação de biodigestores para tratamento de resíduos bovinos, além de possibilidades de sua utilização para geração de energia elétrica e aquecimento do biodigestor.

O potencial energético é aproximadamente 8.651,65 MWh por ano, através desses resultados é possível observar que o estado da Paraíba possui potencialidade energética disponível.

Para converter fez-se necessário o uso da relação, 1 Tonelada de carne bovina processada produz 13 m<sup>3</sup> de efluente, modelo proposto por Rosemwinkel; Austermanmn (2005), possibilitou estimar a quantidade de efluente produzido em todo processamento de carne anual.

Edström et al. (2003), constataram que o potencial energético do efluente de abatedouro bovino estimado, foi cerca de 1300 MJ por cada animal abatido, este valor refere-se ao gás metano contido no biogás.

Afazeli et al. (2014) avaliaram o potencial de produção de biogás a partir de abatedouro bovino no Irã, e percebeu que o país possui grande possibilidade de produção de energia a partir de abate de bovinos (considerando bovinos, búfalos e camelos), superando os 21 milhões de m<sup>3</sup> de biogás por ano.

Neste contexto, a produção de biogás a partir de efluente bovino mostra-se eficiente, porém, segundo Afazeli et al. (2014), em algumas situações é necessário pré-tratamentos principalmente visando a quebra de moléculas complexas como óleos e graxas.

Vale ressaltar, que no estado da Paraíba os dados fornecidos por IBGE; MAPA, (2017) são provenientes de abatedouros que possuem inspeção Federal, Estadual e municipal, ou seja, os locais de abates de bovinos clandestino, não estão incluídos como base de cálculo. Segundo a secretaria de Agricultura e Abastecimento da Paraíba (2018) , apenas 08 estabelecimentos estão legalizados no estado. Neste contexto, foi observado nesta pesquisa que inúmeros municípios possuem abatedouros clandestinos, desfavorecendo a identificação dos potenciais reais, ou seja, em sua totalidade.

Deste modo, foi observado nesta pesquisa que inúmeros municípios possuem abatedouros clandestinos, desfavorecendo a identificação dos potenciais reais, ou seja, em sua totalidade.

Salienta-se, que as estimativas de potenciais teóricos de geração de energia apresentam vantagens em comparação com os métodos práticos (métodos de campo), como o baixo custo e resultados rapidamente observáveis (ABRELPE, 2016).

Alguns modelos matemáticos, podem estimar ao longo do tempo a taxa de geração de biogás (BOGNER et al., 1997). Nesta perspectiva, tal estudo é imprescindível para avaliar o comportamento do biogás no processo de degradação do resíduo orgânico, identificando a variação temporal da geração de biogás.

O tratamento de resíduos bovinos nos abatedouros deve apresentar a destinação correta para não haver a degradação dos recursos naturais e cumprir as normas e leis vigentes no País.

A geração de energia através do uso do biogás, produz energia térmica ou elétrica, além de ser uma fonte renovável, apresenta viabilidade econômica, pois utiliza-se esta energia para autoconsumo, reduzindo assim custos financeiros.

No que concerne a produção de efluente industrial advindo da vinhaça, inicialmente, foram identificadas informações sobre a atividade industrial utilizando cana de açúcar como matéria prima, nesta perspectiva, foi possível identificar que o estado da Paraíba, possui uma produção de etanol significativa, conforme o Quadro 14, estão apresentados os valores de cada safra nos últimos cinco anos.

**Quadro 14:** Produção de etanol no estado da Paraíba

Safra	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
Etanol (1000 m <sup>3</sup> )	357	324	421	348	284

**Fonte:** Única; MAPA 2018

Como base de cálculo, utilizou –se o valor anual de etanol, referente a safra de 2015/2016, levando em consideração que o Brasil esteve em recessão econômica na safra posterior.

Considerando, que 1 litro de etanol produz 12 litros de vinhaça, a partir dos dados de (ANA,2009), e que 1 m<sup>3</sup> de vinhaça produz 9,5 m<sup>3</sup> de biogás (ANA,2009). O Quadro 15, apresenta o potencial de biogás que pode ser gerado a partir de vinhaça e o potencial energético, se todo o efluente fosse enviado para tratamento anaeróbio.

**Quadro 15:** Estimativa do potencial energético de Vinhaça

Potencial de Produção de Vinhaça em (m <sup>3</sup> /ano)	Fator de conversão de vinhaça em Biogás (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> )	Potencial de produção de biogás em (m <sup>3</sup> )	Fator de conversão de biogás em energia elétrica (kWh/ m <sup>3</sup> )	Potencial energético em 2016(MWh)
348.000,00	9,5	39.672.000	1,43	56.730,96

A partir dos dados da safra 2015/2016 inerente a produção de etanol, a Paraíba poderia produzir anualmente cerca de 39.672.000 m<sup>3</sup> de biogás, capacidade de geração em média 56.730,96 MWh de energia elétrica por ano, capaz de suprir a necessidade de insumos energéticos das próprias indústrias sucroalcooleiras. A metodologia proposta por (ANA,2009), também pode ser aplicada para a análise potencial em relação a outras regiões.

A geração de energia elétrica a partir de efluentes industriais como a vinhaça, poderá ser implantada em menor escala, em lugares pontuais, ou seja, na fonte geradora, visto que, o resíduo após tratado pode ser utilizado na própria plantação canavieira.

Vale ressaltar, que segundo Salomon (2007), para a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de vinhaça, a temperatura do processo de digestão é um fator limitante na composição do biogás, e temperaturas acima de 50°C reduzem o teor de metano, assim como a variação diária de produção de biogás.

O Tratamento de efluentes industriais, como a vinhaça, a partir de tecnologia anaeróbia, traz benefícios, como a redução de odores desagradáveis, diminuição de alta carga orgânica do resíduo, e aproveitamento do efluente após o tratamento anaeróbio, pois, as propriedades nutritivas do efluente tratado, converte-se em adubo de qualidade para a plantação de cana de açúcar.

Como desafios encontrados para o aproveitamento energético do biogás, está o custo financeiro, a falta de incentivo para investimentos financeiros e tecnológicos, e a necessidade de normas técnicas e formativas consolidada.

#### 4.4 CONTRIBUIÇÃO DO BIOGÁS NA MATRIZ ENERGÉTICA DO ESTADO DA PARAÍBA

Na Tabela 17, estão apresentados os dados quanto a geração de biogás e potencial de energia elétrica das fontes de biomassa da pesquisa

**Tabela 17:** Potencial energético de diversas fontes de biomassa no estado da paraíba

<b>Fontes de Biomassa</b>	<b>Geração de biogás(m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Potencial energético (MWh/ano)</b>
RSO	41.980.785,00	60.032,52
Esterco bovino	205.964.472,13	294.529,20
Esterco Suíno	12.146.925,41	17.370,10
Esterco avícola	26.339.901,53	37.751,14

Vinhaça	39.672.000,00	56.730,96
Abate bovino	6.050.108,06	8.651,65
<b>Total</b>	<b>332.213.692</b>	<b>475.065,58</b>

As fontes de biomassa que apresentaram maior produção de biogás foram RSO 41.980.785 Nm<sup>3</sup>/ano , esterco bovino 205.964.472,13 Nm<sup>3</sup>/ano , tais resíduos representaram 75 % do potencial de produção de biogás de todo estudo desenvolvido.

Considerando os parâmetros analisados na metodologia proposta para produção de biogás, de todos os resíduos estudados nesta pesquisa, a vinhaça apresenta grande potencial de produção de biogás, visto que a cada 1 m<sup>3</sup> de tal efluente, seria capaz de produzir 9,5 m<sup>3</sup> de biogás conforme (ANA,2009) bem como, o efluente de abate bovino a cada 1m<sup>3</sup> de efluente poderia produzir 8,58 m<sup>3</sup> de biogás (Rosemwinkel; Austermanmn,2005)

A estimativa de maior potencial energético dos resíduos pesquisados foi esterco bovino, aproximadamente 294.529,20 MWh/ano, justificado por sua grande produção de resíduos, cerca de 12,5 kg/dia (Oliveira ,1993), entretanto quando os animais estão em regime extensivo de criação, há perda da maioria do esterco produzido, para que o valor do potencial realmente seja expressivo, todos os animais contabilizados na pesquisa devem estar confinados para coleta e tratamento do resíduo.

Segundo Ministério de minas e energia (2016) o estado da Paraíba apresenta o consumo per capita de energia elétrica no valor de 536 KWh (hab.ano)<sup>-1</sup> , neste sentido, a estimativa de energia elétrica a partir do biogás seria capaz de suprir o consumo de 886.316,38 habitantes no estado ou 221.579,095 residências ,considerando cada moradia com 4 habitantes.

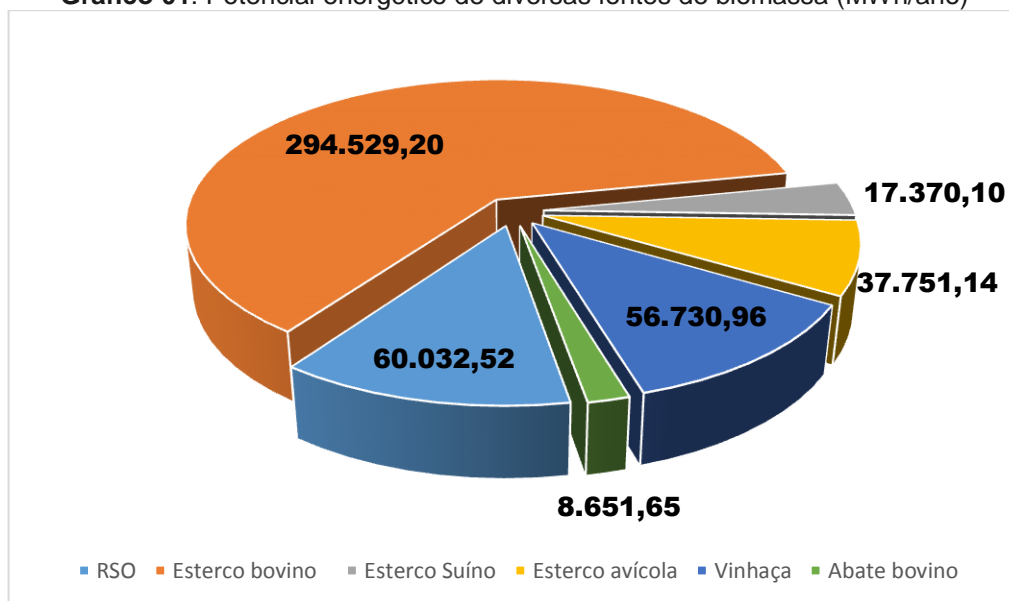
Na utilização de modelos matemáticos para a estimativa de produção de biogás, os parâmetros adotados e as considerações a serem feitas devem ser avaliadas com cautela, devido às diferentes condições climáticas e operacionais de cada caso, tendo em vista que esse tipo de estimativa é um importante pressuposto

para avaliação de viabilidade e dimensionamento de sistemas de recuperação de energia a partir de resíduos (BIANEK,2017).

De acordo com Santos (2018) para facilitar o desenvolvimento de sistemas para aproveitamento energético do biogás a partir de resíduos orgânicos ,é a construção da usina de biogás dentro das resoluções normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nas Resoluções Normativas nº 482 ( ANEEL, 2012 ) e 687 ( ANEEL, 2015 ) para geração distribuída de energia.

No Gráfico 01, são apresentados os dados da distribuição do potencial energético, para mostrar a participação que cada atividade poderia contribuir na matriz energética a partir do biogás.

**Gráfico 01:** Potencial energético de diversas fontes de biomassa (MWh/ano)



As fontes de biomassa estudadas, totalizaram 475.065,58 MWh de potencial de aproveitamento energético, salvo que, haja aproveitamento de todos os resíduos disponíveis, visto que são resultados de potenciais extremos.

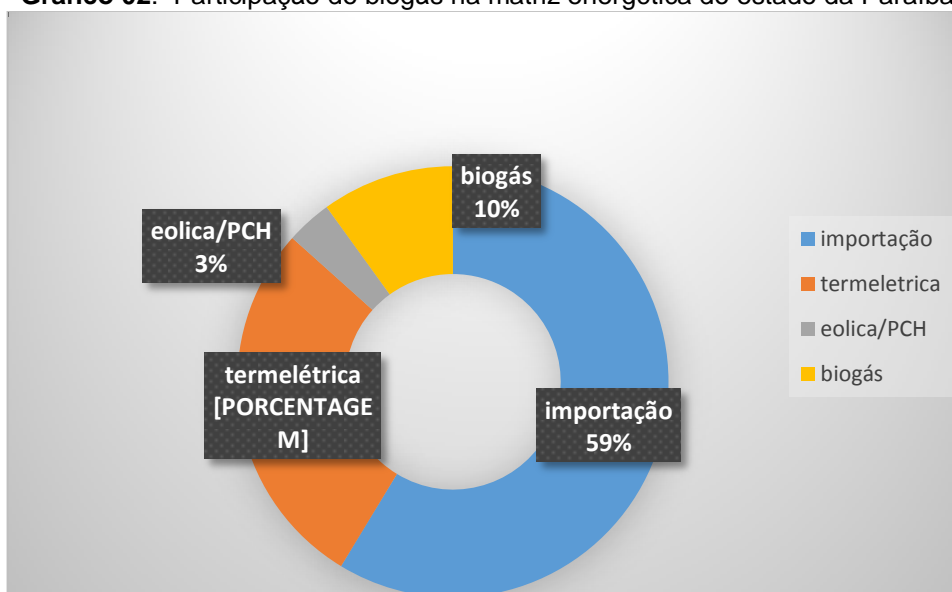
Na Tabela 19, são apresentados os dados da estimativa teórica do potencial de geração de energia elétrica, por setores, ou seja, resíduos agropecuária 74 %, RSU com 13 %, e resíduos agroindustriais 62 %. O aproveitamento de resíduos do setor agroindustrial apresenta o potencial energético chegando ao valor aproximando de 65.382,61 MWh/ano, apenas com a utilização da vinhaça, resíduo orgânico advindo do etanol, e resíduos de abate bovino.



**Tabela 19:** Aproveitamento energético do biogás a partir do tipo de atividade

<b>tipo de atividade</b>	<b>(MWh)</b>	<b>%</b>
Agropecuária	349.650,44	74%
Agroindustrial	65.382,61	62%
RSU	60.032,52	13%

No Gráfico 02, apresenta a participação do biogás, na matriz energética estadual, a qual poderia chegar a aproximadamente 10% do valor total consumido, 475 GWh/ano, isto significa que o estado da Paraíba poderia reduzir a dependência do consumo de importação de eletricidade, o suficiente para abastecer a demanda energética do consumo de toda zona rural da Paraíba (278 GWh/ano) ou metade do consumo comercial de todo o estado (455 GWh/ano).

**Gráfico 02:** Participação do biogás na matriz energética do estado da Paraíba

Conforme o Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação MCT(2016), aproximadamente 26,7 % da emissão de GEE estão presentes no nordeste brasileiro, e 7,5% deste valor percentual pertence a emissão do estado da Paraíba . Se a gestão dos resíduos orgânicos desta pesquisa fosse considerada, a exploração de resíduos orgânicos para produção de biogás tornaria importante na busca pela redução da emissão dos GEE.

Quanto a capacidade instalada de energia elétrica, o percentual renovável do estado da Paraíba é 3% (ANEEL, 2017 ). Nesta perspectiva, a capacidade potencial disponível de biogás seria (10%) segundo a pesquisa desenvolvida, a partir de 6 tipos de resíduos orgânicos estudados, e poderia exceder a fonte de energia eólica,

haja vista é a fonte de geração com maior taxa de crescimento no país (EPE, 2016 ). Tendo em consideração esta análise comparativa do potencial de biogás com outra fonte de energia renovável, mostra a relevante importância de pesquisas para avaliar o potencial energético do biogás no estado da Paraíba, como também em outras regiões.

Contudo, o estado da Paraíba também apresenta geração de outros resíduos orgânicos (além dos apresentados neste estudo), que também poderão ser utilizados para geração de eletricidade, a partir do potencial energético do biogás.

Para a inserção na matriz energética, a geração de eletricidade a partir do biogás, é imprescindível o incentivo dos gestores públicos, pesquisas científicas relacionada ao desenvolvimento de novas tecnologias, para aumentar a eficiência do processo de conversão energética, como também a necessidade de fabricação de equipamentos nacionais, na tentativa de reduzir os custos de implantação por importação de tais produtos.

Existem algumas limitações nas estimativas deste estudo, tendo em vista que foram calculadas desde dados e parâmetros da literatura, apresenta variáveis externas como biodigestão anaeróbia, composição do resíduo, dentre outros. Porém, estimar o potencial de uma fonte de energia renovável, avaliar os benefícios e as barreiras para implementação, contribui para o desenvolvimento de políticas públicas e planejamento energético do estado.

Com relação aos benefícios da energia produzida a partir de fontes de biomassa, além de favorecer ao desenvolvimento social, econômico, traz benefícios como, geração de emprego e renda, e é uma fonte de energia renovável.

Conforme Santos et al. (2018), entre os principais obstáculos para o aumento do potencial energético derivado do biogás no Brasil é a dificuldade de alcançar a viabilidade econômica, posto que o custo de geração de energia a partir do biogás, de maneira geral é superior à tarifa de venda de energia atualmente no mercado brasileiro.

Salienta-se, a necessidade de analisar a viabilidade técnico-econômica, para implantação e manutenção do aproveitamento energético das fontes de biomassa, segundo Cervi (2011), a viabilidade econômica da produção energética a partir do biogás depende diretamente do dimensionamento técnico e da demanda de energia elétrica.

## 5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As restrições ambientais quanto a disposição inadequada dos resíduos orgânicos e às emissões de gases do efeito estufa, como também a necessidade de desenvolver fontes renováveis de energia, têm contribuído para o aumento de pesquisas científicas no que diz respeito ao aproveitamento energético do biogás.

O potencial de produção de biogás no estado da Paraíba é promissor, haja vista a grande geração de resíduos orgânicos. Nesta pesquisa foi estimado o potencial de geração de produção de biogás e potencial de geração de eletricidade a partir de diversos resíduos orgânicos presentes no estado da Paraíba, o qual seria capaz de produzir aproximadamente  $3,32 \times 10^8 \text{ Nm}^3$  biogás/ano, com relação a estimativa da geração de energia elétrica, corresponderia a uma potência instalada disponível de 475 GW/ano (cerca de 10% de toda a capacidade instalada disponível no estado).

A energia elétrica disponível seria suficiente para aproximadamente 886.316,38 mil habitantes por ano. Aproximadamente 62% da estimativa total de energia elétrica estudada foi proveniente do esterco bovino (resíduos de atividade agropecuária).

Para geração de energia elétrica no estado da Paraíba, o aproveitamento do biogás, tendo em vista que o potencial energético, refere-se ao poder calorífico presente no gás metano, resulta em minimização de consumo de combustíveis fósseis e redução de emissões de GEE, como por exemplo o  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

A inserção do biogás na matriz energética estadual, além de contribuir o gerenciamento de resíduos orgânicos produzidos no estado, o qual está atualmente bastante precário, denota o biogás como produto de valor econômico. Os resultados apresentados neste estudo, mostra a importância da avaliação do potencial de aproveitamento do biogás.

O estado da Paraíba não poderia suprir a total capacidade do consumo de energia elétrica a partir do biogás, mas apresenta potencial para contribuir na matriz energética estadual, simultaneamente, com as demais fontes de energia elétrica abastecendo a demanda energética das indústrias, centros urbanos, agropecuária, aliviando o sistema elétrico do estado da Paraíba.

Entretanto, no que refere-se ao mapeamento das áreas propícias a produção de biogás, conclui-se que a ferramenta SIG, utilizada na pesquisa foi imprescindível para espacialização dos dados, de forma dinâmica e eficiente, sendo de grande valia

para gestores e técnicos ambientais. Ressalta-se, a relevância da atividade em campo, não apenas para a coleta de dados, mas para evitar equívocos e desvio dos dados reais.

Como desafios para o aproveitamento energético do biogás, está o maior custo financeiro, a falta de incentivo para investimentos financeiros e tecnológicos, e a necessidade de normas técnicas e formativas consolidadas.

Diversas barreiras dificultam a efetiva inserção do biogás na matriz energética brasileira, como a falta de interesse e conhecimento dos gestores públicos para utilização de tal tecnologia renovável. O conhecimento científico sobre tal assunto deve ser abordado não apenas nos centros de pesquisa e universidades, como também empresas de cunho energético, gestores públicos, dentre outros. Inclusive, a necessidade de políticas públicas para agilizar a implementação do biogás no mercado energético, como também desenvolvimento da tecnologia nacional com a finalidade de diminuir os custos econômicos de geração de energia. Esta pesquisa pretende contribuir a implantação de políticas públicas e planejamento da demanda de geração e consumo de energia.

## REFERÊNCIAS

ABILOGÁS, **Associação Brasileira de Biogás e Biometano**.2017 Disponível em: <https://www.abiogas.org.br/biogas-e-biometano>. Acesso em :11 mar 2018

ABRELPE ,**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS**. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2016. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>. Acesso em: 09 fev. 2018.

ABRELPE, **Atlas Brasileiro de emissões de Gee e Potencial energético na Destinação De Resíduos sólidos**, 2016. Disponível em: [www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas\\_portugues\\_2014.pdf](http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2014.pdf) Acesso em :10 fev.2018

AINIA centro tecnológico. Co-digestión anaeróbia. Valencia, Espana; 2008 p. 12.

ANA,AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Brasília: Agência Nacional de Águas (ANA); Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP); União da Indústria da Cana-de-açúcar (ÚNICA); Centro de Tecnologia Canavieira (CTC),2009. p. 239.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica Brasileiro**. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/atlasenergetico>> , v. 10, p. 19, 2017.Acesso em: 14 jun.2018

ANEEL, 2012. **The Brazilian National Electric Energy Agency [ANEEL]**. Normative Resolution N° 482, 2012. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf> . Acesso 23 Dez 2018

ANEEL, 2015 **The Brazilian National Electric Energy Agency [ANEEL]**. Normative Resolution N° 689, 2015. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015689.pdf>. Acesso 12 Dez 2018

AFAZELI, H.; JAFARI, A.; RAFIEE, S.; NOSRATI, M. **An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 34, p. 380-386, 2014.

ARAÚJO, E. P. **Estudo do Comportamento de Bactérias Aeróbias e Anaeróbias Totais na Biodegradabilidade de Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande-PB**. 2011. 116 p. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004 – Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

AUSTERMANN, S.; ARCHER, E.; WHITING, K. J. **Comercial Assessment – Anaerobic Digestion Technology for Biomass Projects, Juniper for Renewables East. Juniper for Renewable East**, 2007. Disponível em: <[http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF\\_LIB\\_RES/PUBLICATIONS/RENEWABLES%20EAST%20%20ANAEROBIC%20DIGESTION%20\(FULL%20REPORT\).PDF](http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF_LIB_RES/PUBLICATIONS/RENEWABLES%20EAST%20%20ANAEROBIC%20DIGESTION%20(FULL%20REPORT).PDF)>.

BAERE, L. Dranco Process: A Dry Continuous System for Solid Organic Waste and Energy Crops. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DRY FERMENTATION, 2008, Berlim, Alemanha. Apresentação: 2008. Disponível em: <[http://www.ows.be/pub/Dranco-Process\\_IBBKfeb08.pdf](http://www.ows.be/pub/Dranco-Process_IBBKfeb08.pdf)>. Acesso em: 23 mar.2018.

BAERE, L.; MATTHEEUWS, B. **State-of-the-art 2008 - Anaerobic Digestion of Solid Waste**. Waste Management World. v.9, N. 4, Julho 2008. p. 8. Disponível em: <[http://www.waste-management-world.com/index/display/article\\_display/339836/articles/waste-management-world/volume-9/issue\\_4/features/state-of-the-art-2008-anaerobic-digestion-of-solid-waste.html](http://www.waste-management-world.com/index/display/article_display/339836/articles/waste-management-world/volume-9/issue_4/features/state-of-the-art-2008-anaerobic-digestion-of-solid-waste.html)>.

BIANEK, Julia et al. COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS USEPA E IPCC PARA ESTIMATIVA TEÓRICA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO MUNICIPAL. BIOFIX Scientific Journal, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2017.

BOGNER, J.; HICKMAN, H. L.; HUITRIC, R.; LIPPY, S. G.; PACEY, J.; ROQUETA, A.; WILES, C. Final report: comparison of models for predicting landfill methane recovery. In: DRIVE, R. B.; AUGENSTEIN, D. The solid waste association of North America, 1997, p. 1-5.

BEN ,**Balanco Energético Nacional 2011**: Ano base 2010/ Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011. <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_final_BEN_2011.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

BERNAL, Andressa Picionieri et al. **Vinasse biogas for energy generation in Brazil**: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. Journal of cleaner production, v. 151, p. 260-271, 2017.

BLEY , Júnior C. **Biogás: a energia invisível**. 2ª edição revisada e ampliada. São Paulo: CIBiogás, 2015.

BLEY, Cícero. **Biogás: a energia invisível**. CIBiogás-ER, 2015.

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

BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Neue Wege zur Prozessoptimierung in Biogasanlage.Berlin, 2013. ISSN 2192-1806

BORGES, Ane Caroline Pereira et al. **Energias Renováveis**: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. Renewable energy: a contextualization of the biomass as power supply. REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, v. 10, n. 2, 2017.

BORSCHIVER, S.; DA SILVA, A. L. R. **MAPEAMENTO TECNOLÓGICO PARA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS E SEU APROVEITAMENTO: PANORAMA MUNDIAL**

**E INICIATIVAS NACIONAIS.** In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, Santa Catarina. 2014.

BRASIL, **Plano Nacional de Energia 2030.** Publicado em: 2017. Disponível:<[www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/08.+Biomassa+%28PDF%29/0a02b482-db1a-4dbe-9388-baadbc168ae7?version=1.1](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/08.+Biomassa+%28PDF%29/0a02b482-db1a-4dbe-9388-baadbc168ae7?version=1.1)>. acesso em: 12 Mai. 2017

BRASIL , ministério agricultura pecuária e abastecimento. **Dados estatísticos bovinos.** 2016. Disponível em [www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/estatisticas](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/estatisticas) Acesso: 14 ago 2017

BRASIL, ministério das cidades. **barreiras e soluções propostas para o mercado do biogás no Brasil.** PROBIOGAS, Brasília (2016) [http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/giz\\_barreiras\\_digital\\_simples.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/giz_barreiras_digital_simples.pdf) Acesso: 11de Dez 2018

CAPROS, Pantelis et al. **Analysis of the EU policy package on climate change and renewables.** Energy policy, v. 39, n. 3, p. 1476-1485, 2011.

CAPROS, Pantelis et al. Model-based analysis of the 2008 EU policy package on climate change and renewables. Report to DG ENV, 2008.

CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/metodologiabiomassa.pdf>>. Acesso em: 29 mar. de 2018

CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS (CTGAS). Dados de Unidades de Conversão. Disponível em [www.ctgas.com.br](http://www.ctgas.com.br). Acesso em 28 de maio de 2018.

CERVI, Ricardo G.; ESPERANCINI, Maura ST; BUENO, Osmar de C. Viabilidad económica de la utilización de biogás para la conversión en energía eléctrica. Información tecnológica, v. 22, n. 4, p. 3-14, 2011.



CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Gasi, T. M. T. Caracterização, reaproveitamento e tratamento de resíduos de frigoríficos, abatedouros e graxarias. São Paulo: CETESB, fev. 1993.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: DESA-UFMG. P. 245, 1997.

CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. 2a.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

CIBIOGAS, Estudo de viabilidade do Projeto Biogás. San José/UY. CIBiogas: 2017

COLATTO, Luciulla; LANGER, Marcelo. Biodigestor–resíduo sólido pecuário para produção de energia. Unoesc & Ciência-ACET, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2012.

COLDEBELLA, Anderson et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.

CREUTZIG, F.; VON S TECHOW, C.; KLEIN, D.; HUNSB ERGER, C.; BA UER, N.; POPP , A . y EDENHOFER, O. (2012): «Can B ioenergy A sssessments Deliver», *Economics of Energy & Environmental Policy*, vol. 1, issue 2, pp. 65-82.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.**

Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6e.htm>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

EBA, European Biogas Association. CONFERENCE OF THE EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION.2017.Disponível em: [european-biogas.eu/](http://european-biogas.eu/).Acesso em:13 jun 2017

EDSTRÖM, M.; NORDBERG, A.; THYSELIUS, L. Anaerobic treatment of animal By products from slaughterhouses at laboratory and pilot scale. Applied Biochemistry

and Biotechnology, v. 109, p. 127-138, 2003.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA . Anuário estatístico de energia elétrica 2015. Publicado em: 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

FIGUEIREDO, Juliana Carvalho. Estimativa de produção de biogás e potencial energético dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais. 2012.

FLYHAMMAR, P. P. One decade of dramatic changes of the Swedish management of household waste. In. XIII International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia Symposium. Proceedings. S. Margherita di Pula: IWMLS. 3-4. 2011.

FNR. Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Leipzig, 2010.

FREIRE, W. J., CORTEZ, L.A.B, (2000), Vinhaça de cana-de-açúcar, Editora, Agropecuária, Campinas, 203p.

FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane. Global Trends in Waste Management. Alemanha: Technische Universität Braunschweig/ Center for Research, Education and Demonstration in Waste Management, 2013.

FEAN, FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de Orientações para Governos Municipais de Minas Gerais. Publicado em: 2012. Disponível em: <[http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost\\_files/aproveitamento\\_20energ\\_c3\\_a9tico.pdf](http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/aproveitamento_20energ_c3_a9tico.pdf)>. Acesso em: fev. 2018.

GODOY, Manuel R. Berríos. Potencial energético contenido en los residuos sólidos urbanos: realidad brasileña. Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais, v. 6, n. 3, p. 479-491, 2015.

HOLM-NIELSEN, Jens Bo; AL SEADI, Teodorita; OLESKOWICZ-POPIEL, Piotr. O futuro da digestão anaeróbica e utilização de biogás. *Tecnologia Bioresource* , v. 100, n. 22, p. 5478-5484, 2009.

IDAE, Biomasa; BIOMASO, S. A. Digestores anaerobios. Madrid: IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2007

IDEME, Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba, Disponível em: <[ideme.pb.gov.br/servicos/mapas-tematicos](http://ideme.pb.gov.br/servicos/mapas-tematicos) >. Acesso em: 21 fev. 2018

IEA BIOENERGY, 2009, Bioenergy-A sustainable and reliable energy source. IEA Bioenergy. Disponível em: <[www.ieabioenergy.com](http://www.ieabioenergy.com)> Acesso em : 11 Abr. 2017

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2016. Publicado em: 2017. Disponível em <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2016.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2016.pdf)>. Acesso em: mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories reference Manual. Revised 1996. v. 3.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable Power Generation Costs in 2014: An Overview. Emirados Árabes, 2015. Disponível em: <<http://www.irena.org/DocumentDownloads/>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

IRENA, international renewable energy agency. renewable Power Generation Costs in 2016: An Overview. Emirados Árabes, 2017.

Disponível em: <[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Power\\_Costs\\_2014\\_report.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

ITAIPU, plataforma de energias renováveis itaipu, 2008. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/mapa-do-site>. acesso em :12 mar.2018.

JEPPE, B. et al. Biomassa 2020: oportunidades, desafios e soluções. Eurelectric, Bruxelas, p. 1-71, 2011.

JHA, Bhaskar et al. Biogas: A Sustainable and Potential Fuel for Transport Application. Journal of Biofuels and Bioenergy (June 2015), v. 1, n. 1, p. 28-33, 2015.

KLAUS, Otávia Lidia. Potencial de aproveitamento de resíduos sólidos urbanos da mesorregião oeste do Paraná para geração de energia elétrica. 2014. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UniOeste), Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura Cascavel, PR. 110p.

KUNZ, A. Curso de Atualização em Energias do Biogás – EaD. MÓDULO II - Linhas de Base para a Produção e Conversão de Energia do Biogás, 2010. Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

KUNZ, A; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. Revista de Política Agrícola. Ano XV – No 3 – Jul./Ago./Set. 2006. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/.../458>>. Acesso em: 23 jun. de 2017.

Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2 ago.2010.

LEITE, Valderi D. et al. Tratamento anaeróbico de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 2, p. 190-196, 2009.

LEITE, Valderi D. et al. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 318-322, 2003.

LI, Yebo; PARK, Stephen Y.; ZHU, Jiying. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 15, n. 1, p. 821-826, 2011.

MACHADO, S. L.; CARVALHO, M. F.; GOURC, J-P.; VILAR O. M.; NASCIMENTO, J. C. F. Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results. *Waste Management*, v. 29, p. 153-161, 2009.

MELO, Lucas Araújo; SAUTTER, Klaus Dieter; JANISSEK, Paulo Roberto. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. *Eng Sanit Ambient*, v. 14, n. 4, p. 551-558, 2009.

MOTTA, Kenia Unfer. Avaliação da geração de biogás de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos. 2014.

NICOCELLI, Lorena M. et al. Sorção de potássio em amostras de solo submetidas à aplicação de vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 7, p. 754-760, 2012.

NOGUEIRA, Luiz AH; LORA, Electo ES. *Dendroenergy: Fundamentals and Applications*. Interciencia, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord.). *Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia*. Brasília: Ministério de Minas e Energia, p.52-63, 2008.

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, (2010). *Bioheat, Biopower and Biogas. Developments and implications for agriculture*. Paris (FR): OECD.

OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos Concórdia: EMBRAPA/CNPQA., 1993. 188 p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Cap. 4, p.43-55.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno). São Paulo: CETESB; FIESP, 2006.

PARAÍBA, Secretaria planejamento da Paraíba, 2016. energias renováveis. Disponível em: [paraiba.pb.gov.br/planejamento-e-gestao/](http://paraiba.pb.gov.br/planejamento-e-gestao/) Acesso em: 12 jan. 2018.

PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA PARAÍBA, 2014. Disponível em: <http://static.paraiba.pb.gov.br/2013/01/PLANO-ESTADUAL-VERSAO-PRELIMINAR.pdf>

PIND, P. F.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Dynamics of the anaerobic process: Effects of volatile fatty acids. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 82, n. 7, p. 791–801, 2003.

POMPERMAYER, Raquel de Souza; PAULA JUNIOR, Durval Rodrigues de. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*. 2000.

PROBIOGÁS, O estado da arte da tecnologia de metanização seca / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autor, Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015.

RAPPORT, J., Zhang, R., Jenkins, B.M., and Williams, R.B. 2008. Current anaerobic digestion technologies used for treatment of municipal organic solid waste. University of California, Davis: Contractor Report to the California Integrated Waste Management Board.

RENABIO, Obtenção de briquetes de carvão vegetal a partir de finos de carvão. RENABIO (Rede Nacional de Biomassa), 2013, 14 p. Boletim Técnico, n. 2.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002 Publicada no DOU no 226, de 22 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 85-91 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>. Acesso: 15 mai 2017

ROSENWINKEL, K. H.; AUSTERMANN-HAUN, U.; MEYER, H. Industrial Wastewater Sources and Treatment Strategies. Environmental Biotechnology, Wiley-VCH, Weinheim, Alemanha, 2005

SANTOS, Diego Felipe; GUIMARÃES, Willian Franklin Ferreira; GONÇALVES, Claudio Ubiratan. Biodigestores como alternativa à sustentabilidade ambiental no campo brasileiro: um balanço bibliográfico acerca dos modelos Indiano, Chinês e Batelada. Revista Ciência Agrícola, v. 15, p. 35-39, 2017.

SILVA, Danilo José P. Resíduos na indústria de laticínios. Série Sistema de Gestão Ambiental. Universidade Federal de Viçosa, 2011.

SABESP, **Companhia de Saneamento básico do estado de São Paulo**. Disponível [www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br). Acesso em: Agosto de 2017

SALOMON, K. R. e LORA, E. E. S. **Estimate of The Electric Energy Generating Potential for Different Sources of Biogas in Brazil**. Biomass and Bioenergy, v. 33, p. 1101-11-7, 2009.

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. (2005). **Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. Biomassa e Energia**, v. 2, n. 1, p. 57-67.

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

SANTOS, Ivan Felipe Silva et al. **Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement.** Resources, Conservation and Recycling, v. 131, p. 54-63, 2018.

SCARASSATI, Deividy et al. **Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos.** III Fórum de Estudos Contábeis, 2003.

SENAI, **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná**, Curitiba: Senai/PR. 2016.144 p. ISBN 978-85-5520-015-1Disponível em : [www.sistemafiep.org.br](http://www.sistemafiep.org.br) › Relações Internacionais › Publicações. Acesso em: 11 de mar.2017

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução.** Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 88 p.

SILVA, D. J. P. **Gestão ambiental em uma indústria de produtos lácteos.** Revista Leite e Derivados. Ano XV. n. 94, p. 52-63, Set/Out. 2006.

SILVA, Welligton R. et al. **Digestão Anaeróbia de Resíduos Vegetais com Baixa Concentração.** Gaia Scientia, 2013.

SOUZA, Samuel NM de, Alexandre Sordi, and Carlos A. Oliva. **"Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná: 4º Encontro de Energia no Meio Rural."** Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural (2002).

STEGELIN, Forrest et al. **Oportunidades econômicas, de marketing, ambientais e financeiras sustentáveis para sistemas de recuperação de biogás.** In: Pesquisa Agronegocial WERA-72 Enfatizando o Encontro de Competitividade e Rentabilidade, Santa Clara . 2010.

SUDEMA, Superintendência de Administração. SUDEMA. **Atualização do Diagnóstico do Estado da Paraíba.** 2017.Disponível em: < <http://www.sudema.pb.gov.br>>. Acesso em:12 abr.2018.



UNEP, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; DEPA – DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark. Cleaner production assessment in meat processing. Paris: UNEP, 2000. Disponível em: <http://www.agrifood-forum.net/publications/guide/index.htm>. Acesso em: 24 jun 2017.

UNICA, indústria de cana-de-açúcar (UNICA). Cana-de-açúcar no Brasil, 2016. Disponível: < <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>.> Acesso em: 12 de jan de 2018.

VAN ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira; ROMANEL, Celso; SANTOS, Mauro Meirelles. **Análise da eficiência de modelos de decaimento de primeira ordem na previsão da emissão de gás de efeito estufa em aterros sanitários brasileiros**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 6, 2018.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do meio oeste catarinense**. 103p. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau (URB), Blumenau-SC, Brasil (2013).

ZANTA, Viviana Maria; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos**. AB de Castilho Júnior (Coordenador), Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2003.