

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

RENAN MARCELO CONTE

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS DE DEJETOS DA
SUINOCULTURA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE BIOELETRICIDADE
E CONSEQUÊNCIAS DA SUA ADIÇÃO NA REDE ELÉTRICA**

Araranguá, SC

2019

RENAN MARCELO CONTE

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS DE DEJETOS DA
SUINOCULTURA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE
BIOELETRICIDADE E CONSEQUÊNCIAS DA SUA ADIÇÃO NA REDE
ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 06 de dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Elaine Virmond (Orientadora)
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Kátia Cilene Rodrigues Madruga
Universidade Federal de Santa Catarina

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS DE DEJETOS DA SUINOCULTURA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE BIOELETRICIDADE E CONSEQUÊNCIAS DA SUA ADIÇÃO NA REDE ELÉTRICA

Renan Marcelo Conte¹

RESUMO

A energia elétrica é um insumo de grande importância na vida das pessoas e seu consumo aumenta a cada ano. Visando suprir esse aumento de demanda, novas alternativas estão sendo estudadas, com foco principal em energias renováveis. Esse trabalho teve como objetivo estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela biodigestão de dejetos suínos. A biodigestão é um fenômeno que ocorre naturalmente, realizado por determinados microrganismos em ambientes sem oxigênio. Como resultado desse processo, tem-se um gás combustível com uma concentração média de 60% de metano. Devido à grande difusão da suinocultura industrial em Santa Catarina, o estado tem o maior rebanho suíno do Brasil, com mais de 13 milhões de animais. Utilizando uma metodologia conhecida e que apresenta valores próximos aos reais, foi calculado o potencial teórico da produção do biogás gerado pela biodigestão dos dejetos animais e posteriormente de energia elétrica no estado. Como resultado, obteve-se uma produção relevante, superior às alternativas mais difundidas atualmente no estado (solar e eólica). Essa produção seria capaz de suprir aproximadamente 6% de todo o consumo residencial de energia elétrica no estado. Como consequência, ocorrem mudanças nas características da energia na rede de distribuição.

Palavras-chave: Dejetos suínos; Biogás; Geração distribuída de bioeletricidade.

¹Graduando do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde – CTS, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3210, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88906-072. E-mail: conterenan@gmail.com

POTENTIAL FOR USE OF SWINE MANURE BIOGAS FOR BIOELECTRICITY DISTRIBUTED GENERATION AND CONSEQUENCES OF ITS INSERTION INTO THE ELECTRICAL NETWORK

Renan Marcelo Conte¹

ABSTRACT

Electricity is an input of great importance in people's lives and its consumption increases every year. Aiming to meet this increase in demand, new alternatives are being studied, focusing mainly on renewable energies. This work aimed to estimate the potential of energy generation through the use of biogas produced by the digestion of swine manure. Bio-digestion is a naturally occurring phenomenon carried out by certain microorganisms in environments without oxygen. As a result of this process, there is a fuel gas with an average concentration of 60% methane. Due to the wide spread of industrial pig farming in Santa Catarina, the state has the largest swine herd in Brazil, with over 13 million animals. Using a known methodology that presents values close to the actual ones, the theoretical potential of biogas production generated by the bio-digestion of animal waste and later of electric energy in the state was calculated. As a result, there is a relevant production, superior to the most widespread alternatives today in the state (solar and wind). This production would be able to supply approximately 6% of all residential consumption of electricity in the state. As a result, changes occur in the energy characteristics of the distribution network.

Key-words: Swine manure; Biogas; Bioelectricity Distributed Generation.

¹Graduando do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde – CTS, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3210, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88906-072. E-mail: conterenan@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo de grande importância à sociedade e seu consumo tende a crescer anualmente em consonância com o aumento populacional e ao incremento do seu padrão de consumo. Estima-se que do ano 2016 até o ano 2026 o consumo de energia elétrica deve aumentar cerca de 3,7% ao ano (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

Para suprir esse aumento de demanda e visando o desenvolvimento sustentável, novas formas de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis são estudadas como formas de substituição à queima de combustíveis fósseis, que a nível mundial são a principal fonte. Para ser considerada uma fonte renovável de energia, essa fonte deve ter a capacidade de ser reposta em um curto intervalo de tempo pela natureza (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

No Brasil, o foco dos estudos e projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis está relacionado principalmente à energia eólica, energia solar fotovoltaica e biomassa, tendo as três uma variação positiva na sua produção entre os anos de 2016 e 2017, 875,6% de aumento no solar fotovoltaico, 26,5% na eólica e 0,3% na geração a partir da biomassa (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

A atividade agropecuária apresenta uma grande diversidade de ramos de atuação e influência na economia do Brasil. Essa mesma característica pode ser observada no estado de Santa Catarina (SC), onde se destacam a produção de grãos, frutos e proteína animal e, dentre esses, a suinocultura intensiva (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI, 2017).

O estado de Santa Catarina é responsável por 16,21% do abate de aves no Brasil e 28,38% do abate de suínos, e projeções recentes para a exportação de proteína animal, apontam um crescimento entre 4% e 5% na exportação de carne de frango e 12% para carne suína, onde o estado de Santa Catarina tem uma participação importante neste crescimento, representando 34% do aumento das exportações de frango e 55% das exportações de suínos (ABPA, 2018).

Devido à grande quantidade de propriedades produtoras de suínos no estado de Santa Catarina, e conseqüente grande produção de dejetos, se justificam estudos sobre a geração de bioeletricidade utilizando o biogás, produzido em biodigestores, como biocombustível para geradores de energia elétrica. A biodigestão consiste em um tratamento efetivo dos dejetos e contribui para minimizar potenciais impactos negativos

da suinocultura, resultando em duas frações de produto, uma mistura gasosa combustível – o biogás, um biocombustível – e outra líquida, considerada um fertilizante orgânico com aplicação em cultivos agrícolas.

Tais incrementos na produção de proteína animal incorre também em aumento no consumo de energia no meio rural, impactando então o setor elétrico, especialmente no segmento de distribuição, que deverá continuamente se adaptar de forma a atender a demanda energética com a qualidade requerida pelo agente regulador. Adicionalmente, passa a ser desafio e oportunidade para esse setor a busca por suprimento energético de forma distribuída, sem a necessidade de vultosos investimentos nas redes de distribuição de energia. Isso pode ser traduzido em benefícios tais como a melhoria da continuidade de fornecimento, aumento da qualidade pelo controle de variáveis elétricas, melhorando ainda a confiabilidade e qualidade aos serviços de fornecimento de energia ao consumidor.

Dessa forma, a geração distribuída de energia elétrica, além de descentralizar o sistema de geração, aproveita melhor os recursos energéticos distribuídos e possibilita a redução da demanda local no sistema de distribuição.

Embora a biodigestão esteja sendo usada há muitos anos para produção de biogás, esse biocombustível comumente é utilizado a nível residencial em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP) para aquecimento e cocção de alimentos. Foi somente em 2012, com a Resolução Nº 482 da ANEEL, a qual possibilita a geração distribuída de bioeletricidade a partir do biogás, que o método de tratamento dos dejetos, além de uma função ambiental, começou a apresentar uma função econômica (MOREIRA, 2012).

No estado de Santa Catarina, o grande incentivo ao uso do biogás foi dado com a promulgação da Lei nº 17.542, de 12 de Julho de 2018, que instituiu a Política Estadual do Biogás, reunindo princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, ações, incentivos e fomentos visando produção, exploração, gerenciamento e comercialização de biogás no estado.

Com base no cenário exposto o objetivo geral deste trabalho foi estimar o potencial de geração de bioeletricidade a partir do biogás proveniente da biodigestão de dejetos da suinocultura catarinense e indicar potenciais consequências de sua inserção na rede elétrica. Para isso, os seguintes objetivos específicos foram definidos: realizar um levantamento dos dados da criação intensiva de suínos no estado de Santa Catarina; estimar a produção de dejetos suínos; estimar a produção de biogás e bioeletricidade proveniente da produção de dejetos da suinocultura no estado de Santa Catarina e discutir

a relação entre essa forma de geração distribuída e a qualidade da energia no local de aplicação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de suínos e de dejetos

O rebanho suíno de Santa Catarina e do Brasil pode ser dividido entre industrial e de subsistência, sendo esse produzido em pequenas propriedades, apenas para consumo próprio. O rebanho da suinocultura industrial segue um aumento gradativo, impulsionado principalmente pela atuação das cooperativas e pelo método integrado de criação, onde a empresa fornece os animais, a assistência técnica, a ração e os medicamentos necessários, o suinocultor fica responsável pelas instalações, mão-de-obra, gestão ambiental e cumprimento de prazos para entrega e quesitos de qualidade estabelecidos (SOUZA *et al.*, 2013). De maneira oposta ao crescimento do rebanho da suinocultura industrial, o rebanho de subsistência tem diminuído de tamanho, perdendo assim importância na suinocultura brasileira.

O sistema de produção de suínos mudou evoluiu muito, há cerca de vinte anos, a criação antes realizada desde o nascimento até o abate em uma mesma granja é agora dividida em três fases, geralmente realizadas em granjas distintas. Na primeira etapa, o produtor de leitões é o responsável pela inseminação, gestação, parição e criação dos animais até o desmame, onde os leitões terão aproximadamente 21 dias de vida. Posteriormente, o crechário recebe os leitões desmamados e cria-os até aproximadamente 60 dias de vida. O último estágio da criação é realizado pelo terminador, que cria os animais até atingirem aproximadamente 115 kg, valor atingido aproximadamente 150 dias após o nascimento, e os envia para o abate (SOUZA *et al.*, 2013).

Para quantificar a produção de dejetos produzidos pela suinocultura industrial no estado, deve-se levar em conta as fases do processo de criação até o abate dos animais, pois existem variações na produção de dejetos. A Tabela 1 expressa as taxas de produção de esterco, esterco + urina e dejetos líquidos pelos animais durante cada etapa da criação.

Tabela 1 – Produção de dejetos produzidos por suínos em cada fase.

Categoria	Esterco (kg dia⁻¹)	Esterco + Urina (kg dia⁻¹)	Dejetos líquidos (L dia⁻¹)
Suínos 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00
Matrizes	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação + leitões	6,40	18,00	27,00
Reprodutor	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993).

Adicionalmente, deve-se considerar a duração de cada período da vida do animal (Tabela 2).

Os potenciais impactos negativos causados pela suinocultura ao meio ambiente, principalmente solo, água e ar, têm grande relevância e muitas vezes são ignorados (SCHULTZ, 2007). Considerando a importância da suinocultura e conhecendo os possíveis malefícios causados pelo mau gerenciamento de seus resíduos, deve-se adotar medidas que possibilitem que a atividade seja sustentável.

Tabela 2 – Número de dias dos períodos da vida do animal.

Animal	Período	Dias
Leitão	Crechário	39
Leitão	Terminação	90
Matriz	Desmame-Cio	10
Matriz	Gestação	313
Matriz	Amamentação + Leitão	42
Reprodutor	Ano Todo	365

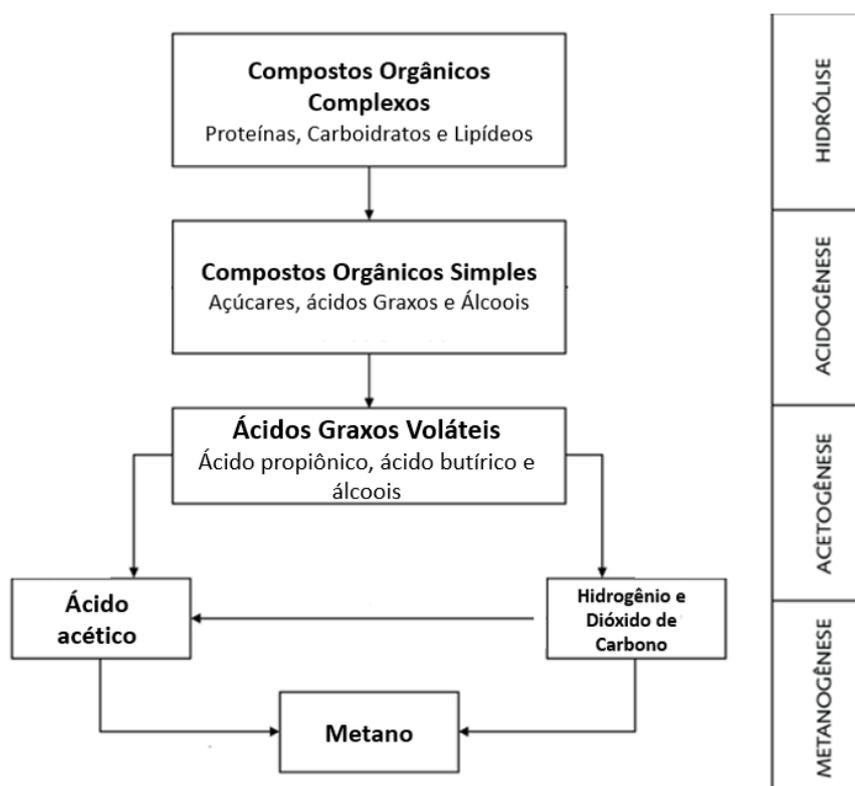
Fonte: Souza e colaboradores (2013); Bortolozzo e Wentz (2004).

2.2 Biodigestão e biogás

O biogás é o resultado da digestão anaeróbia ou biodigestão de matéria orgânica, processo que ocorre sem a presença de oxigênio, realizado por tipos variados de microrganismos. O processo de biodigestão ocorre de forma natural no ambiente, no entanto, condições ideais para sua ocorrência podem ser replicadas com eficiência em dispositivos construídos pelo homem, os biodigestores (JUNIOR, 2015).

A biodigestão é um processo onde alguns microrganismos de tipos específicos e que atuam em ambientes sem oxigênio transformam as estruturas de materiais orgânicos complexos em compostos mais simples, tais como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (SÁNCHEZ et al., 2005). Esse processo é ilustrado na Figura 1, contendo um total de quatro etapas, sendo essas, a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese.

Figura 1 - Digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Oliveira e Higarashi (2006).

Nas fases mostradas na Figura 1, em cada uma delas atuam diferentes microrganismos. A hidrólise, é realizada pelas bactérias fermentativas, as mesmas responsáveis pela acidogênese, que consiste na conversão dos produtos hidrolisados em

compostos mais simples, tais como ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico, ácido valérico, além de hidrogênio, água, dióxido de carbono, etanol e metanol, que serão posteriormente excretados pelas células bacterianas (KOTHARI *et al.*, 2014).

Em seguida ocorre a fase de acetogênese, realizada pelas bactérias do tipo acetogênicas, que transformam os compostos produzidos na fase anterior em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono, compostos que serão usados na última etapa do processo, a metanogênese, realizada pelas bactérias metanogênicas, acetotróficas, que utilizam ácido acético e as hidrogenotróficas, que utilizam o hidrogênio e o dióxido de carbono para a produção do metano (KOTHARI *et al.*, 2014).

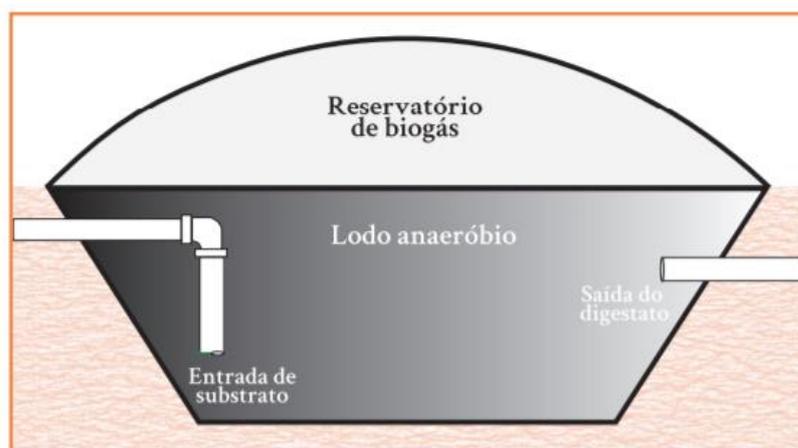
Os biodigestores podem ser definidos como câmaras onde ocorre o processo de digestão anaeróbia, resultando assim na formação de biofertilizante e biogás (MAGALHAES, 1986). Para que esse processo ocorra de forma eficiente, é necessária a presença de material orgânico tais como rejeitos da agricultura, pecuária, resíduos sólidos urbanos.

Os biodigestores são utilizados há anos em escala mundial, países como a Índia e a China foram os precursores dessa tecnologia, construindo-os desde 1908. No Brasil os biodigestores rurais receberam grande incentivo nas décadas de 1970 e 1980, quando o governo federal lançou o Programa Nacional de Energia Alternativa. Esse investimento foi incentivado pela crise do petróleo que ocorria no mundo, após a normalização da oferta de petróleo, os projetos foram esquecidos (EMBRAPA, 2019).

Dentre os biodigestores mais difundidos, o biodigestor de lagoa coberta é o tipo mais utilizado para o tratamento de dejetos com baixa concentração de sólidos, como é o caso dos dejetos da suinocultura. Esse biodigestor consiste em um tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto com algum material sintético, como PVC e polietileno de alta densidade. Esses materiais sintéticos são flexíveis o suficiente para esticar com o aumento do volume de gases no seu interior, além de serem capazes de manter o biogás no seu interior. Esse tipo de biodigestor apresenta baixo nível tecnológico e grande facilidade de construção e operação (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

A Figura 2 exemplifica a construção padrão de um biodigestor de lagoa coberta.

Figura 2 - Biodigestor de Lagoa Coberta.



Fonte: Kunz e colaboradores (2019).

Como resultado do processo de biodigestão tem-se uma mistura gasosa, com composição variável, como mostrado na Tabela 3, e um fertilizante orgânico (digestato).

Tabela 3 – Composição do Biogás (% v/v), por diferentes autores.

	Alves <i>et al.</i> (1980)	Teixeira (1985)	Sganzerla (1983)	Oliveira (2002)
Metano	54-70	54-80	60-70	55-70
Dióxido de Carbono	27-45	20-45	30-40	27-45
Hidrogênio	1-10	-	Traços	1-10
Nitrogênio	0,5-3	Traços-3	Traços	0,5-3
Oxigênio	0,1	-	-	0,1
Ácido Sulfídrico	Traços	Traços-3	Traços	Traços

Fonte: Adaptado de Silva e Francisco (2010), MAPA (2016), Sganzerla (1983).

A característica mais importante e buscada em um gás combustível é a quantidade de energia liberada na sua combustão completa. Esse valor depende diretamente do percentual de metano encontrado na composição do biogás, tal como exemplificado na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação entre o percentual de metano e o poder calorífico do biogás

Percentual de Metano	Poder Calorífico (kcal/Nm³)
60%	5.136,46
65%	5.564,50

Fonte: Adaptado de Avellar (2001).

Dentre os principais contaminantes, sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃) e siloxanos se destacam, sendo os dois primeiros gases ácidos que podem promover a corrosão do sistema de alimentação dos geradores de energia elétrica, além de serem tóxicos ao ser humano. A combustão da amônia incorre também na formação de óxidos de nitrogênio (NO_x), importante poluente atmosférico relacionado à formação de chuva ácida. Nitrogênio, vapor d'água e dióxido de carbono atuam como diluentes, diminuindo assim o poder calorífico do biogás (GARCIA-ARRIAGA *et al.*, 2010). A necessidade de tratamentos específicos e purificação do biogás deve ser avaliada a partir de sua caracterização e da tecnologia de conversão selecionada para dada aplicação.

2.3 Metodologias para estimativa da produção teórica de biogás

Mito e colaboradores (2018) analisaram comparativamente quatro metodologias bem difundidas na literatura para o cálculo da produção teórica de biogás, além da produção real – sendo essas metodologias a de Chen (1983); a de Kunz (2006); a do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006); a do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás-ER, 2009), juntamente com uma nova metodologia que propuseram, baseada na metodologia de Chen (1983). Cada uma dessas metodologias foi descrita a seguir e, posteriormente, o resultado de tal análise comparativa realizada por Mito e colaboradores (2018) foi exposto na Figura 3, na seção 2.3.4.

2.3.1 Chen (1983)

A metodologia utilizada por Chen (1983) utiliza, além dos parâmetros qualitativos, parâmetros que se referem aos biodigestores. Parâmetros importantes e também utilizados em outras metodologias, como os sólidos voláteis (SV) e a capacidade

máxima de produção de biogás por dejetos (β_0) fazem parte da metodologia de Chen (1983) e, portanto, fazem com que essa metodologia seja umas das mais utilizadas para estimar o potencial teórico de produção de biogás (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). As equações 1, 2, 3 e 4 são as equações utilizadas no cálculo utilizando essa metodologia.

$$PdM = \frac{\beta_0 \cdot SV}{TRH} \cdot \left(1 - \frac{k}{TRH \cdot \mu m - 1 + k}\right) \quad (1)$$

Onde:

PdM	$m_{CH_4}^3 m_{bio}^3 dia^{-1}$	produtividade em m^3 de metano por m^3 do biodigestor ao dia
β_0	$m_{CH_4}^3 kg_{sv}^{-1}$	capacidade de produção de metano pelo dejetos
SV	$kg_{sv} cab^{-1} dia^{-1}$	sólidos voláteis
TRH	<i>dias</i>	tempo de retenção hidráulica
k	<i>adimensional</i>	coeficiente cinético
μm	dia^{-1}	velocidade máxima de crescimento específico

$$k = 0,5 + 0,0043 \cdot e^{0,051 \cdot SV} \quad (2)$$

Onde:

k	<i>adimensional</i>	coeficiente cinético
SV	$kg_{sv} cab^{-1} dia^{-1}$	sólidos voláteis

$$\mu m = 0,013 \cdot T - 0,0129 \quad (3)$$

Onde:

μm	dia^{-1}	velocidade máxima de crescimento específico
T	$^{\circ}C$	temperatura

$$PrM = PdM \cdot V_{bio} \quad (4)$$

Onde:

PrM	$m_{CH_4}^3 dia^{-1}$	produção diária de metano em m^3
PdM	$m_{CH_4}^3 m_{bio}^3 dia^{-1}$	produtividade em m^3 de metano por m^3 do biodigestor ao dia
V_{bio}	m^3	volume do biodigestor

A Tabela 5 mostra os parâmetros qualitativos utilizados por Chen (1983).
Tabela 5 – Parâmetros utilizados na metodologia de Chen (1983).

	SV ($kg_{sv}cab^{-1}dia^{-1}$)	β_0 ($m_{CH_4}^3 kg_{sv}^{-1}$)
Suínos	31,5	0,5

Fonte: Adaptado de Mito e colaboradores (2018).

2.3.2 Kunz (2006)

Kunz (2006) tem uma abordagem muito mais direta na tentativa de estimar a produção de metano, seu cálculo envolve apenas a capacidade máxima teórica de produção de dejetos, a quantidade de sólidos voláteis e o volume total de dejetos produzidos diariamente.

As equações 5 e 6 mostram a simplicidade dos cálculos e a Tabela 6 apresenta os valores dos parâmetros utilizados pelo autor.

$$PrM = \beta_0 \cdot SV \cdot Q \quad (5)$$

Onde:

PrM	$m_{CH_4}^3 dia^{-1}$	produção diária de metano em m^3
β_0	$m_{CH_4}^3 kg_{sv}^{-1}$	capacidade de produção de metano pelo dejetos
SV	$kg_{sv}cab^{-1}dia^{-1}$	teor de sólidos voláteis
Q	$m^3 dia^{-1}$	volume total de dejetos produzidos ao dia

$$Q = N^o \cdot PD \quad (6)$$

Onde:

Q	$m^3 dia^{-1}$	volume total de dejetos produzidos ao dia
N^o	número inteiro	número de animais
PD	$m_{animal}^3 dia^{-1}$	volume de dejetos produzidos por animal ao dia

Tabela 6 – Parâmetros utilizados na metodologia de Kunz (2006).

	SV ($kg_{sv}cab^{-1}dia^{-1}$)	β_0 ($m_{CH_4}^3 kg_{sv}^{-1}$)	PD ($m_{animal}^3 dia^{-1}$)
Suínos	53,1	0,45	4,46

Fonte: Adaptado de Mito e colaboradores (2018).

2.3.3 Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2006)

Segundo o IPCC, pode-se utilizar três métodos para o estimar a emissão de metano por dejetos de animais, cada um com características e aprofundamento diferentes.

Seguindo o exemplo de Mito (2018), o método escolhido foi o Tier 2. Para a utilização desse método, é necessário informações detalhadas sobre as características dos animais e das formas de gestão dos dejetos, possibilitando assim o desenvolvimento de fatores de emissão específicos para determinado local. Esse método é baseado em duas equações principais:

$$FEM = SV \cdot 365 \cdot \beta_0 \cdot 0,67 \cdot \frac{FCM}{100} \cdot SM \quad (7)$$

Onde:

FEM	$kg_{CH_4} cab^{-1} ano^{-1}$	fator de emissão de metano por população
SV	$kg_{SV} cab^{-1} dia^{-1}$	sólidos voláteis
β_0	$m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$	capacidade de produção de metano pelo dejetos
0,67	<i>adimensional</i>	conversão de m ³ metano para kg metano
FCM	%	fator de conversão de acordo com o manejo
SM	<i>adimensional</i>	fator do sistema de gerenciamento dos resíduos.

$$CH_{4dejetos} = \sum \frac{FEM \cdot N}{10^6} \quad (8)$$

$CH_{4DEJETOS}$	$kg_{CH_4} ano^{-1}$	emissão de metano durante o manejo de dejetos
FEM	$kg_{CH_4} cab^{-1} ano^{-1}$	fator de emissão de metano por população
N	<i>número inteiro</i>	número de animais da categoria em questão

Os parâmetros utilizados pelo método do IPCC estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros utilizados pelo método do IPCC.

	$SV (kg_{SV} cab^{-1} dia^{-1})$	$\beta_0 (m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1})$	$FCM (%)$	SM
Suínos	0,3	0,29	0,79	1

Fonte: Adaptado de Mito e colaboradores (2018).

2.3.4 Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás-ER (2009)

A metodologia desenvolvida e utilizada pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás-ER (2009), foi baseada na metodologia e parâmetros utilizados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), além dos dados da base do IPCC, foram incluídos dados que se referem ao peso dos suínos e à permanência dos animais durante o ano no confinamento.

As equações 9, 10 e 11 mostram a quantidade de dejetos produzidos pelos suínos diariamente, anualmente e também a produção diária de biogás.

$$PDDS = \sum (N^o \cdot PE) \quad (9)$$

Onde:

<i>PDDS</i>	$m_{dejetos}^3 dia^{-1}$	produção diária de dejetos suínos
<i>N^o</i>	número absoluto	número de animais
<i>PE</i>	$m_{dejetos}^3 cab^{-1} dia^{-1}$	produção específica de dejetos por cabeça

$$PADS = \sum (PDDS \cdot 365 \cdot FAP) \quad (10)$$

<i>PADS</i>	$m_{dejetos}^3 ano^{-1}$	produção anual de dejetos suínos
<i>PDDS</i>	$m_{dejetos}^3 dia^{-1}$	produção diária de dejetos suínos
<i>FAP</i>	adimensional	fração anual de permanência (entre 0 e 1)

$$PDB = N^o \left(\frac{PM}{PP} \right) \cdot FDC \cdot SV_{padrão} \cdot \left(\frac{FCM \cdot \beta_0 \cdot f_b}{CH_4} \right) \quad (11)$$

Onde:

<i>PDB</i>	$m_{CH_4}^3 dia^{-1}$	produção de metano ao dia
<i>N^o</i>	número absoluto	número de animais
<i>PM</i>	<i>kg</i>	peso médio
<i>PP</i>	<i>kg</i>	peso padrão
<i>FDC</i>	adimensional	fração diária de confinamento (entre 0 e 1)
<i>SV</i>	$kg_{sv} cab^{-1} dia^{-1}$	sólidos voláteis
<i>FCM</i>	%	fator de conversão de acordo com o manejo
β_0	$m_{CH_4}^3 kg_{sv}^{-1}$	capacidade de produção de metano pelo dejetos

f_b	<i>adimensional</i>	fator de correção de incertezas
CH_4	%	porcentagem de metano no biogás

A Tabela 8 mostra os valores dos parâmetros utilizados na metodologia do CIBiogás-ER (2009).

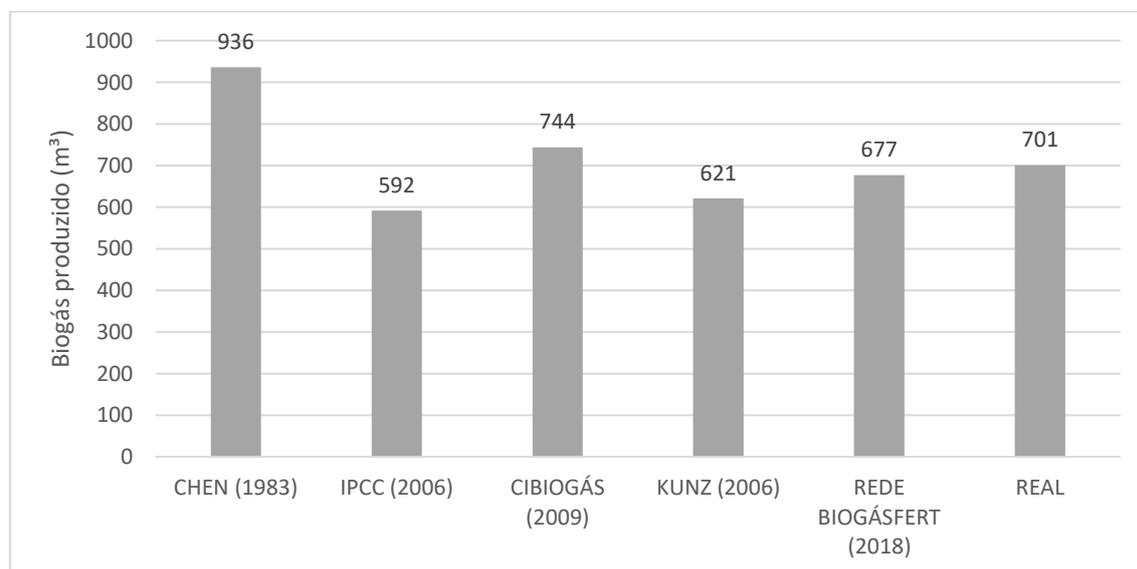
Tabela 8 – Parâmetros utilizados na metodologia do CIBiogás-ER (2009)

	$SV (kg_{SV} cab^{-1} dia^{-1})$	$\beta_0 (m^3_{CH_4} kg_{SV}^{-1})$	$FCM (%)$	f_b	% CH_4
Suíños	0,3	0,29	0,79	0,94	60

Fonte: Adaptado de Mito e colaboradores (2018).

O resultado da análise comparativa das metodologias consideradas por Mito e colaboradores (2018), utilizando os parâmetros originais, para o cálculo da produção teórica de biogás foi exposto na Figura 3.

Figura 3 - Resultado das estimativas teóricas de produção de biogás ($m^3 dia^{-1}$) obtido por Mito e colaboradores (2018).



Fonte: Adaptado de Mito e colaboradores (2018).

A metodologia de Chen (1983), além de ter apresentado o pior resultado do experimento, necessita de informações em relação ao tipo de biodigestor utilizado, além da temperatura, que é influenciada pela região onde está instalado o biodigestor. A metodologia do CIBiogás (CIBiogás-ER, 2006) utiliza informações relacionadas ao peso médio dos animais e a metodologia do IPCC (IPCC, 2006), embora tenha apresentado

resultados satisfatórios no trabalho realizado por Mito e colaboradores (2018), também necessita de informações mais específicas de acordo com as características de produção.

Durante o desenvolvimento do trabalho, Mito e colaboradores (2018) chegaram à conclusão de que os dados qualitativos deveriam ser ajustados, sendo assim, o valor de $SV\left(\frac{g_{sv}}{L}\right)$ foi alterado para 35,38 e o valor de $B_0\left(\frac{m^3_{CH_4}}{kg_{sv}}\right)$ foi alterado para 0,32.

2.4 Geração distribuída de bioeletricidade a partir do biogás

A geração distribuída pode ser classificada de acordo com a capacidade de geração, são denominadas microgeração as centrais geradoras com potência instalada de até 75 kW e minigeração as centrais com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2018).

A conversão energética do biogás em bioeletricidade pode ser realizada de diversas maneiras. Com o avanço tecnológico, já existem motores desenvolvidos exclusivamente para a utilização de biogás. Originalmente esses motores eram motores comuns de combustão interna de ciclo Otto adaptados para a utilização de biogás (PRATI, 2010).

O conceito de integração de geradores de energia de pequena e média escala já é uma realidade no mundo todo. Incentivados pela ideia da redução da emissão de gases de efeito estufa e na economia financeira, mais de 152 mil unidades de geração distribuída já existem no Brasil (ANEEL, 2019). Esse número é em sua maioria constituído por geração solar fotovoltaica, a mais difundida, competitiva e viável atualmente. Seguindo o mesmo conceito, a utilização do biogás na geração de bioeletricidade, se conectada na rede de energia elétrica, também é considerada uma geração distribuída.

Segundo o Art. 2º inciso II, da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (ANEEL, 2012), o sistema de funcionamento das unidades de geração distribuída é especificado como um sistema de compensação de energia elétrica, onde a energia que é injetada por uma unidade consumidora é cedida, por meio de um empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.

A geração de energia com a utilização de biogás como combustível pode ser realizada de forma contínua ou para suprir demandas específicas, em períodos onde o custo da energia é maior (horário de pico). Atualmente, muitas empresas especializadas

em sistemas de geração possuem em seus catálogos geradores de uso específico com biogás como combustível, essas empresas vão desde gigantes como a Caterpillar, até pequenas empresas focadas especificamente em geradores à biogás.

Compete ao consumidor a iniciativa para a instalação de micro ou minigeração distribuída, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia, tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização, valor da tarifa de energia que a unidade consumidora paga, condições de pagamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

É importante ressaltar também que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), mesmo que a energia injetada na rede seja maior que o consumo, o consumidor deverá realizar o pagamento referente ao custo de disponibilidade, valor que equivale em reais a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), o valor da energia poderá ser zerado na fatura mensal, no entanto, a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente (ANEEL, 2018).

Para que seja possível a inserção da energia gerada por esses geradores o consumidor deverá realizar os procedimentos descritos pela ANEEL, publicados no Módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) (ANEEL, 2017). A Seção 3.7 desse Módulo 3 expõe as etapas, critérios técnicos e operacionais e os requisitos dos projetos.

A geração distribuída pode contribuir na geração total do estado de Santa Catarina, o qual teve em 2018 uma geração total, incluindo geração distribuída e geração centralizada, de energia elétrica de 22.425 GWh (EPE, 2019).

A Tabela 9 apresenta os valores gerados pelas principais fontes em Santa Catarina, em GWh.

Tabela 9 - Valores gerados pelas principais fontes em Santa Catarina, em GWh.

Hidráulica	Eólica	Térmica	Lenha	Lixívia	Carvão Vapor	Outras Fontes Renováveis
16.887	191	5.308	586	361	4.148	28

Fonte: Adaptado de EPE (2019).

A energia produzida pelo biogás no estado atualmente está contida nas “Outras Fontes Renováveis” na Tabela 9, que somam menos de 0,1% do total gerado no estado. Em números absolutos de unidades geradoras conectadas à rede, Santa Catarina apresenta atualmente apenas quinze unidades que utilizam biogás como combustível para a geração de energia elétrica, essas unidades tem uma potência instalada que varia de 34 kW até 400 kW (ANEEL, 2019).

2.5 Influência da inserção da bioeletricidade produzida a partir do biogás na rede elétrica

As concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil enfrentam problemas com a grande perda de potência e baixa tensão nas pontas da rede de distribuição. O planejamento adequado da inserção da geração distribuída na rede pode gerar benefícios ao sistema elétrico. Por meio de um planejamento bem executado, obtêm-se como resultado a redução das perdas técnicas e melhora na qualidade da energia elétrica ofertada aos consumidores. No entanto, sem um planejamento adequado a influência da geração distribuída conectada à rede pode ser negativa, gerando instabilidade na rede (ROJA e SUJATHA, 2016).

Sendo assim, deve-se ter noção que apenas com uma ótima localização e um dimensionamento adequado das instalações de geração distribuída se consegue obter resultados que satisfaçam os objetivos aos quais a integração de geração distribuída se propõe a resolver. Entre os benefícios técnicos conseguidos, os principais são:

- Redução de perdas de energia no sistema;
- Melhoria do perfil de tensão;
- O aumento da eficiência energética;
- Melhoria da confiabilidade e segurança do sistema;
- Melhoria da qualidade da energia;
- Redução das emissões de gases de efeito de estufa a partir de centrais de energia centralizadas;
- Redução das cargas nas linhas de transmissão e distribuição.

A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), define a qualidade da energia elétrica como uma ampla variedade de fenômenos eletromagnéticos que caracterizam as três principais grandezas elétricas: tensão, corrente e frequência. Na geração distribuída,

alguns distúrbios podem ocorrer nessas grandezas, tais como distúrbios nos harmônicos, sobretensão, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e regulação do fator de potência.

Para Dugan e colaboradores (2003), a definição de um problema relacionado à qualidade da energia elétrica é qualquer anormalidade da energia elétrica, os quais podem se manifestar por meio de variações de tensão, corrente ou frequência, que resultam em falhas ou operação incorreta de equipamentos ligados à rede.

Para consumidores comerciais, caso ocorram problemas na qualidade da energia elétrica, relevantes impactos na geração de receita podem ser ocasionados. Para consumidores residenciais, o impacto será na sua rotina, inviabilizando a conexão com a internet (grande aumento em profissionais que trabalham em *home office*), além de impossibilitar o uso de equipamentos para o seu conforto, como condicionadores de ar durante os dias mais quentes.

Segundo Ferreira (2010), os distúrbios elétricos, causadores de baixa qualidade de energia elétrica, independente da sua causa, podem gerar perdas consideráveis aos consumidores de energia, sendo as indústrias as mais afetadas, uma vez que tais distúrbios podem causar o funcionamento incorreto ou até mesmo a queima dos equipamentos conectados à rede elétrica e, conseqüentemente, interromper um processo de produção.

Sendo assim, durante a geração de energia, é dever do gerador fornecer energia de qualidade, que não produza distúrbios na rede elétrica e não ofereça perigo aos equipamentos nela conectados.

Dentre os principais distúrbios referentes à grande penetração de geração distribuída, os mais estudados na literatura são, de acordo com Katiraei e Agüero (2011) envolvem harmônicos, sobretensões e flutuações de tensão.

As componentes harmônicas presentes nas tensões e correntes do sistema elétrico são sinais de frequência múltipla inteira da componente fundamental que, quando sobrepõem a componente fundamental, deformam o sinal e prejudicam a qualidade da energia elétrica ofertada pela rede. A existência desses distúrbios é responsável por aproximadamente 25% de todos os distúrbios do sistema elétrico, resultando assim em grandes perdas de potência (SHAH *et al.*, 2015).

Os distúrbios provocados pela presença de harmônicos são diversos, os principais são sobrecarga e aquecimento excessivo em motores; sobrecarga, envelhecimento e queima de capacitores e fusíveis; falha ou operação indesejada de disjuntores; sobrecarga em condutores; deficiência no funcionamento de dispositivos de controle.

A inserção de fontes de energia nos sistemas de distribuição de baixa tensão dá origem a sobretensões na rede elétrica. Esse distúrbio é um dos distúrbios na qualidade da energia elétrica que mais influencia na limitação da inserção de novos sistemas de geração distribuída na rede elétrica de baixa tensão (TONKOSKI; LOPES; EL-FOULY, 2011).

Conforme estudo realizado por Canova e colaboradores (2009), os sistemas geradores distribuídos se comportam como fontes de corrente elétrica e ao interagirem com a rede, adicionam um valor de tensão dependendo do valor da impedância da rede. As interferências causadas pela inserção dessas fontes de energia são maiores ainda em linhas elétricas rurais devido principalmente ao baixo número de usuários conectados à rede e à capacidade da rede, além das características dos cabos utilizados nas linhas, que geralmente tem diâmetro menor que o de linhas elétricas urbanas.

Como estratégias para a solução dos problemas de sobretensão nas linhas elétricas, são opções o aumento da seção transversal dos condutores (TONKOSKI; LOPES; EL-FOULY, 2011) e a expansão da infraestrutura da rede elétrica (ZACH; AUER, 2012). Entretanto, a implantação dessas estratégias tem um custo muito alto e geralmente não são utilizadas para a mitigação dos problemas de sobretensão.

A geração de energia elétrica distribuída pode auxiliar nos problemas de flutuação da tensão da rede. Se ocorrerem alterações, por mais curtas que sejam, na saída dos geradores, a tensão na linha local pode sofrer flutuações. Essas flutuações podem ser sobretensões ou subtensões (MATOS; CATALÃO, 2013).

A principal fonte causadora dessas flutuações é a utilização de sistemas de energia que dependam de fatores naturais para o seu funcionamento, como energia solar fotovoltaica e energia eólica, no entanto, qualquer fonte de energia pode ser causadora dessas flutuações (MATOS; CATALÃO, 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 Levantamento da produção de suínos em Santa Catarina

Para estimar o potencial de produção de bioeletricidade a partir do biogás produzido na biodigestão de dejetos suínos no estado de Santa Catarina, foram buscadas informações referentes à quantidade média de animais que são criados anualmente no estado.

A Tabela 10 mostra a quantidade de suínos abatidos no estado de Santa Catarina nos anos 2017, 2018 e nos dois primeiros semestres do ano 2019.

Tabela 10 - Número de suínos abatidos por trimestre em SC.

Ano	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre	Total de abates/ano
2017	2.805.366	2.812.241	2.965.933	2.917.653	11.501.193
2018	2.817.041	2.854.898	3.121.627	2.887.655	11.681.221
2019	3.012.177	3.053.902	-	-	6.066.079

Fonte: IBGE (2018).

Os valores foram obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, e são apresentados trimestralmente na Pesquisa Trimestral do Abate de Animais (IBGE, 2018).

No entanto, os números expostos na Tabela 10 não incluem os animais produzidos no estado, mas abatidos em estados vizinhos (Rio Grande do Sul e Paraná). Segundo EPAGRI (2019), o número de animais produzidos no estado em 2018 foi de 13.010.200, número significativamente maior que o de animais abatidos no estado. Além desses 13.010.200 animais, Santa Catarina tem 420.488 matrizes, número que representa 24,4% do total brasileiro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS, 2016). Além disso, segundo a Embrapa Suínos e Aves, deve existir um reprodutor (suíno macho para reprodução) a cada 20 fêmeas, sendo assim, um total de 21.024 machos que não serão abatidos. Esses animais têm como função no processo produtivo a reprodução e fornecimento de leitões para um futuro abate (FÁVERO; IRGANG, 1997). Os mesmos valores estão expostos na Tabela 11 para melhor visualização.

Tabela 11 – Número de animais produzidos em SC, matrizes e reprodutores.

Animais Produzidos em SC	Matrizes	Reprodutores
13.010.200	420.488	21.024

Fonte: EPAGRI (2019).

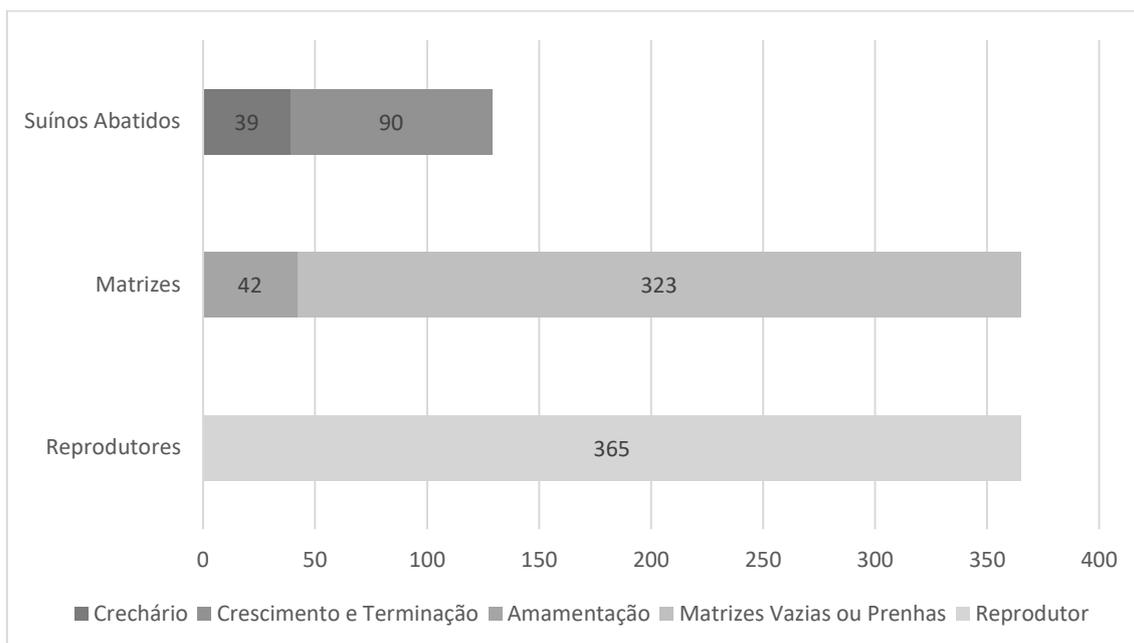
Embora o número de animais produzidos seja 13.010.200, deve ser levado em consideração o fato de que o tempo de vida desses animais é de apenas 150 dias, sendo assim, o valor médio de animais do rebanho, mensurado pelo IBGE por meio do Censo Agropecuário 2017, apresenta o número total de 8.442.850 suínos nesse ano, considerando animais para abate e matrizes para reprodução IBGE (2017).

3.2 Estimativa da produção teórica de biogás a partir de dejetos da suinocultura em Santa Catarina

A escolha da metodologia para os cálculos, dentre aquelas apresentadas na seção 2.3 foi baseada na disponibilidade dos dados necessários. Por ser uma estimativa da produção potencial teórica em todo o estado de Santa Catarina, as características locais são variáveis, excluindo assim a possibilidade da utilização das metodologias que utilizam dados mais específicos, caso das metodologias de Chen (1983), IPCC (2006) e CIBiogás (2009), além disso, essas metodologias necessitam de parâmetros qualitativos que dependem do método de criação dos animais e/ou das características dos biodigestores. Por ser mais simplificada e genérica, e mesmo assim apresentar resultados satisfatórios, como mostrado na Figura 6, a metodologia de Kunz (2006) foi a escolhida para o desenvolvimento deste trabalho.

Para possibilitar a utilização dessa metodologia, foram utilizados os dados de produção de dejetos (PD) expostos na Tabela 1, além dos dados da Tabela 2 que consideram as etapas da vida dos suínos, e da Tabela 11 que mostra os valores absolutos de animais no estado. Os dados da Tabela 2 foram compilados na Figura 4 para melhor visualização.

Figura 4 - Período de cada fase do animal em dias.



Fonte: Adaptado de Souza e colaboradores (2013); Bortolozzo e Wentz (2004).

A Tabela 12 mostra a produção de dejetos, obtidos pela conversão dos valores expostos na Tabela 1.

Tabela 12 – Produção de dejetos em cada fase da vida dos suínos.

Fase da vida dos suínos		Produção de dejetos em $m^3 \text{ dia}^{-1}$
Leitões na creche	PD crechário =	0,0014
Suínos 25 kg a 100 kg	PD crescimento e terminação=	0,007
Reprodutores	PD reprodutor=	0,009
Matrizes	PD matriz=	0,016
Porcas em lactação + leitões	PD amamentação=	0,027

Fonte: Adaptado de Oliveira (1983).

O início dos cálculos da produção de biogás se deu pela Equação 6 resultando no valor de Q (volume total de dejetos produzidos ao dia, em m^3). O valor de Q para os animais produzidos no estado foi calculado para as fases de crechário e crescimento e terminação. Para as matrizes, foram calculadas as etapas de gestações e períodos entre

gestações (matrizes vazias), além dos períodos de amamentação (duas vezes ao ano, totalizando 42 dias). Para os reprodutores foi realizado o cálculo de um ano inteiro, pois eles não são mortos e não têm grandes variações na sua produção de dejetos.

Como a metodologia escolhida, Kunz (2006), a Equação 5 resulta na produção de metano (PrM , $m^3_{CH_4} dia^{-1}$) e sabendo que em média o metano corresponde a 60% do biogás (ALVES *et al.*, 1980; TEIXEIRA, 1985; SGANZERLA, 1983; OLIVEIRA, 2002), os valores calculados tiveram que ser multiplicados por 10/6, resultando na produção de biogás equivalente produzida. Essa multiplicação é necessária pois o consumo nominal do grupo gerador é dado em $Nm^3 h^{-1}$ de biogás.

3.3 Estimativa da produção teórica de bioeletricidade no tratamento dos dejetos da suinocultura por meio da biodigestão

A partir dos resultados de produção de biogás estimados tal como descrito no item 3.2, foi possível calcular a quantidade teórica de energia elétrica disponível para ser inserida na rede de distribuição pelos geradores por meio da equação (12).

$$E = \frac{PrB}{8.760 \cdot C} \cdot 87 \cdot t \quad (12)$$

Onde:

PrB	m^3	produção total de biogás pelo rebanho suíno por ano
8760	<i>horas</i>	quantidade de horas em um ano
87	<i>kW</i>	potência do gerador
C	$Nm^3 hora^{-1}$	consumo por hora de biogás pelo gerador
t	<i>hora</i>	tempo em que o gerador funciona durante o ano
E	<i>kWh</i>	energia elétrica produzida pelo gerador

Nos cálculos necessários para a determinação do potencial de produção de bioeletricidade no estado de Santa Catarina, foi considerado o grupo gerador modelo GMWM120 da empresa ER-BR, o qual é formado por um motor MWM modelo 4.12 T 6C/12V e um alternador da marca WEG e pode trabalhar continuamente durante 24 horas utilizando biogás com concentração de metano maior que 55% ou gás natural (ER-BR,

2018). As informações de consumo de combustível e produção de bioeletricidade nesse sistema estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Consumo de combustível e produção de energia elétrica pelo grupo gerador.

Geração Contínua (24 h)	Consumo (Nm³ h⁻¹)	
	Biogás com 60% de metano	Biometano/Gás Natural
87 kW	56	30

Fonte: ER-BR (2018).

3.4 Levantamento da produção real de biogás

Dados obtidos do BiogasMap (CIBIOGÁS, 2018) foram utilizados como dados representativos da produção real de biogás e além disso servem como base para a compreensão da situação atual de geração de biogás no estado de Santa Catarina.

O BiogasMap é uma ferramenta que está disponível no site do CIBiogás e que possibilita a visualização de unidades produtoras de biogás e que o utilizam para fins energéticos. A ferramenta foi desenvolvida pelo CIBiogás em parceria com o Centro Internacional de Hidroinformática e com o apoio do PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil).

Nas opções de busca da ferramenta, é possível adicionar filtros por situação do projeto: operando, construindo ou reformando, o setor em que ele é utilizado: agropecuária, aterros sanitários, codigestão, indústria ou tratamento de esgoto, a aplicação do biogás produzido: energia térmica, elétrica, mecânica ou GNV/Biometano, o porte: pequeno, médio ou grande, o substrato utilizado para a biodigestão, além da tecnologia utilizada, localização do projeto e ano de início da operação.

Dentre as informações disponíveis no site do CIBiogás, existem três casos específicos que utilizam dejetos suínos como matéria-prima e que possuem informações mais detalhadas como: número de animais, efluente produzido, biogás produzido e produção de bioeletricidade. A grande maioria dos outros projetos apresentados na ferramenta apresenta apenas uma estimativa da produção de biogás, realizada de acordo com a metodologia apresentada na seção 2.3.4.

Uma dessas três unidades é a Granja São Pedro Colombari, localizada em São Miguel do Iguaçu/PR, criadora de suínos no período de terminação. A segunda unidade selecionada pela ferramenta BiogasMap é a Unidade Produtora de Leitões de Serranópolis, localizada na cidade de Serranópolis do Iguaçu/PR, que abriga matrizes para reprodução. Atuando da mesma forma, a terceira unidade apresentada é a Unidade Produtora de Leitões de Itaipulândia/PR.

Na Tabela 14 foram apresentados os dados referentes ao número de animais, quantidade de efluente produzido, biogás produzido e produção de bioeletricidade, além da forma de utilização da energia produzida.

Tabela 14 – Dados das propriedades expostas na ferramenta BiogasMap.

Unidade	Animais	Dejetos Produzidos (m³)	Biogás produzido (m³)	Energia elétrica Produzida (kWh dia⁻¹)	Utilização
Granja São Pedro Colombari	5000	45	750	1000	Energia elétrica
Unidade Produtora de Leitões Serranópolis	5892	140	1000	1400	Energia elétrica
Unidade Produtora de Leitões de Itaipulândia	6150	140	1400	1800	Energia elétrica e energia térmica

Fonte: CIBIOGÁS (2018).

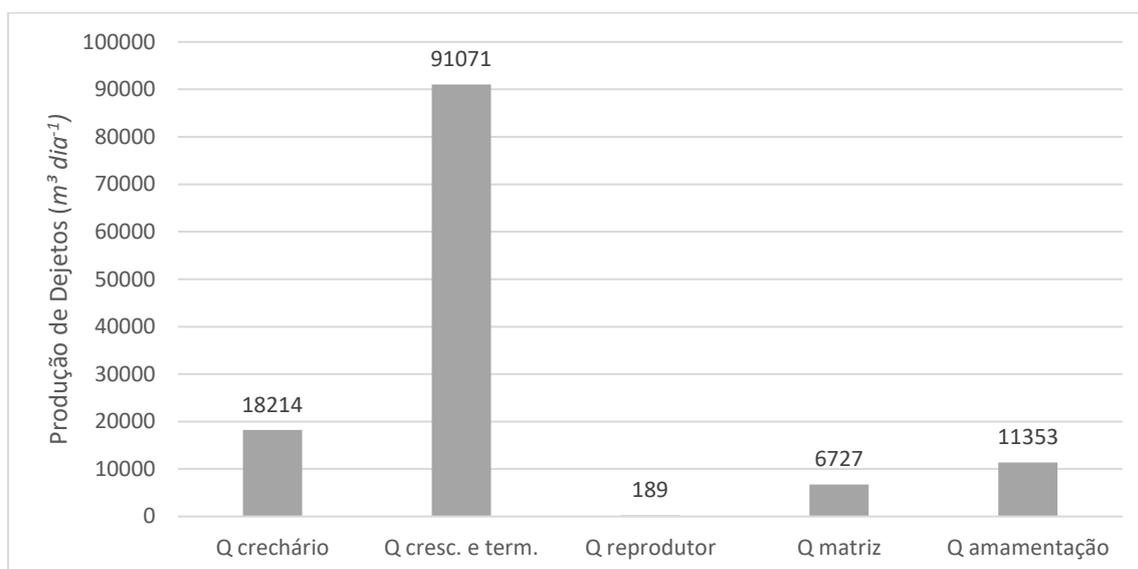
Os dados obtidos na ferramenta BiogasMap mostram uma perspectiva geral da geração atual de biogás e de energia elétrica, no estado de Santa Catarina. Além disso, as propriedades que possuem valores reais de produção de biogás validam as estimativas das outras propriedades.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção teórica de biogás

A partir da Equação 6, proposta por Kunz (2006), e dos dados expostos na seção 3.2, foi calculada a quantidade de dejetos produzidos por dia pelos suínos em Santa Catarina, os valores encontrados pela Equação 6 estão expostos na Figura 5.

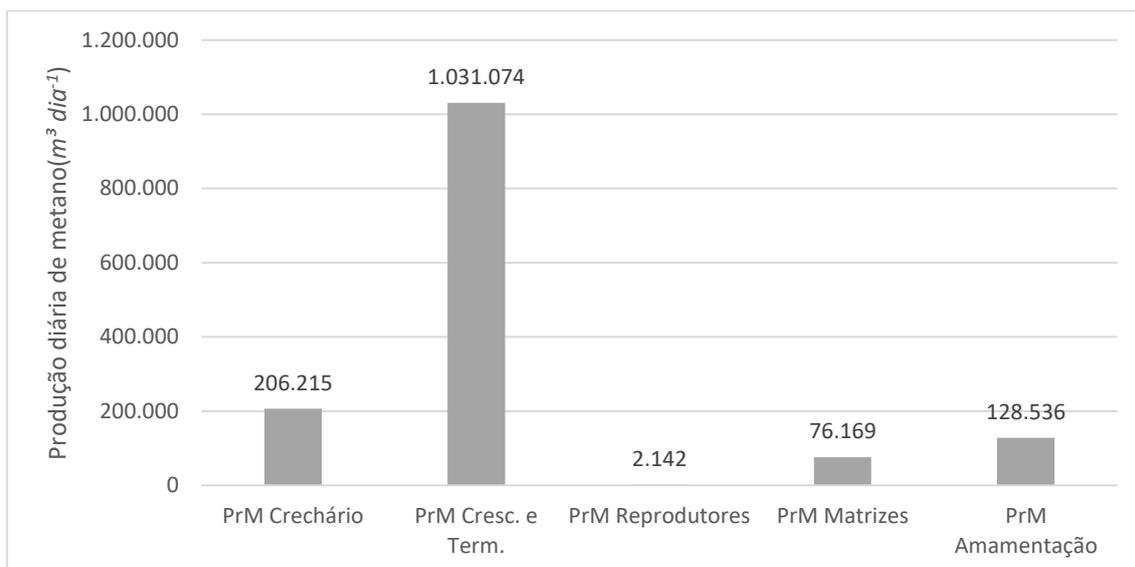
Figura 5 - Produção de dejetos (Q , em $m^3 \text{ dia}^{-1}$), por fase da vida do animal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda equação da metodologia de Kunz (2006) utiliza os valores de SV e B_0 , que foram ajustados por Mito e colaboradores (2018) e apresentados na seção 2.3.4. A Equação 5 foi utilizada para o cálculo da produção diária de metano. Os valores de Q expostos na Figura 5 foram utilizados e, como resultado, obteve-se a produção de metano em $m^3 \text{ dia}^{-1}$, por fase da vida dos animais. Os valores foram apresentados na Figura 6.

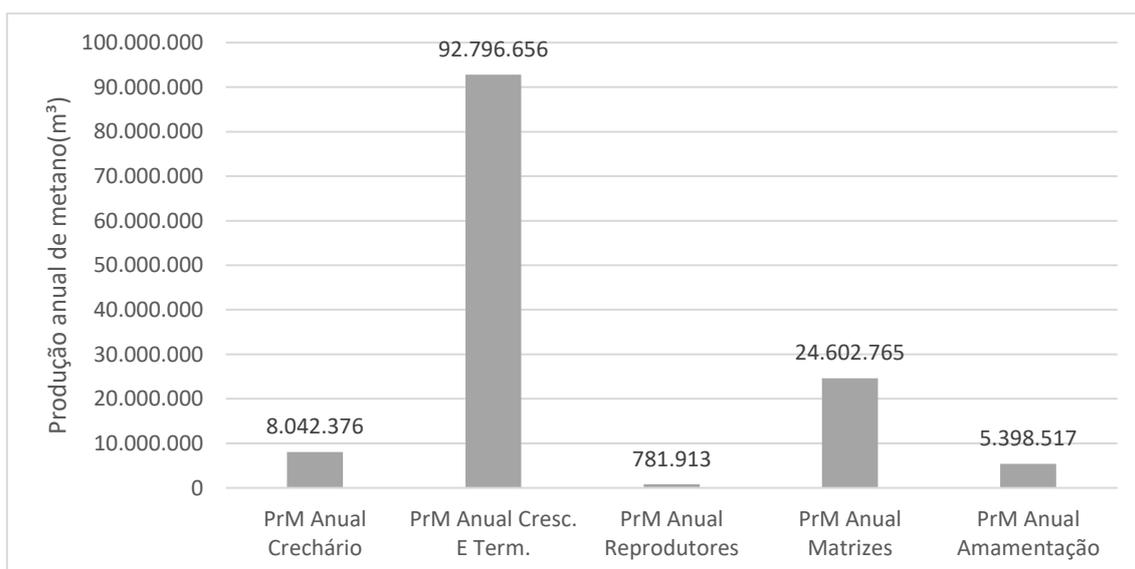
Figura 6 - Produção diária de metano em $m^3 \text{ dia}^{-1}$, por fase da vida dos animais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cálculo da produção anual de metano a partir dos dejetos produzidos, os valores apresentados na Figura 6 foram multiplicados pela quantidade de dias em que os animais passam em cada fase da vida durante o ano, expostos na Figura 4. Os resultados da multiplicação estão contidos na Figura 7.

Figura 7 - Produção de metano durante o ano de 2018 em m^3 , por fase da vida dos animais.

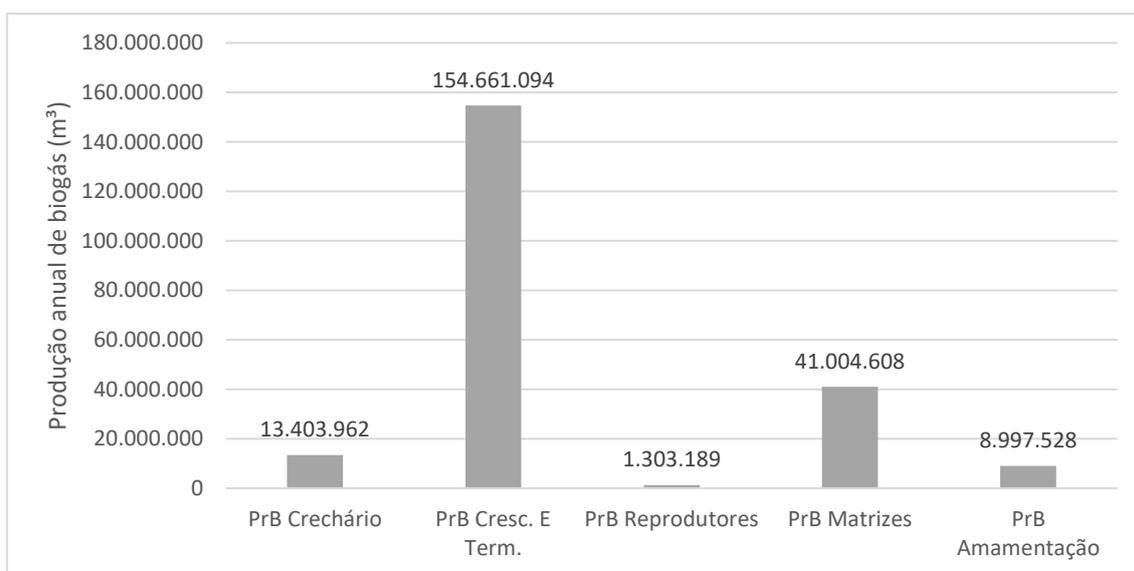


Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizando a soma de toda a produção anual de metano nas diversas fases de vida dos animais, e sabendo que o percentual de metano contido no biogás é de

aproximadamente 60%, como exposto na seção 3.2 desse trabalho, obteve-se o valor de 219.370.381 m³ de biogás produzidos durante um ano (PrB). Esse valor é obtido pela soma dos valores discriminados por etapas da vida dos animais, que estão contidos na Figura 8.

Figura 8 - Produção total de biogás no ano de 2018, em m³, por fase da vida dos animais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Produção teórica de energia elétrica

Para calcular a energia teórica produzida com a utilização do biogás produzido como combustível, foi usada a Equação 12 que, além de utilizar o valor total de biogás produzido (*PrB*), utiliza o consumo de combustível pelo grupo gerador (*C*) e o tempo em que o gerador funciona durante o ano (*t*).

Ao utilizar a Equação 12 e considerar o valor de *t* como o total de horas de um ano (8.760) e o consumo de biogás da Tabela 14, o valor total de energia elétrica produzida foi calculado.

$$E = \frac{PrB}{8.760 \cdot 4 \cdot C} \cdot 87 \cdot 4 \cdot t = \frac{219.370.381}{8.760 \cdot 56} \cdot 87 \cdot 8.760 = 340.807.556 \text{ kWh}$$

$$= 340,8 \text{ GWh} \quad (12)$$

Essa produção é equivalente à 6% do consumo residencial do estado de Santa Catarina no ano de 2018, reportada no Balanço Energético Nacional de 2019, ano base 2018 (EPE, 2019).

Em comparação com a geração de energia a partir de outras fontes, o valor de energia produzida seria maior que o produzido em 2018 por fontes eólicas (191 GWh), 9 vezes maior que a geração solar (38 GWh), quase 6 vezes maior que a geração a partir da queima de bagaço de cana-de-açúcar (61 kWh) e quase 60% da geração de energia a partir da queima de lenha (586 GWh), sendo esses valores igualmente reportados no Balanço Energético Nacional de 2019, ano base 2018 (EPE, 2019), no entanto, deve ser levado em consideração o fato de que essas fontes de geração também ainda não tem todo o seu potencial utilizado.

A produção de energia elétrica, além de contribuir em números absolutos com a produção de energia no estado e no país, também auxilia nas condições financeiras dos produtores, ao diminuir os custos com a compra de energia elétrica, as margens de lucro aumentam e possibilitam assim uma prosperidade maior aos produtores. No entanto, as tecnologias de biodigestão, purificação e de conversão do biogás em bioeletricidade ainda precisam atingir maturidade e competitividade. A maior exigência da legislação ambiental para o tratamento de dejetos da suinocultura pode ser vetor indutor para o desenvolvimento dessas tecnologias e, conseqüentemente, da difusão da geração distribuída a biogás.

4.3 Produção real de biogás e situação atual da geração distribuída em Santa Catarina

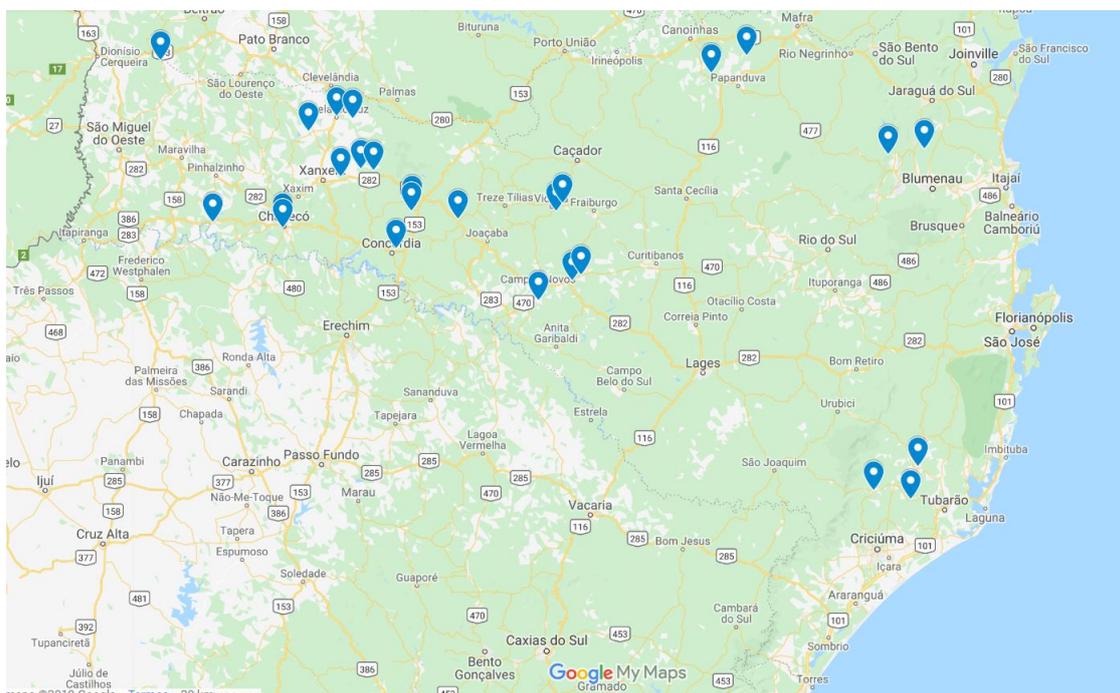
Ao realizar o levantamento das propriedades geradoras de biogás e energia no estado de Santa Catarina que estão cadastradas na ferramenta BiogasMap, filtrando os resultados para propriedades em operação, setor agropecuário, todas as aplicações do biogás (empreendimentos de pequeno, médio e grande portes) e que utilizam substrato da suinocultura para a produção, foram apresentadas 25 propriedades, com os dados expostos na Tabela 15 e sua localização mostrada na Figura 9.

Tabela 15 – Unidades produtoras de energia com a utilização de biogás no estado de Santa Catarina cadastradas no BiogasMap.

Produção diária de Biogás (m³)	Porte	Tipo de Energia	Localização
643	Pequeno	Elétrica	Abelardo Luz
514	Pequeno	Elétrica	Abelardo Luz
50	Pequeno	Elétrica	Braço do Norte
240	Pequeno	Elétrica	Pedras Grandes
2000	Pequeno	Elétrica e Térmica	Campos Novos
2000	Pequeno	Elétrica e Térmica	Campos Novos
2000	Pequeno	Elétrica e Térmica	Campos Novos
210	Pequeno	Térmica e Mecânica	Catanduvás
514	Pequeno	Elétrica	Chapecó
724	Pequeno	Elétrica	Chapecó
25	Pequeno	GNV	Concórdia
8208	Médio	Térmica e Mecânica	Faxinal dos Guedes
1911	Pequeno	Térmica e Mecânica	Faxinal dos Guedes
226	Pequeno	Elétrica	Ipuação
2524	Médio	Térmica	Irani
2573	Médio	Térmica	Irani
431	Pequeno	Elétrica	Lauro Muller
1400	Pequeno	Elétrica e Térmica	Palma Sola
1495	Pequeno	Elétrica	Papanduva
840	Pequeno	Elétrica	Pomerode
429	Pequeno	Elétrica	Pomerode
194	Pequeno	Elétrica	São Carlos
1225	Pequeno	Elétrica e Térmica	Vargeão
2000	Pequeno	Elétrica	Videira
2000	Pequeno	Elétrica	Videira

Fonte: Adaptado de BiogasMap (2019).

Figura 9 – Mapa das unidades produtoras de energia utilizando biogás no estado de Santa Catarina cadastradas no BiogasMap.



Fonte: Adaptado de BiogasMap (2019).

Dentre as unidades produtoras de biogás no estado, se destaca uma propriedade localizada em Faxinal dos Guedes, a qual tem a maior produção diária, com 8.208 m³ de biogás. Pertencente à empresa BRF, possui área de aproximadamente 1350 hectares, equivalente à quatro vezes a área da parte urbana da cidade de Faxinal dos Guedes/SC, como pode ser vista na Figura 10.

Figura 10 – Comparativo entre a propriedade produtora de biogás e a área urbana da cidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao realizar a comparação entre a lista de propriedades que geram biogás e o utilizam de alguma maneira para produção de energia com a lista de propriedades consumidoras que possuem geração distribuída, classificadas como UTE (Usina Termo Elétrica) e mostradas em listagem no site da ANEEL, pode-se verificar algumas diferenças. O BiogasMap não é uma ferramenta oficial, dessa forma, necessita que os próprios usuários solicitem o cadastro da sua propriedade.

A lista de propriedades do site da ANEEL apresenta menor número de propriedades, esse número é explicado devido à não conexão de determinadas propriedades na linha de distribuição ou a utilização do biogás apenas para produção de energia térmica e mecânica. Os dados específicos dessas unidades estão na Tabela 16, assim como suas localizações, na Figura 11.

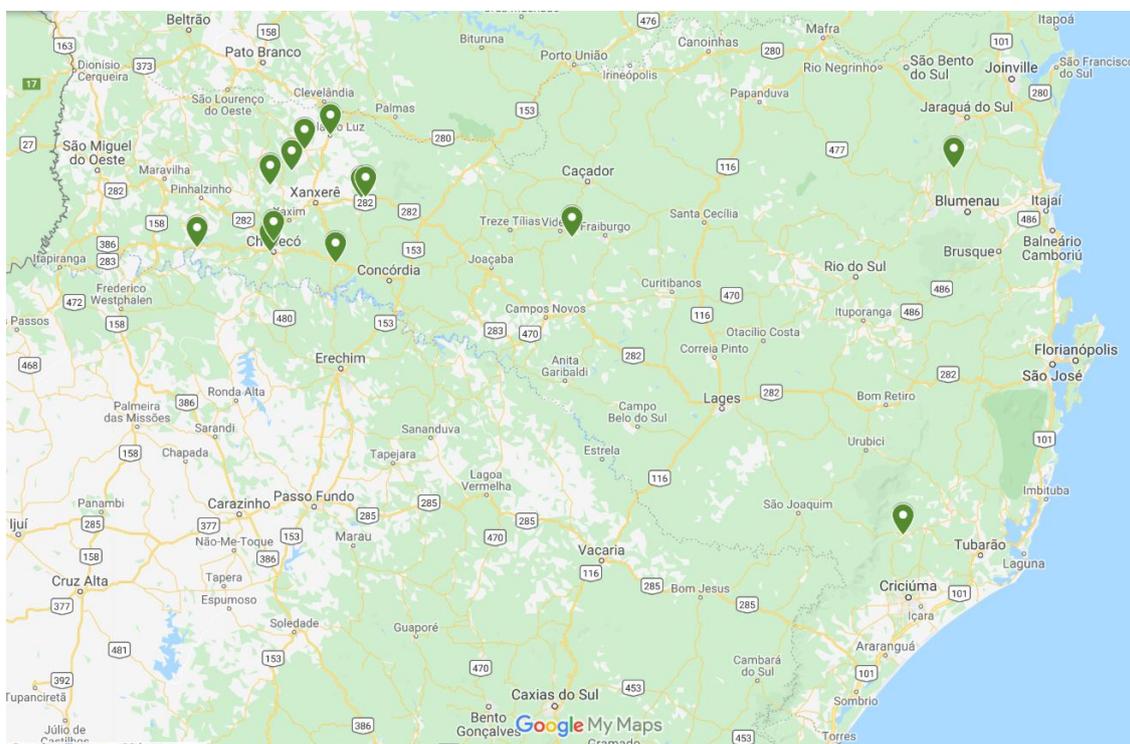
Tabela 16 – Unidades produtoras de energia elétrica utilizando biogás no estado de Santa Catarina cadastradas na ANEEL.

Localização	Potência Instalada (unidade)	Grupo Tarifário	Número de Unidades Consumidoras
Abelardo Luz	112,48	A4	8
Chapecó	90	A4	1

Chapecó	60	A4	1
Entre Rios	62,4	B3	3
Ipuaçú	39,6	B2- Rural	2
Lauro Muller	75,44	B2- Rural	2
Marema	75	B2- Rural	1
Pomerode	75	A4	1
São Carlos	34	B2- Rural	4
Seara	75	B2- Rural	1
Vargêão	75	B2- Rural	31
Vargêão	536	A4	231
Videira	400	A4	1
Xanxerê	75	B2- Rural	1
Xanxerê	75	B2- Rural	3

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2019).

Figura 11 – Mapa das unidades produtoras de energia elétrica no estado de Santa Catarina utilizando biogás cadastradas na ANEEL.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 16 mostra que a maior parte das unidades geradoras de energia está localizada em áreas rurais, de modo geral, as linhas de distribuição das áreas rurais, por estarem na ponta da rede, apresentam parâmetros diferentes das áreas mais próximas dos geradores.

Os sistemas de distribuição são geralmente controlados por meio de interruptores/comutadores em subestações de transformação e reguladores de tensão. Essa forma de regulação da tensão assume que os fluxos de energia vão das subestações para os consumidores, em apenas um sentido. O fato da introdução de geração distribuída criar fluxos de potência inversos faz com que surjam incompatibilidades com as atuais práticas de regulação utilizadas. O controle da regulação de tensão é geralmente baseado em fluxos de energia, portanto, um posicionamento inadequado da unidade de geração distribuída pode induzir grandes flutuações da tensão na rede (subtensões ou sobretensões), causando enormes variações no perfil de tensão (AL ABRI *et al.*, 2013).

Por outro lado, sabendo que em uma rede elétrica típica, com geração centralizada, a tensão é mais elevada próxima do gerador e mais baixa nas pontas da rede, se adicionadas fontes geradoras distribuídas em localizações adequadas, a queda de tensão da linha diminuirá, pois parte das cargas serão supridas localmente. Sendo assim, fontes de geração distribuída podem ser considerados reguladores de tensão, tal como ressaltados por Carvalho (2012).

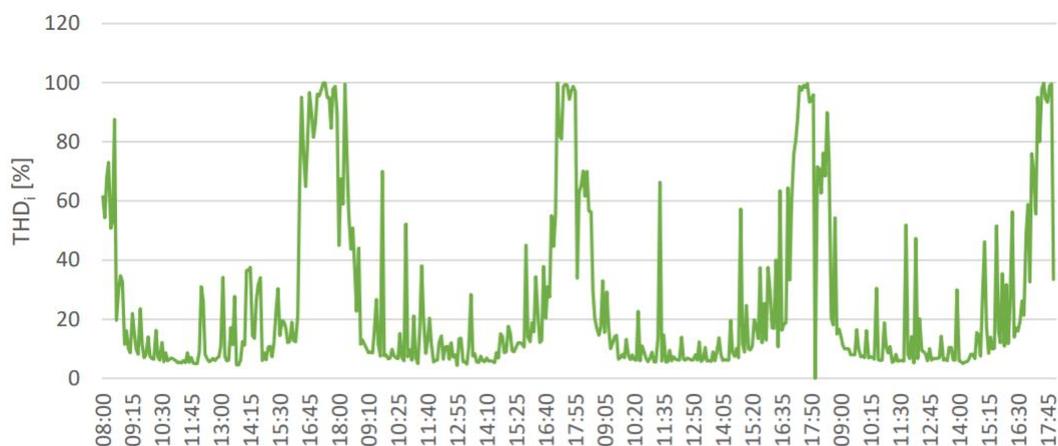
Em casos onde a geração distribuída supre uma boa parte das cargas da linha, a desconexão súbita dessa fonte faz com que toda a corrente seja fornecida pela geração central. Caso a regulação de tensão da linha tenha sido projetada considerando a geração distribuída, pode levar alguns minutos para detectar a situação e atuar para resolvê-la, resultando numa tensão fora da faixa ideal de fornecimento (DUGAN *et al.*, 2003).

De maneira oposta, quando a tensão da rede sair da faixa de operação nominal, o sistema de geração distribuída deve interromper o fornecimento de energia à rede. Também deve haver o desligamento caso haja variação de tensão devido a um evento anormal. Esse desligamento está relacionado com o tempo entre a ocorrência do evento anormal de tensão e a atuação do sistema de geração distribuída, o qual deve interromper o fornecimento de energia para a rede (CELESC, 2017).

A Figura 12 apresenta um gráfico de harmônicas causadas por um sistema fotovoltaico, pode-se observar que em horários onde não existe a produção de energia (início e fim do dia e períodos nublados), a quantidade de harmônicas inseridas na rede é muito maior do que quando o gerador está gerando energia com potência perto da nominal

dados que o inversor está operando em baixa potência no início do funcionamento ou no final do dia.

Figura 12 - THD em função do tempo em sistema fotovoltaico.



Fonte: Beliski (2017).

Esse problema não ocorre em geradores à biogás pois o abastecimento frequente e a atuação contínua do gerador, além das especificações do mesmo, possibilita a operação sem inserção de harmônicas na rede.

Também devem ser levados em consideração os custos evitados com a transmissão e distribuição de energia elétrica, pois com a geração distribuída, diminuem as perdas por efeito Joule (a corrente que circula nos cabos é menor) e são adiados os investimentos em melhoria nas redes de transmissão e distribuição, pois parte das cargas serão alimentadas localmente.

5 CONCLUSÃO

Do estudo realizado, é possível concluir que a geração distribuída de energia elétrica a partir de resíduos da suinocultura industrial no estado de Santa Catarina pode ser de grande importância para a matriz energética do estado e brasileira. Sabendo que o setor agropecuário, especificamente a suinocultura, tem grande importância na economia do estado, a eficiência da sua operação pode ser considerada um fator crítico para o futuro de diversas famílias que dependem da atividade atualmente. Adicionalmente, tem-se a

oportunidade de implementar centrais de geração distribuída a biogás que operem de forma a melhor explorar os benefícios da geração distribuída.

Estudos mais aprofundados são necessários para aumentar a precisão dos resultados obtidos nesse trabalho, a realização de pesquisas focadas em regiões menores do estado, possibilitando assim a utilização de metodologias mais específicas permitiriam a obtenção de dados mais relevantes para um planejamento energético em Santa Catarina. Há que se considerar ainda que além dos dejetos suínos, há diversas outras biomassas disponíveis para biodigestão, tais como dejetos de outros rebanhos animais (aves, bovinos de leite e de corte, fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, etc).

Além disso, a identificação de atores público-privados e a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica devem continuar a ser realizados, buscando assim melhores informações sobre os métodos de produção do biogás e da energia elétrica, do custo da implantação dos biodigestores, dos sistemas de geração de energia elétrica, dos modelos de negócio que consideram diferentes arranjos produtivos, envolvendo cooperativas ou condomínios de agroenergia, por exemplo. Em paralelo, estudos relacionados à diminuição na emissão de metano, importante gás de efeito estufa, na atmosfera devem ser levados em conta na implementação das unidades geradoras.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Geração Distribuída, 15 de Agosto de 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 22 de novembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Distribuidora.asp>. Acesso em: 16 de dezembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição - Revisão 7, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Unidades Consumidoras com geração distribuída com Tipo de Geração: UTE. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=2>. Acesso em: 22 de novembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Geração distribuída ultrapassa 20 mil conexões: Classe residencial com 16,2 mil ligações lidera o número de consumidores-geradores, 2018. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa_exibicao//asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/656877>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

AL ABRI, R.S.; EL-SAADANY, E.F.; ATWA, Y.M. “Optimal Placement and Sizing Method to Improve the Voltage Stability Margin in a Distribution System Using Distributed Generation”. IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 28, 2013.

ALVES, S. M.; MELO, C.F.M.; WISNIEWISKI, A. Biogás: uma alternativa de energia no meio rural. In Miscelânea 4., 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório Anual 2018. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em: 27 de novembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS. Mapeamento da suinocultura brasileira, 2016.

AVELLAR, L.H.N.A. Valorização dos Subprodutos Agroindustriais Visando a Cogeração e a Redução da Poluição Ambiental. Tese de Doutorado, UNESP, Guaratinguetá, 2001.

BELISKI, L.M. Análise da qualidade de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em unidades prosumidoras residenciais. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

BORTOLOZZO, F.e WENTZ, I. Intervalo desmame-estro e anestro pós-lactacional em suínos. Porto Alegre: Editora Pallotti, 80 p., 2004.

CANOVA, A.; GIACCONE, L.; SPERTINO, F.; TARTAGLIA, M. Electrical impact of photovoltaic plant in distributed network. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 45, n. 1, p. 341-347, January 2009.

CARVALHO, R.M. Reguladores de Tensão e Geração Distribuída em uma implementação de fluxo de potência a três e a quatro fios. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2012.

CENSO AGROPECUÁRIO 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, v. 45, p. 9, 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. Requisitos para a conexão de micro ou mini geradores de energia ao sistema elétrico da Celesc distribuição. Florianópolis: Celesc, 2017. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/conexao-de-centrais-geradoras>>. Acesso em: 22 novembro de 2019.

CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA DA EPAGRI. Números da agropecuária catarinense. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri, 2019.

CIBIOGÁS. BiogasMap. Disponível em: <<https://cibiogas.org/biogasmap>>, 2018.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; WAYNE, B.H. Electrical power systems quality. New York: McGraw-Hill, 2003.

EMBRAPA, 1980. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59482/1/Miscelanea-4.pdf>>. Acesso em: 22 novembro de 2019.

EMBRAPA. Pesquisa comprova eficiência econômica de biogás na pecuária de leite. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/41719708/pesquisa-comprova-eficiencia-economica-de-biogas-na-pecuaria-de-leite>>. Acesso em: 17/10/2019.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2016-2017. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri, v. 136, n. 1, p. 203, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE Balanço Energético Nacional (BEN) 2019: Ano base 2018, 2019. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em 22 de novembro de 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Projeção da demanda de energia elétrica. Empresa de Pesquisa Energética, p. 95, 2017.

ER-BR - ENERGIAS RENOVÁVEIS. Grupos Geradores a Gás Biogás - Gás Natural - Syngas - GLP. ER-BR - Energias Renováveis Ltda., p. 2, 2018.

FÁVERO, J. A.; IRGANG, R. O reprodutor suíno macho. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EPAGRI, p. 2–3, 1997.

FERREIRA, D.D. Análise de distúrbios elétricos em sistemas de potência. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

GARCIA-ARRIAGA, V.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; AMAYA, M.; SOSA, E. H₂S and O₂ influence on the corrosion of carbon steel immersed in a solution containing 3M diethanolamine. *Corrosion Science*, v. 52, p. 2268–2279, 2010

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

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Emissions from livestock and manure management. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, v. 4, c. 10. 2006.

JUNIOR, C. B. Biogas - A Energia invisível, 2015.

KATIRAEI, F.; AGUERO, J.R. Solar pv integration challenges. *IEEE Power and Energy Magazine*, v.9, n. 3, p. 62-71, May 2011.

KOTHARI, R. et al. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 174–195, 2014.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 41-68. DOI: https://dx.doi.org/10.21452/978-85-93823-01-5.2019.01_3

MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília. p. 44, 2016.

MATOS, D.M.B.; CATALÃO, J.P.S. Geração Distribuída e os seus Impactes no Funcionamento da Rede Elétrica: Parte I. 2013.

MITO, JY DE L., ET AL. Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. p. 56, 2018.

MOREIRA, N. J. H. Resolução normativa no 482, de 17 de abril de 2012. Agência nacional de energia elétrica – aneel resolução, p. 12, 2012.

OLIVEIRA, P. A. V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos, 1993.

OLIVEIRA, P. A. V. Programas eficientes de controle de dejetos na suinocultura. Congresso latino americano de suinocultura; Congresso de suinocultura do mercosul; Congresso da alvec. Foz do Iguaçu, PR. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Embrapa suínos e aves, p. 42, 2006.

PRATI, L. Geração De Energia Elétrica a Partir Do Biogás Gerado Por Biodigestores. Monografia Para Conclusão De Curso De Graduação , Universidade Federal Do Paraná, p. 1–83, 2010.

ROJA, V.; SUJATA, M.S.; A review of Optimal DG Allocation in Distribution System for Loss Minimization. 2016.

SÁNCHEZ, E. *et al.* Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. *Bioresource Technology*, v. 96, n. 3, p. 335–344, 2005.

SCHULTZ, G. Boas Práticas ambientais na Suinocultura. SEBRAE/RS, p. 23, 2007.

SGANZERLA, E. Biodigestores: uma solução. Porto Alegre - Agropecuária, 1983.

SHAH, S.K.; HELLANY, A.; NAGRIAL, M.; RIZK, J. Review of power quality monitoring web-based techniques. Power Engineer Conference (AUPEC), Australasian Universities. 2015.

SILVA, N. P.; FRANCISCO, A. C. Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos: um estudo de caso em uma propriedade rural na região oeste do estado do Paraná, *Nucleus, Ituverava (SP)*, v.7, n.2, p 65-82, 2010.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA - SIDRA. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais – 2º trimestre 2018, Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadct/brasil>>, 2018.

SOUZA, J. C. P. V. B. *et al.* Sistema de Produção de Leitões baseado em Planejamento, Gestão e Padrões Operacionais. Embrapa Suínos e Aves, p. 1–118, 2013.

TEIXEIRA, E. N. Adaptação de Estruturas Existentes (Esterqueiras) Em Biodigestores.

Tese de Mestrado. UNICAMP, Campinas, 1985.

TONKOSKI, R.; LOPES, L.A.C.; EL-FOULY, T.H.M. Coordinated active power curtailment of grid connected pv inverters for overvoltage prevention. IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2011.

ZACH, K. A.; AUER, H. Bulk energy storage versus transmission grid investments: Bringing flexibility into future electricity systems with high penetration of variable renewable electricity. 9th International Conference on the European Energy Market. 2012.