



**INSTITUTO LATINO AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS  
AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS, APLICADAS A UM  
ESTUDO DE CASO**

**JULIO CEZAR ALVES JUNIOR**

Foz do Iguaçu  
2019



**INSTITUTO LATINO AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS  
AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS, APLICADAS A UM  
ESTUDO DE CASO**

**JULIO CEZAR ALVES JUNIOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Andreia Cristina Furtado

Foz do Iguaçu  
2019

**JULIO CEZAR ALVES JUNIOR**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS  
AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS, APLICADAS A UM  
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Andreia Cristina Furtado  
UNILA

---

Prof. Dr. Gláucio Roloff  
UNILA

---

Jessica Yuki de Lima Mito  
CIBIOGÁS

Foz do Iguaçu, 18 de julho de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Neste espaço gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus pais Alicia Bodencer e Julio Cezar Alves por todo amor, apoio e incentivo que me repassaram durante a minha longa trajetória acadêmica e durante a vida bem como meus demais familiares.

Agradeço também minha orientadora prof.<sup>a</sup> Dra. Andreia Cristina Furtado pelas contribuições e orientações realizadas neste trabalho.

Estendo os meus agradecimentos ao meu companheiro Adriano Cavalcante da Silva, por todo seu apoio, compreensão e ensinamentos que me passou em diversos momentos neste período, momentos estes que eu sou totalmente grato em tê-lo como meu braço direito e assim desejo para o futuro.

Agradeço ao meu colega Reginaldo Vicente, colaborador da instituição objeto de estudo no presente trabalho, por ter dado a oportunidade e o suporte no desenvolvimento desta ação.

Aos meus amigos e colegas que cultivei durante a graduação e que espero levá-los para toda vida.

A CIBiogás, pela oportunidade da realização do estágio obrigatório e pelos conhecimentos adquiridos neste período.

Por fim, agradeço a todo o corpo administrativo e docente da UNILA em especial do curso de Engenharia de Energia, e todas as pessoas que de alguma forma colaboram com a minha formação.

ALVES JUNIOR, J. C. **Estimativa da produção de biogás a partir de dejetos suínos: Avaliação e comparação entre metodologias, aplicadas a um estudo de caso.** 2019. 36 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia de Energia – Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

## RESUMO

A busca por uma matriz energética mais sustentável com a utilização de uma menor quantidade de combustíveis fósseis é centro de pesquisa e estudos nos dias atuais. Nesse contexto, o biogás é uma ótima fonte energética, visto que é um biocombustível totalmente renovável oriundo da degradação de matéria orgânica por agentes microbiológicos. No presente estudo é avaliado e estimado a produção de biogás em uma instituição de ensino pública, com atividades voltadas para a prática e manejo na agropecuária. Atualmente a instituição possui diversas cabeças de suínos, bovinos, equinos e aves, porém a delimitação do trabalho será acerca da produção de biogás a partir dos dejetos de suínos. A estimativa de produção foi calculada a partir de três metodologias disponíveis na literatura (CIBiogás, EMBRAPA e uma adaptação da CETESB), além da estimativa futura com a criação de três cenários. No intuito de trazer dados mais fidedignos ao estudo de caso, foi avaliado também parâmetros físico-químicos dos dejetos como sólidos totais, sólidos voláteis e pH e replicados nas metodologias apresentadas. Ao final foi estimado o volume do biodigestor necessário para atender as demandas calculadas e o consumo do biogás como fonte térmica para a instituição como substituto do gás de cozinha (GLP).

**Palavras chaves:** Biodigestão; Biogás; Biomassa; Energias renováveis; Suinocultura.

ALVES JUNIOR, J. C. **Estimación de la producción de biogás a partir de estiércol de cerdo:** Evaluación y comparación entre metodologías aplicadas a un estudio de caso. 2019. 36 páginas. Tesis de finalización del curso Ingeniería de Energías - Universidad Federal de Integración Latinoamericana, Foz do Iguaçu, 2019.

## RESUMEN

La búsqueda de una matriz energética más sustentable con el uso de una menor cantidad de combustibles fósiles es un centro de investigación y estudios en la actualidad. En este contexto, el biogás es una excelente fuente de energía, ya que es un biocombustible completamente renovable proveniente de la degradación de la materia orgánica por los agentes microbiológicos. En el presente estudio, se evalúa y estima la producción de biogás en una institución de educación pública, con actividades centradas en la práctica y la gestión en la agricultura. Actualmente, la institución cuenta con varias cabezas de cerdos, vacas, caballos y aves, sin embargo la delimitación del trabajo será sobre la producción de biogás a partir de estiércol. La estimación de producción se calculó a partir de tres metodologías disponibles en la literatura (CIBiogás, EMBRAPA y una adaptación de CETESB), además de la estimación futura con la creación de tres escenarios. Con la finalidad de aportar datos más fidedignos al estudio de caso, fueron evaluados también los parámetros fisicoquímicos de los desechos como sólidos totales, sólidos volátiles y pH también se evaluaron y replicaron en las metodologías presentadas. Al final, se estimó el volumen del biodigestor necesario para satisfacer las demandas de cálculo y el consumo de biogás como fuente térmica para la institución como sustituto del gas de cocina (GLP).

**Palabras clave:** Biodigestión; Biogás; Biomasa; Energías renovables; Porcino.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Transição da matriz energética mundial.....	1
Figura 2 – Biodigestor inoperante instalado na instituição de ensino .....	3
Figura 3 – Biodigestor modelo indiano .....	7
Figura 4 – Biodigestor modelo chinês .....	7
Figura 5 – Biodigestor modelo plug-flow (Canadense) .....	8
Figura 6 – Biodigestor modelo UASB .....	9
Figura 7 – Representação biodigestor modelo batelada .....	9
Figura 8 – Rotas da digestão anaeróbia .....	12
Figura 9 - Baía de confinamento de matrizes de reprodução .....	21
Figura 10 - Baía de confinamento de matrizes de reprodução .....	21

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 – Características do biogás.....	10
Tabela 2 – Equivalência entre biogás com demais recursos energéticos.....	11
Tabela 3 – Produção média diária de dejetos para diferentes categorias de suínos.....	18
Tabela 4– Valor de sólidos voláteis, produção e percentual de metano.....	18
Tabela 5 – Valores tabelados da metodologia da Embrapa.....	19
Tabela 6 – Número de animais por categoria para análise de cada cenário .....	23
Tabela 7– Parâmetros adotados para construção do cenário atual.....	24
Tabela 8 – Projeções para o cenário atual.....	24
Tabela 9 - Parâmetros adotados para construção do cenário II .....	24
Tabela 10 – Projeções para o cenário II.....	25
Tabela 11- Parâmetros adotados para construção do cenário III .....	25
Tabela 12 – Projeções para o cenário III .....	26
Tabela 13– Resultado da análise laboratorial dos dejetos de suínos .....	26
Tabela 14– Características dos dejetos de suínos segundo a literatura.....	27
Tabela 15 – Parâmetros e variáveis atualizadas.....	27
Tabela 16– Estimativa de produção para o cenário I.....	28
Tabela 17– Estimativa de produção para o cenário II .....	28
Tabela 18– Estimativa de produção para o cenário III .....	28
Tabela 19 – Determinação do volume do biodigestor .....	30
Tabela 20 – Máxima produção de biogás a partir da infraestrutura atual.....	31
Tabela 21– Cenários de equivalência entre biogás e GLP.....	31
Quadro 1 – Principais rotas de purificação do biogás .....	15
Quadro 2 – Resultado da análise físico-química das amostras de dejetos .....	38



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás  
AIE – Agência Internacional de Energia  
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
B<sub>0</sub> – Potencial metanogênico  
cab. – Cabeça  
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CH<sub>4</sub> - Metano  
CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
COV – Carga orgânica volumétrica  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
GLP – Gás liquefeito de petróleo  
H<sub>2</sub> - Hidrogênio  
H<sub>2</sub>S – Ácido sulfídrico  
IAP – Instituto Ambiental do Paraná  
MCF - Fator de conversão anual de metano  
MME – Ministério de Minas e Energia  
NH<sub>3</sub> - Amoníaco  
PCI – Poder calorífico inferior  
PD -Produção diária de dejetos  
PDD – Produção dia de dejetos  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PrM – Produção de metano  
PRODBIOGÁS – Produção de biogás  
PVC – Policloreto de vinila  
SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre  
ST – Sólidos Totais  
SV – Sólidos Voláteis  
TRH – Tempo de retenção hidráulica  
TRS – Tempo de retenção de sólidos  
UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

## SUMÁRIO

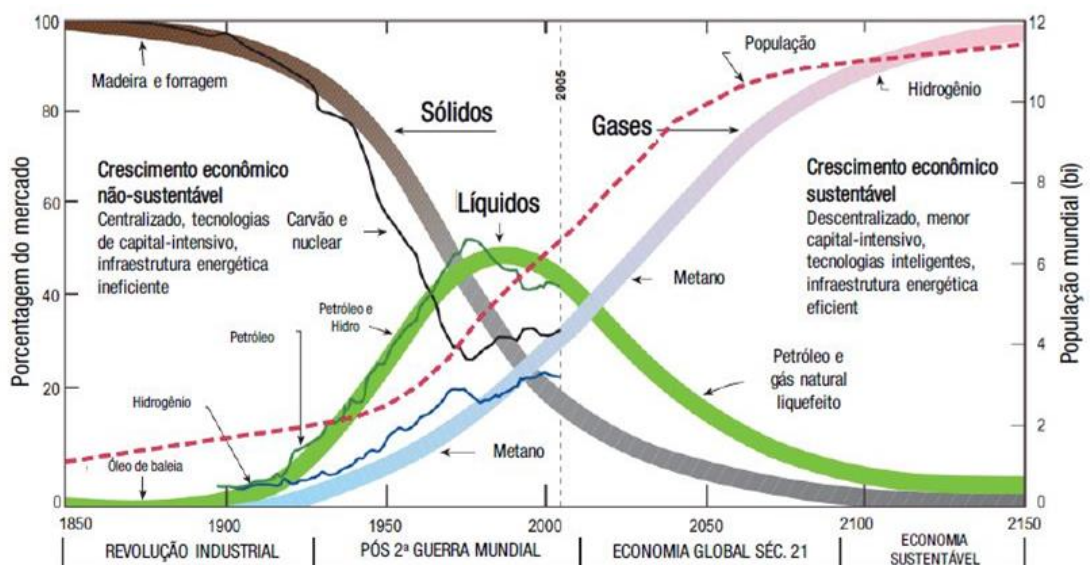
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Estudo de caso .....	2
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo Geral .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
3.1 Biomassa.....	5
3.2 Biodigestores .....	6
3.2.1 Biodigestor modelo indiano .....	6
3.2.2 Biodigestor modelo chinês .....	7
3.2.3 Biodigestor lagoa coberta ( <i>plug-flow</i> ) .....	8
3.2.4 Biodigestor tipo UASB ( <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> ).....	8
3.2.5 Biodigestor modelo batelada .....	9
3.3 Biogás .....	10
3.3.1 O processo microbiológico.....	11
3.3.2 Fatores que influenciam a produção de biogás.....	13
3.3.3 Purificação do biogás.....	14
3.4 Iniciativas e marco regulatório para o avanço do biogás.....	16
4 METODOLOGIA.....	17
4.1 Estimativa de produção de biogás desenvolvida pelo CIBIOGÁS .....	17
4.2 Estimativa de produção de biogás desenvolvida pela Embrapa .....	18
4.3 Estimativa de produção de biogás adaptada da CETESB .....	19
4.4 Determinação dos teores de sólidos totais e sólidos voláteis dos dejetos suínos .....	20
5 ANÁLISE DOS DADOS .....	23
5.1 Estimativa de produção de biogás segundo parâmetros da literatura.....	23
5.1.1 Cenário I .....	23
5.1.2 Cenário II.....	24
5.1.3 Cenário III .....	25
5.2 Estimativa de produção de biogás segundo análises laboratoriais .....	26
5.3 Cálculo do volume do biodigestor.....	29
5.3.1 Cálculo da produção de biogás a partir do atual biodigestor.....	30
5.4 Cálculo da energia térmica estimada .....	31
6 CONCLUSÕES .....	33
REFERÊNCIAS .....	35
APÊNDICE A.....	38

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é fortemente baseada em combustível fósseis, que normalmente acarretam considerável impacto ambiental. Deste modo, em virtude do crescimento em relação à demanda de energia e da previsão de escassez desses combustíveis, torna-se necessário buscar formas alternativas para a geração de energia. As energias alternativas são a saída para o problema energético mundial (MONTEIRO, 2008). Ainda segundo o autor, desde a grande crise do petróleo na década de 70, iniciou-se a caminhada por novas soluções e alternativas para diversificar a matriz energética mundial e obter um desenvolvimento sustentável.

Em sua publicação, Abiogás (2018) cita que a ciência tem estudado intensamente os gases e vem propondo o biogás e o próprio biometano como fontes renováveis de energia para atenuar os efeitos danosos produzidos pelo uso de combustíveis fósseis. Ainda, segundo a Abiogás (2018), o pesquisador inglês Robert Hefner III demonstrou como a matriz energética mundial vem evoluindo desde a predominância dos combustíveis sólidos, como por exemplo a biomassa da madeira, no período da Revolução Industrial, passando pela era atual dos combustíveis líquidos e derivados do petróleo, e já enxergando a Era dos Gases, que terá seu apogeu no mundo movido a hidrogênio ( $H_2$ ). A Figura 1, ilustra o modelo proposto por Hefner III.

Figura 1 – Transição da matriz energética mundial



Fonte: Adaptação de Hefner III, 2007.

Neste modelo de transição, Hefner III avaliou como os padrões de combustíveis variaram, e continuarão variando na matriz energética ao longo de 300 anos de história, a partir de 1850 até 2150, considerando períodos históricos importantes, como a revolução industrial, economia pós-moderna, a economia do século 21 e finalmente chegando à era da economia do hidrogênio (BLEY JR, 2015).

No estudo da tendência do uso dos gases até o seu ponto culminante com o uso do hidrogênio, uma etapa não pode ser ignorada ou negligenciada, que é a passagem pela intensa utilização do metano (CH<sub>4</sub>), que compõe o biogás (ABIOGÁS, 2018).

O biogás é uma composição de gases derivados de biomassa e/ou rejeitos agrícolas resultado de um processo de digestão anaeróbia, tendo em sua composição final o metano, gás carbônico, nitrogênio, oxigênio, gás sulfídrico e vapor de água. Nos últimos anos o interesse na produção do biogás vem ganhando destaque, principalmente entre os produtores rurais, onde a aplicação de biodigestores proporciona como resultado final a produção de biofertilizante para a propriedade e do biogás, que pode ser utilizado para geração de energia térmica, como o cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração, ou na geração de energia elétrica.

### **1.1 Estudo de caso**

A atividade da suinocultura no Brasil tem apresentado um significativo crescimento, havendo a concentração do lançamento dos resíduos em determinadas regiões, o que traz grande preocupação quanto a degradação ambiental e consequentes prejuízos à qualidade de vida (SEIXAS, 1985 apud BARICHELLO, 2010).

A busca por tecnologias que auxiliem para a redução da poluição ambiental tem sido objeto de estudo nos mais variados segmentos da agroindústria. Neste sentido, o presente trabalho busca desenvolver uma estimativa da produção de biogás, a partir de dejetos suínos, em um colégio agrícola localizado no município de Foz do Iguaçu/Paraná. A instituição de ensino da rede pública é voltada para desenvolvimento de atividades agrícolas, como o manejo do solo, de hortaliças e de animais. A atividade da suinocultura é componente curricular na formação técnica dos alunos que estudam na instituição.

Em meados de 2011, a instituição realizou a instalação de um biodigestor, modelo canadense. Todavia, devido à falta de preparo técnico e de manutenção, o sistema está inativo, e para os dias atuais, não atende a demanda correta de tratamento dos dejetos da suinocultura. A Figura 2, ilustra o estado atual do biodigestor.

Figura 2 – Biodigestor inoperante instalado na instituição de ensino



Fonte: Autor, 2019.

Com a realização deste estudo, foi possível estimar o potencial de produção do biogás e assim indicar as possíveis modificações, caso necessário, da estrutura existente para atender as necessidades energéticas que o colégio possa demandar.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o potencial de produção de biogás a partir de dejetos da suinocultura em uma planta de biodigestão, empregando métodos empíricos disponíveis na literatura e métodos laboratoriais, com a avaliação físico-química dos dejetos de suínos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para o alcance do objetivo geral faz-se necessário o cumprimento dos seguintes objetivos dados como específicos:

- ✓ Realizar uma revisão bibliográfica sobre a biomassa, os processos de biodigestão e os princípios do biogás;
- ✓ Avaliar, quantificar e qualificar os dejetos da suinocultura produzidos pela instituição;
- ✓ Estimar a produção de biogás, através dos parâmetros físicos e quantitativos dos dejetos analisados;
- ✓ Comparar a produção de biogás estimada a partir dos parâmetros físico-químicos dos dejetos, empregando equações empíricas disponíveis para a quantificação da produção do biocombustível;
- ✓ Indicar o consumo final para o biogás produzido, avaliando as necessidades da instituição;
- ✓ Indicar as perspectivas futuras para a implementação de um sistema de biodigestão para atender as necessidades avaliadas.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Biomassa

A biomassa, segundo Staiss e Pereira (2001) *apud* Fernandes (2012), pode ser definida como a massa total de matéria orgânica que se acumula num espaço vital, pertencendo a ela todas as plantas e todos os animais, incluindo seus resíduos. A biomassa tem origem em resíduos sólidos urbanos – animais, vegetais, industriais e florestais – e, voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia (LAB CORTEZ, 2008).

Ainda, segundo Lab Cortez (2008), os resíduos de animais representam uma importante quantidade de matéria-prima para a obtenção de energia pelos principais rebanhos de bovino, ovino e suíno, e os países que possuem maior possibilidade para seu aproveitamento são o Brasil e a China. A evolução da pecuária e aumento dos rendimentos na produção agrícola resultam no aumento da produção de biomassa, por estas atividades.

Por sua vez, Caillot (2017), expõe que os resíduos agrícolas e dos animais podem ser efetivamente transformados em energia em sistemas similares a uma refinaria de etanol, onde um processo integrado envolve a conversão de biomassa em combustível, energia e produtos químicos.

Dentre as tecnologias utilizadas para o aproveitamento da energia proveniente da biomassa, a digestão anaeróbia desenvolvida principalmente com o objetivo de tratar resíduos e efluentes orgânicos, vem sendo cada vez mais utilizada por permitir a recuperação de energia através do aproveitamento do biogás e nutrientes, bem como prevenir a poluição ambiental (IEA, 2005 *apud* ZANETE, 2009).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, a Agência Internacional de Energia (AIE), calcula que dentro de aproximadamente 20 anos cerca de 30% do total de energia consumida pela humanidade será proveniente de fontes renováveis, que hoje representam 14% (FERNANDES, 2012). A biomassa detém 11,4% na participação de oferta de energia proveniente de fontes renováveis.

Seabra Jr. (2017), cita em seu trabalho que o plantel de suínos no Brasil é estimado em 32 milhões de cabeças e a produção de carne em 2.872 mil toneladas por ano. A região Sul concentra cerca de 42,6% do plantel total do país. Ainda segundo o autor, a capacidade poluente dos dejetos suínos, em termos comparativos, é muito superior à de outras espécies, chegando a um equivalente populacional de um suíno equivaler a 3,5 pessoas.

Já Spolaore (2013), destaca que a utilização da biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, como o aproveitamento dos resíduos rurais, efluentes industriais e urbanos, permitindo diversificar a matriz energética nacional. Para que esse crescimento continue e melhore o uso da biomassa no Brasil, é preciso que, além do avanço tecnológico, sejam desenvolvidos modelos de gestão que garantam a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental desta fonte (LAB CORTEZ, 2008). Acrescenta-se que, ao contrário da energia dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável e não contribui para o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera terrestre (PECORA, 2006 *apud* SPOLAORE, 2013).

### **3.2 Biodigestores**

Biodigestores são câmaras fechadas onde ocorre a digestão anaeróbia, sem a presença de oxigênio ( $O_2$ ), da biomassa. Quanto aos sistemas de alimentação, os biodigestores podem ser classificados como de alimentação semicontínua, atualmente os mais usados, modelo chinês, indiano, canadense, mistura completa e os de batelada (descontínuos) (BIASI *et al.*, 2018).

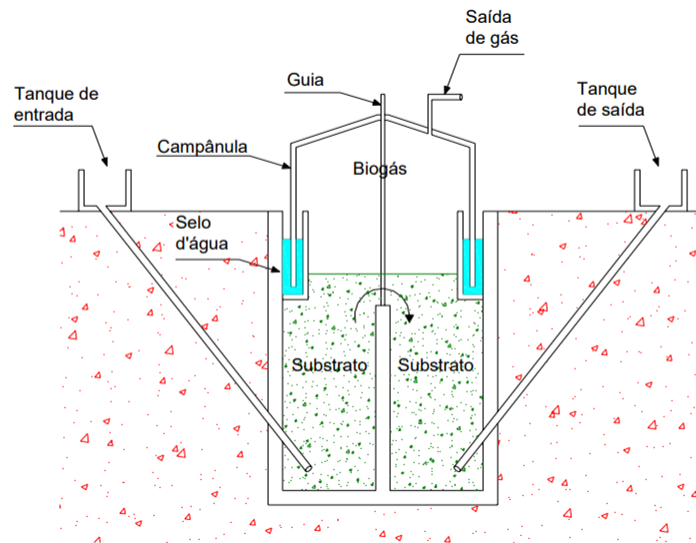
#### **3.2.1 Biodigestor modelo indiano**

O biodigestor indiano, conforme ilustra a Figura 3, segundo Spolaore (2013), é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque em duas câmaras. Conforme cita Nishimura (2009), a função das câmaras é possibilitar a circulação do material em fermentação no interior do cilindro. A porção do substrato que entra no biodigestor vai para o fundo e, com o avanço do processo, fica menos densa, até cair para outra metade da câmara.

Como sua construção é enterrada, a pouca variabilidade da temperatura do solo, favorece a atividade das bactérias, fazendo com que o estágio de fermentação nesse biodigestor seja mais rápido quando comparado ao modelo chinês. Sua operação é em pressão constante, moderada pelo gasômetro.



Figura 3 – Biodigestor modelo indiano

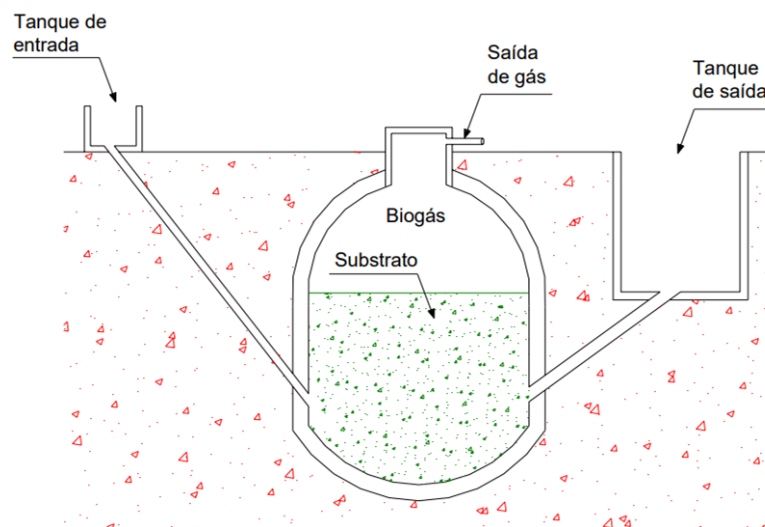


Fonte: Adaptado de Nishimura, 2009.

### 3.2.2 Biodigestor modelo chinês

Neste biodigestor, o uso do gasômetro é dispensado. É constituído por uma câmara cilíndrica em alvenaria, enterrada similar ao modelo indiano, para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona conforme o princípio de prensa hidráulica, caso o acúmulo de biogás ocasione o aumento da pressão interna, o efluente da câmara de fermentação será deslocado para a caixa de saída. A Figura 4, ilustra o modelo chinês.

Figura 4 – Biodigestor modelo chinês



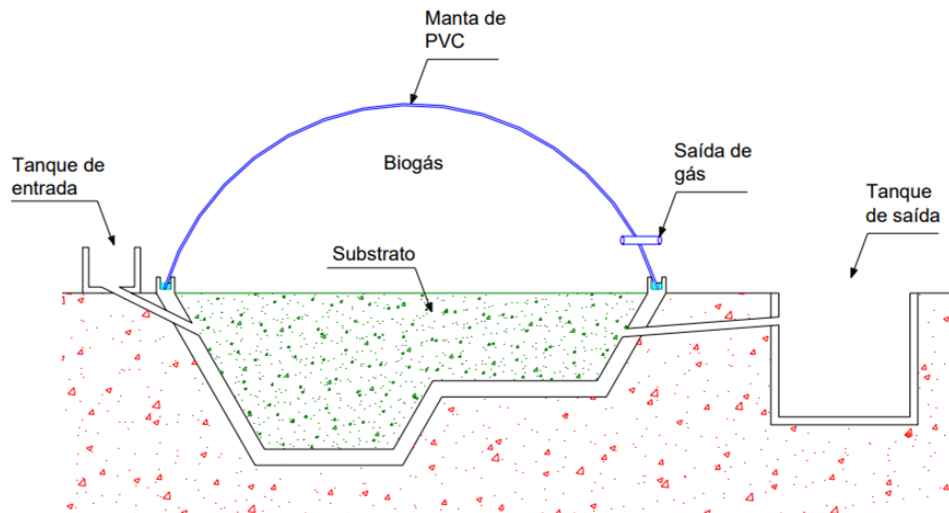
Fonte: Adaptado de Nishimura, 2009.

### 3.2.3 Biodigestor lagoa coberta (*plug-flow*)

O modelo *plug-flow* ou canadense, é constituído basicamente de uma lagoa de deposição de dejetos impermeabilizada por uma geomembrana de policloreto de vinila, PVC, (manta inferior), que protege o solo e o lençol freático, e uma cobertura de PVC (manta superior) que captura o biogás. Em seu estudo, Otto (2013), expõe que a geometria das lagoas anaeróbias de tratamento, a cobertura do biodigestor, favorece a captura do biogás produzido, conforme ilustra a *Figura 5*.

Micuanski (2014), destaca que este modelo de reator permite que as partículas se movam na mesma sequência da direção em que elas entram no reator, o material novo adicionado ao tanque desloca o material mais antigo para o extremo oposto, fluindo como um pistão e teoricamente com a mínima dispersão longitudinal, permanecendo no tanque por um tempo suficiente para as partículas serem degradadas pelos microrganismos.

Figura 5 – Biodigestor modelo *plug-flow* (Canadense)

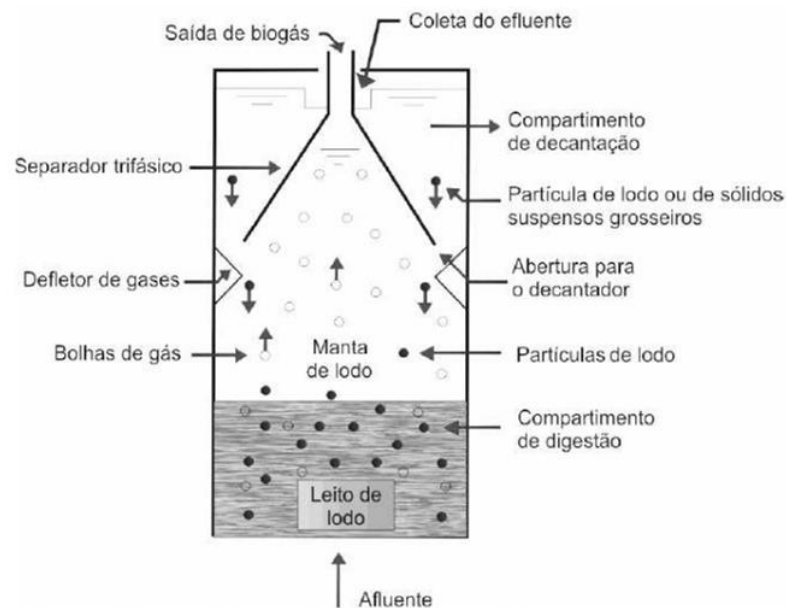


Fonte: Adaptado de Nishimura, 2009.

### 3.2.4 Biodigestor tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)

Segundo Almeida (2016), este modelo apresenta um alto desempenho na produção de biogás e tem característica de fluxo ascendente dos efluentes, porém, não toleram altas concentrações de sólidos quando alimentados, indicando uma separação sólido-líquido previamente. Já Silva (2013), cita que este modelo possui uma tecnologia mais eficiente para efluentes com teor de sólidos abaixo de 2%, além de apresentar um baixo tempo de residência. A *Figura 6*, ilustra um modelo UASB.

Figura 6 – Biodigestor modelo UASB

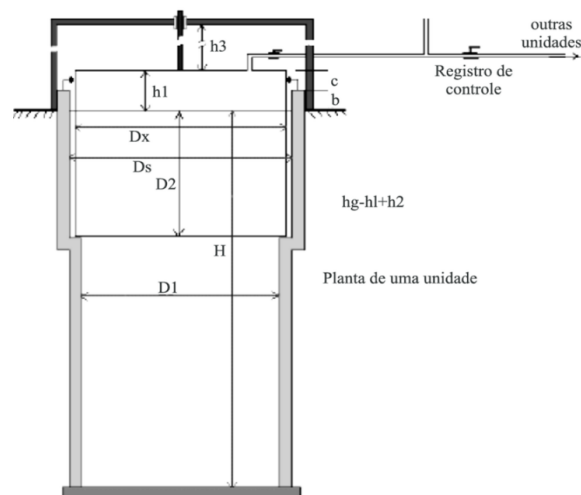


Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2007.

### 3.2.5 Biodigestor modelo batelada

Spolaore (2013), cita que este tipo de biodigestor, ilustrado na *Figura 7*, é abastecido uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado após o término do período efetivo da produção do biogás. Ainda, segundo o autor, o modelo batelada se adapta quando a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos longos, como em granjas avícolas de corte.

Figura 7 – Representação biodigestor modelo batelada



Fonte: Adaptado de Spolaore, 2013.

Os produtos gerados pelo tratamento em biodigestores são: o fertilizante orgânico, que volta à produção agropecuária, e o biogás, que é utilizado para a geração de energias, produtos finais da economia do biogás (BLEY JR, 2015). O biofertilizante obtido da digestão anaeróbia é composto por quantidades consideráveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), principais componentes dos adubos industriais e que melhoram a fertilidade do solo, além disso, melhoram a estrutura do solo, a atividade microbológica e a retenção de nutrientes (BIASI *et al.*, 2018).

### 3.3 Biogás

O biogás é uma mistura de gases obtidos a partir de um processo biológico natural da degradação de material orgânico em condição anaeróbia, tendo como composição principal o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o metano (CH<sub>4</sub>), e em quantidade menor, hidrogênio (H<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e outros gases. A Tabela 1, apresenta indicadores aproximados para composição do biogás.

Tabela 1 – Características do biogás

<b>Parâmetro</b>	<b>Indicador</b>
PCI	23 MJ/kg
Densidade	1,2 kg/nm <sup>3</sup>
Metano	53 - 70% vol
Hidrogênio	0% vol
Monóxido de Carbono	0% vol
Dióxido de Carbono	30 – 47% vol
Nitrogênio	0,2% vol
Oxigênio	0% vol
Sulfeto de Hidrogênio	0 – 10.000 ppm
Amônia	< 100 ppm

Fonte: Adaptado de Canever, 2017.

Segundo Biasi *et al.* (2018), o biogás pode ser produzido a partir de diferentes fontes de biomassa, como resíduos vegetais, dejetos de animais, resíduos de alimento, esgoto urbano, dentre outras fontes de biomassa orgânica.

O biogás produzido pode ser usado como energia térmica substituindo a lenha, o diesel ou outro combustível fóssil, como energia mecânica para bombeamento de água, para a geração de energia elétrica pela queima em grupos moto-geradores ou turbinas e ainda para a produção

de biometano, que pode ser utilizado em veículos automotores (BIASI et al., 2018). A Tabela 2, traz uma comparação do potencial energético do biogás com outros combustíveis.

Tabela 2 – Equivalência entre biogás com demais recursos energéticos

<b>Combustível</b>	<b>Equivalência 1 m<sup>3</sup> de Biogás</b>
Gasolina	0,613 Litros
Querosene	0,579 Litros
Óleo Diesel	0,553 Litros
Gás de Cozinha (GLP)	0,454 Litros
Lenha	1,536 kg
Álcool Hidratado	0,790 Litros
Eletricidade	1,428 kW

Fonte: Adaptado de Almeida, 2016

### 3.3.1 O processo microbiológico

A biodigestão anaeróbia requer um determinado tempo de retenção hidráulica, sob condições ideais de temperatura e agitação. Fatores como pH, umidade e composição da matéria orgânica, também influenciam diretamente na produção de biogás. Em ausência total de oxigênio, atuam colônias mistas de microrganismos, que encontram condições ideais para proliferar, alimentando-se dos sólidos solúveis da biomassa, o que provoca a degradação da matéria orgânica (BLEY JR, 2015). Os estágios de decomposição têm de estar perfeitamente coordenados entre si para que todo o processo se realize adequadamente.

Segundo Rohstoffe (2010), o primeiro estágio é a hidrólise, em que compostos orgânicos complexos, tais como carboidratos, proteínas e lipídios, são decompostos em substâncias menos complexas como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. No processo atuam bactérias hidrolíticas, cujas enzimas liberadas decompõem o material por meio de reações bioquímicas. Ainda segundo o autor, pela ação de bactérias fermentativas acidogênicas, os compostos intermediários formados são então decompostos em ácidos graxos de cadeia curta, dióxido de carbono e hidrogênio, na chamada fase acidogênica. Adicionalmente, formam-se também pequenas quantidades de ácido lático e álcoois. Os tipos de compostos formados nesse estágio dependem da concentração do hidrogênio intermediário.

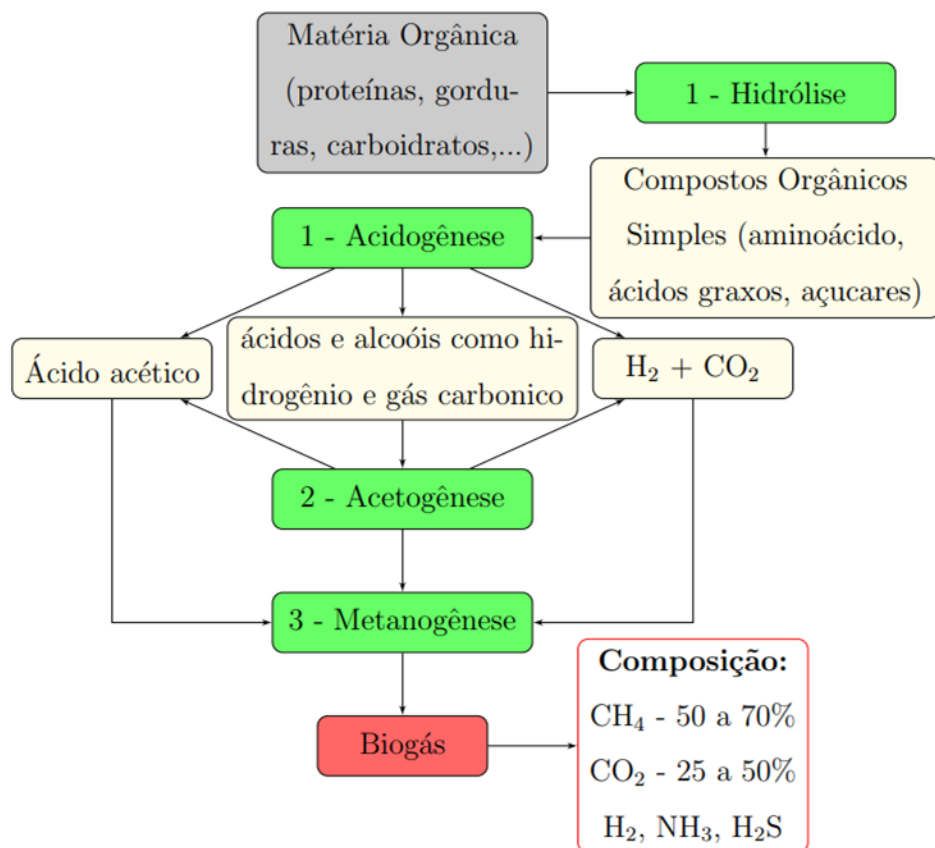
Na acetogênese, conforme cita Rohstoffe (2010), esses compostos são convertidos por bactérias acetogênicas em precursores do biogás (ácido acético, hidrogênio e dióxido de

carbono). Nesse ponto, a pressão parcial do hidrogênio é decisiva. Por razões de cunho energético, uma concentração de hidrogênio muito elevada impede a conversão dos compostos intermediários da acidogênese. Segundo o autor, como consequência há um acúmulo de ácidos orgânicos que inibem a metanogênese e, por essa razão, as bactérias acetogênicas têm de estar estreitamente associadas às arqueas metanogênicas. Durante a formação do metano, as arqueas consomem hidrogênio e dióxido de carbono, garantindo o meio propício para as bactérias acetogênicas.

No último estágio, a metanogênese, as arqueas metanogênicas estreitamente anaeróbias convertem principalmente o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano. Os metanógenos hidrogenotróficos produzem metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono, e os metanógenos acetoclásticos a partir da redução de ácido acético (ROHSTOFFE, 2010).

A Figura 8, ilustra o esquema para a produção de biogás pelo processo de digestão anaeróbia.

Figura 8 – Rotas da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Marcucci, 2018.

### 3.3.2 Fatores que influenciam a produção de biogás

Conforme destacado anteriormente, a produção do biogás é feita por bactérias e microrganismos que dependem de um ambiente controlado para sua sobrevivência e que afetam diretamente a eficiência da biodigestão e a formação do biogás. A seguir, lista-se os principais fatores que impactam a colônia destes microrganismos.

#### 3.3.2.1 Temperatura

A temperatura utilizada para os processos de geração de biogás são em torno de 37 °C para as fases em que atuam bactérias mesofílicas e de 55 °C para as termofílicas, desenvolvendo-se melhor os microrganismos em condições termofílicas (KARLSSON *et al.*, 2014). Para Rohstoffe (2010), a variação da temperatura acima ou abaixo desta faixa, pode acarretar a inibição dos microrganismos, podendo levar até mesmo a danos irreversíveis, como a suspensão completa da produção do gás, no pior dos casos.

#### 3.3.2.2 Alcalinidade e pH

O pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência do processo (OLIVERIA, 1993). Para Karlsson *et al.* (2014), a geração de biogás alcança maior rendimento em pH neutro ou ligeiramente superior, valores entre 7,0 e 8,5. Ainda segundo o autor, a fim de manter um pH neutro e estável é necessário que a alcalinidade do meio seja relativamente elevada e constante.

#### 3.3.2.3 Tempo de retenção

A produção de metano pelas bactérias metanogênicas, cuja velocidade de crescimento é muito lenta, necessita de um tempo longo de retenção de sólidos (TRS) e de retenção hidráulica (TRH) (OLIVEIRA, 1993). O tempo de retenção hidráulica de um processo de geração de biogás é de aproximadamente 10 e 25 dias, chegando em alguns casos até 50 dias, devido a variações nas concentrações de cargas orgânicas volumétricas, do volume diário de dejetos ou das condições de temperatura. (KARLSSON *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 1993).

#### 3.3.2.4 Sólidos voláteis

O controle do processo de digestão anaeróbia depende, entre outros fatores, da carga orgânica presente, assim, os sólidos voláteis fornecem uma estimativa da matéria orgânica existente no resíduo (OLIVEIRA, 1993). Quanto maior a concentração de sólidos voláteis na

biomassa, maior será a produção de gás, lembrando que isso também dependerá da eficiência do sistema de biodigestão (FILHO, 1981).

### 3.3.3 Purificação do biogás

O processo de purificação e limpeza do biogás consiste, no isolamento do metano ( $\text{CH}_4$ ) dos demais constituintes, tendo como resultado o aumento do poder calorífico do gás e melhor qualidade para o uso final.

É importante ressaltar que, para o consumo final do biogás, faz-se necessário saber as reais necessidades energéticas da aplicação para se obter um maior ou menor grau de pureza, visto que, existem diversas tecnologias de purificação que podem ser aplicadas. No Quadro 1, são listadas, brevemente, as principais rotas de purificação do biogás.



Quadro 1 – Principais rotas de purificação do biogás

Processo	Descrição	Vantagens	Desvantagens	Concentração de CH <sub>4</sub> (%)
<b>Purificação por membrana</b>	Aplicação de membranas; Construídas por polímeros; São transportados por membrana fina (<1 mm), enquanto alguns ficam retidos; São transportadas através da diferença de pressão arterial e pela dependência do componente a permeabilidade do material da membrana; Temperatura de 25°C e uma pressão de 5,5 bar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo;</li> <li>- Economia de energia;</li> <li>- Facilidade de operação;</li> <li>- Temperatura ambiente;</li> </ul>	- Resíduos de saída ainda contém concentração de metano (CH <sub>4</sub> ).	90 a 96
<b>Purificação criogênica</b>	Tratamento criogênico (separação do CH <sub>4</sub> e do CO <sub>2</sub> a temperaturas muito baixas); Abrange a retificação (liquefação de gases) que origina o CO <sub>2</sub> líquido. Temperaturas baixas fazem com que ocasione o congelamento do CO <sub>2</sub> ; Anterior ao procedimento de purificação criogênica é preciso fazer a dessulfurização (reduz dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ) emitido para a atmosfera) e secagem do gás.	- É economicamente viável com grandes quantidades de biogás;	- Uso de equipamentos extras, como: compressores, turbinas, etc; Alto consumo de energia	97
<b>Lavagem por água</b>	Utilizada para remover CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> S, por ser mais solúvel em água; Consiste na pressurização do biogás; O biogás é comprimido e alimentado em uma coluna de leito fixo e a água pressurizada é pulverizada contracorrente a partir do topo; A água pode ser reciclada através de uma torre de regeneração	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabalham com baixas vazões de biogás;</li> <li>- Requer menor infraestrutura;</li> <li>- Econômico.</li> </ul>	- O efluente líquido precisa de pós-tratamento; Dependente de outros fatores, tais como: taxas de fluxo de água, composição do biogás bruto, entre outras.	95 a 100
<b>Purificação por adsorção</b>	Através desse processo o dióxido de carbono é removido do biogás por meio da absorção com diferentes pressões; O biogás entra no fundo do reservatório, o material adsorvente fixa o CO <sub>2</sub> e ao final do processo se obtém o biogás purificado com concentrações de 95% de CH <sub>4</sub> e eficiência de recuperação de metano no biogás de 85% a 90%, dependendo do material adsorvente. Quando o material adsorvente está completamente saturado com dióxido de carbono, o biogás passa para o reservatório seguinte, que foi previamente regenerado pela despressurização até a pressão atmosférica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil operação;</li> <li>- Boa retenção de umidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de alta temperatura e pressão;</li> <li>- O processo é mais caro.</li> </ul>	97
<b>Purificação biológica</b>	Produz biomassa no processo de fixação de CO <sub>2</sub> por meio da fotossíntese. A fixação biológica de CO <sub>2</sub> pode ser efetuada por plantas e microrganismos fotossintéticos como as microalgas; Na fotossíntese, a célula utiliza a energia do sol para oxidar a água e, assim, produzir o oxigênio e reduzir o CO <sub>2</sub> ; A fotossíntese possibilita a conversação da luz em energia química, conduzindo a produção e matérias-primas requeridas para a síntese de diversos combustíveis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de biomassa no processo de fixação de CO<sub>2</sub> por meio de fotossíntese agregando valor no processo;</li> <li>- Aplicação de microalgas como uma alternativa de menor custo.</li> </ul>	- Poucos estudos sobre a purificação biológica.	87 a 97

Fonte: Adaptado de Silva, 2017.

### 3.4 Iniciativas e marco regulatório para o avanço do biogás

O biogás e o biometano são combustíveis renováveis, com grande potencial econômico, ambiental e social e com características energéticas que podem contribuir em muito para a sustentabilidade e a eficiência energética de importantes setores econômicos, tais como sucroenergético, agropecuário e saneamento ambiental (ABIOGÁS, 2018). Entre os itens que favorecem a produtividade de biogás no país, pode-se citar, a larga disponibilidade de biomassa e resíduos orgânicos; flexibilidade como fonte de energia para o uso elétrico, térmico e veicular; intercambialidade com o gás natural, entre outros aspectos.

Elencadas as potencialidades para o biogás, diversas iniciativas e regulamentações vem sendo elaboradas por entidades públicas, agências reguladoras, concessionárias, dando assim uma projeção ao novo cenário do setor energético, com a inclusão do biogás e biometano. A seguir, lista-se, brevemente, algumas destas iniciativas e regulamentações:

- i. **Programa RenovaBio:** Programa criado como ferramenta para auxiliar o governo brasileiro a alcançar os compromissos perante o Acordo de Paris, com o objetivo, ainda de incentivar a expansão de biocombustíveis na matriz brasileira e induzir através de uma política de mercado, a eficiência energética, comercialização e uso de biocombustíveis (BRASIL, 2017).
- ii. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026:** A empresa, considerou a participação do biogás como fonte de energia em seu programa de planejamento energético nacional, com uma perspectiva de participação na geração distribuída em aproximadamente 300 MW no final do horizonte do programa (EPE, 2017).
- iii. **Resolução ANP 08/2015:** Estabelece parâmetros para a utilização do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais, destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais, de origem nacional, a ser comercializado em todo o território nacional (ANP, 2015).
- iv. **Decreto nº 58659/2012 - SP:** Institui o programa paulista de biogás com objetivos de incentivar e ampliar a participação de energias renováveis na matriz energética do estado, através das externalidades positivas da geração de gases combustíveis provenientes de biomassa (SÃO PAULO, 2012).
- v. **Lei nº 19500/2018 - PR:** Institui a política estadual do biogás, do biometano e demais produtos, a qual estabelece princípios, regras, obrigações e instrumentos de organização, incentivos, fiscalização e apoio às cadeias produtivas (PARANÁ, 2018).

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho é caracterizado pela comparação entre os resultados teóricos e resultados experimentais obtidos a partir das análises de dejetos dos suínos, conforme metodologias de quantificação da produção de biogás.

Neste contexto, foi realizado uma estimativa de produção com os valores tabelados e disponíveis na literatura e tais resultados foram comparados com a resolução das mesmas equações empíricas substituindo por valores de sólidos totais, sólidos voláteis, teores de umidade entre outros aspectos, resultados da análise laboratorial dos dejetos.

### 4.1 Estimativa de produção de biogás desenvolvida pelo CIBIOGÁS

Segundo o estudo desenvolvido pelo Cibiogás (2018), a metodologia apresentada tem por finalidade orientar e fornecer dados adequados para projetos, estudos e outras iniciativas com o biogás no Brasil, bem como apresentar e indicar seus limites de aplicação. Para a estimativa da produção de biogás a partir de dejetos animais, foram considerados o fator de conversão anual de metano, os sólidos voláteis produzidos pela categoria animal, a capacidade máxima teórica de produção de metano por dejetos, a concentração de metano no biogás, e a produção diária de dejetos. A produção de dejetos é dada pela equação 1 e com parâmetros dispostos na Tabela 3.

$$PDD_{suínos} = N_{animais} * PE_{ca} \quad (1)$$

Onde:

**PDD<sub>suínos</sub>**: produção diária de dejetos (m<sup>3</sup>);

**N<sub>animais</sub>**: número de animais (absoluto);

**PE<sub>ca</sub>**: produção de dejetos por categoria (m<sup>3</sup>cab.<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>).

Tabela 3 – Produção média diária de dejetos para diferentes categorias de suínos

<b>Categoria</b>	<b>m<sup>3</sup>cab.<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup></b>
Leitão creche	0,014
Crescimento e terminação	0,007
Matriz macho	0,009
Matriz fêmea	0,016
Maternidade	0,027

Fonte: Adaptado de Oliveira, 1993 e Mito *et al.*, 2018

A equação 2 apresenta a fórmula da estimativa de produção de biogás, e a Tabela 4 os parâmetros a serem adotados.

$$Prod_{biogás} = \left( \frac{MCF * SV_{dejetos} * B_0}{\%CH_4} \right) * PDD_{suínos} \quad (2)$$

Onde:

**Prod<sub>biogás</sub>**: produção de biogás (m<sup>3</sup>dia<sup>-1</sup>);

**MCF**: fator de conversão anual de metano (%);

**SV<sub>dejetos</sub>**: Sólidos voláteis produzidos pela categoria animal (kg<sub>sv</sub> m<sup>3</sup>dejeto<sup>-1</sup>);

**B<sub>0</sub>**: Capacidade máxima teórica de produção de metano por dejeto (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup>);

**%CH<sub>4</sub>**: Concentração de metano no biogás (%).

Tabela 4– Valor de sólidos voláteis, produção e percentual de metano

<b>SV (kg<sub>sv</sub> m<sup>3</sup> dejeto<sup>-1</sup>)</b>	<b>B<sub>0</sub> (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup>)</b>	<b>MCF (%)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>
80,35	0,33	60	60

Fonte: Adaptado de CIBIOGAS, 2018

#### 4.2 Estimativa de produção de biogás desenvolvida pela Embrapa

Segundo Mito *et al.* (2018), a proposta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, através de Kunz e Oliveira (2006), estabelece uma relação direta para estimar o potencial teórico de produção de metano e compreende um cálculo simples envolvendo a capacidade máxima de produção de metano e sólidos voláteis (B<sub>0</sub> e SV) com volume de dejetos

produzidos diariamente. Esta metodologia está descrita nas equações 3 e 4, e a Tabela 5, apresenta os valores dos parâmetros qualitativos a serem adotados.

Cálculo da estimativa da produção diária de metano:

$$PrM = B_0 * SV * Q \quad (3)$$

Onde:

**PrM:** Produção diária de metano ( $m^3_{CH_4} \text{ dia}^{-1}$ );

**B<sub>0</sub>:** Capacidade máxima teórica de produção de metano pelo dejetos ( $m^3_{CH_4} \text{ kg}_{SV}^{-1}$ );

**SV:** Concentração de sólidos voláteis ( $g_{SV}L^{-1}$ );

**Q:** Volume total de dejetos produzidos ao dia ( $m^3\text{dia}^{-1}$ ).

Cálculo do volume de efluentes gerados ao dia:

$$Q = N * PD \quad (4)$$

Onde:

**N:** Número de animais (número absoluto);

**PD:** Volume de dejetos produzidos por animal e categoria ao dia ( $m^3_{animal} \text{ dia}^{-1}$ ).

Tabela 5 – Valores tabelados da metodologia da Embrapa

Tipo de rebanho	SV ( $g_{SV} L^{-1}$ )	B <sub>0</sub> ( $m^3_{CH_4} \text{ kg}_{SV}^{-1}$ )	PD ( $L_{animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
Suínos	53,1	0,45	4,46

Fonte: Adaptado de Mito *et al.*, 2018

Uma vez que esta metodologia estima a produção de metano, faz-se necessário fazer a conversão para biogás para um melhor comparativo com as demais metodologias apresentadas. Desse modo, as análises desse trabalho serão realizadas considerando a composição média de metano no biogás, em torno de 60%, conforme encontra-se na literatura e nos indicadores do biogás apresentados no capítulo anterior.

#### 4.3 Estimativa de produção de biogás adaptada da CETESB

Em seu estudo, Konrad *et al.* (2016), adotaram uma metodologia adaptada da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, para estimar a produção anual de dejetos de animais, caracterizada pela equação 5.

$$Biomassa = 365 * N * \left(\frac{Dkg}{1000}\right) \quad (5)$$

Onde:

**365:** Dias do ano (dias);

**N:** Número de cabeças (número absoluto);

**D:** Dejeito gerado por unidade (kg).

Ainda segundo os autores, a geração de biogás foi estimada conforme adaptação da metodologia alemã desenvolvida pela Associação de Tecnologia e Estrutura na Agricultura (KTBL), que considera parâmetros como o cálculo de sólidos totais e sólidos voláteis adaptados à realidade brasileira. O cálculo da estimativa é feito pelas equações de 6 a 8.

$$\text{Sólidos Totais} \left( \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \right) = \frac{\text{Biomassa} \left( \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \right) * \text{Sólidos Totais}(\%)}{100} \quad (6)$$

$$\text{Sólidos Voláteis} \left( \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \right) = \frac{\text{Sólidos Totais} \left( \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \right) * \text{Sólidos Voláteis}(\%)}{100} \quad (7)$$

$$\text{Biogás} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right) = \frac{\text{Sólidos Voláteis} \left( \frac{\text{ton}}{\text{ano}} \right) * \text{Rendimento de biogás} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{tonSV}} \right)}{365} \quad (8)$$

No estudo de Konrad, o rendimento de biogás adotado para cada uma das biomassas avaliadas foi de 550 m<sup>3</sup>/tonSV. Ainda para os cálculos e considerando os dejetos de suínos, foram adotados os valores de 3,5% de sólidos totais e 66% de sólidos voláteis. Neste trabalho, seguindo a bibliografia, serão utilizados o rendimento estimado do biogás, bem como os valores de sólidos totais e sólidos voláteis definidos nas análises laboratoriais dos dejetos avaliados.

#### 4.4 Determinação dos teores de sólidos totais e sólidos voláteis dos dejetos suínos

A coleta das amostras de dejetos, ocorreu diretamente nas baias de criação dos suínos, conforme ilustram Figura 9 e Figura 10 respectivamente.

As amostras foram coletadas aleatoriamente entre cada setor de confinamento e intercalando-as com coletas realizadas periodicamente durante os meses de abril e maio de 2019. Devido às restrições logísticas, as amostras coletadas diretamente das baias de confinamento, em sua maioria estavam secas, livres de qualquer componente líquido como urina ou água do tratamento sanitário.

Figura 9 - Baia de confinamento de matrizes de reprodução



Fonte: Autor, 2019.

Figura 10 - Baia de confinamento de matrizes de reprodução



Fonte: Autor, 2019.

Para a determinação dos teores de sólidos totais e sólidos voláteis, a amostra foi separada em três cadinhos, com o auxílio de uma balança de precisão, modelo *Schimadzu* Marte AY220. Após a pesagem, as amostras foram secas em estufa, modelo *Lucadema* Luca-80/64, a uma temperatura de 105 °C durante 24 horas. O teor de sólidos totais, foi calculado conforme a equação 9:

$$\text{Teor de sólidos totais} = \frac{\text{massa do dejetos seco}[g]}{\text{massa da amostra umida}[g]} \quad (9)$$

E o teor de umidade, foi determinado pela equação 10:

$$\text{Teor de umidade} = 1 - \text{Teor de sólidos totais} \quad (10)$$

Posteriormente, as amostras secas foram calcinadas em um forno mufla, modelo *Zezimaq 2000G*, a uma temperatura de 550 °C, por um período de duas horas. Ao final do processo, e em temperatura ambiente, as amostras foram pesadas, determinando-se os teores de sólidos fixos e sólidos voláteis, conforme as equações 11 e 12, respectivamente.

$$\text{Sólidos fixos} = \frac{\text{massa do dejetto calcinado[g]}}{\text{massa do dejetto seco[g]}} \times 100 \quad (11)$$

$$\text{Sólidos voláteis} = \frac{\text{massa do dejetto seco[g]} - \text{massa do dejetto calcinado[g]}}{\text{massa do dejetto seco[g]}} \times 100 \quad (12)$$

Como análise complementar, foi determinado o pH das amostras, utilizando tiras universais de papel indicador de pH. O monitoramento do pH do substrato e do próprio material em decomposição é um parâmetro importante no processo de biodigestão anaeróbio devido ao efeito deste nas bactérias metanogênicas, sensíveis a meios ácidos, conforme relatado por Kunz *et al.*, 2019.



## 5 ANÁLISE DOS DADOS

### 5.1 Estimativa de produção de biogás segundo parâmetros da literatura

Nesta primeira etapa foi estimada a produção de biogás conforme metodologias apresentadas no capítulo anterior. Foram analisados três cenários, o primeiro considerando o estado atual da instituição em relação ao número de animais; um segundo cenário, projetando que cada matriz tenha uma criação de leitão por mês, podendo assim, em qualquer dia do ano, encontrar além das matrizes de reprodução, os leitões em creche e outros em crescimento e engorda; e um o terceiro cenário, com um planejamento futuro, considerando dobrar o número de animais em relação ao cenário II. A Tabela 6, apresenta os números de animais em cada categoria, considerando cada cenário analisado.

Tabela 6 – Número de animais por categoria para análise de cada cenário

	Matriz macho	Matriz fêmea	Leitões em creche	Leitões em engorda
Cenário I	2	10	0	0
Cenário II	2	10	10	20
Cenário III	4	20	20	40

Fonte: Autor, 2019.

Em todos os cenários, foram utilizadas as variáveis e parâmetros definidos em cada metodologia.

#### 5.1.1 Cenário I

No cenário atual foram considerados os dados fornecidos pela instituição de ensino como a quantidade de suínos de cada espécie e seus pesos médio. O volume médio de dejetos produzidos para cada espécie é definido em literatura, conforme apresentado na Tabela 3. Os parâmetros adotados para a estimativa, bem como a quantidade de dejetos produzidos por cada categoria animal são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7– Parâmetros adotados para construção do cenário atual

	Quantidade (und)	Peso médio (kg)	Dejetos (m <sup>3</sup> cab. dia <sup>-1</sup> )
Matriz reprodução	10	222	0,0162
Macho reprodução	2	225	0,009

Fonte: Autor, 2019.

As produções de dejetos e a quantidade de biogás estimadas para cada metodologia estudada estão dispostas na Tabela 8. Destaca-se que nestes cálculos foram empregados os parâmetros teóricos das variáveis definidas nas *Tabela 4* e *Tabela 5*, bem como os teores de sólidos totais e voláteis definidos pela metodologia do CETESB.

Tabela 8 – Projeções para o cenário atual

Metodologia	Produção de dejetos (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção diária (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção mensal (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	
	Macho	Matriz	Biogás	Metano	Biogás	Metano
CIBIOGÁS	0,018	0,162	4,773	2,863	145,570	87,346
EMBRAPA	0,05352		2,131	1,278	63,943	38,365
CETESB	0,018	0,162	2,287	1,372	68,607	41,164

Fonte: Autor, 2019.

### 5.1.2 Cenário II

Para a construção deste cenário, foram levados em conta as seguintes características: mesma quantidade de macho e matriz de reprodução atual e nascimento de aproximadamente dez leitões por matriz no mês. Assim, em qualquer dia ter-se-á dez leitões em creche e outros vinte em fase crescimento ou terminação. O peso médio e de dejetos destes suínos também seguiram a literatura apresentada no capítulo 4. A Tabela 9 fornece os principais parâmetros usados nesta estimativa.

Tabela 9 - Parâmetros adotados para construção do cenário II

	Quantidade (und)	Peso médio (kg)	Dejetos (m <sup>3</sup> cab. dia <sup>-1</sup> )
Matriz reprodução	10	222	0,0162
Macho reprodução	2	225	0,009
Leitão creche	10	15,93	0,0014
Crescimento e terminação	20	73,25	0,007

Fonte: Autor, 2019.

A estimativa de produção de biogás pode ser consultada na *Tabela 10*.

Tabela 10 – Projeções para o cenário II

Metodologia	Produção de dejetos (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )				Produção diária (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção mensal (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	
	Macho	Matriz	Leitão	Crescimento e terminação	Biogás	Metano	Biogás	Metano
CIBIOGÁS	0,018	0,162	0,014	0,14	8,856	5,313	270,108	162,065
EMBRAPA	0,1873				7,460	4,476	223,801	134,281
CETESB	0,018	0,162	0,014	0,14	4,243	2,547	127,304	76,382

Fonte: Autor, 2019.

### 5.1.3 Cenário III

Para atender todas as expectativas de produção na atividade da suinocultura, a instituição estima dobrar a quantidade atual de animais. Desse modo, para atender às perspectivas deste cenário, tomou-se como base o cenário anterior com o dobro de animais. Neste sentido, espera-se ter o mínimo de vinte leitões em creche e outros quarenta em fase de crescimento e terminação.

Os parâmetros bases deste cenário estão dispostos na *Tabela 11* e sua projeção na *Tabela 12*.

Tabela 11- Parâmetros adotados para construção do cenário III

	Quantidade (und)	Peso médio (kg)	Dejetos (m <sup>3</sup> cab. dia <sup>-1</sup> )
Matriz reprodução	20	222	0,0162
Macho reprodução	4	225	0,009
Leitão creche	20	15,93	0,0014
Crescimento e terminação	40	73,25	0,007

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 12 – Projeções para o cenário III

Metodologia	Produção de dejetos (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )				Produção diária (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção mensal (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	
	Macho	Matriz	Leitão	Crescimento e terminação	Biogás	Metano	Biogás	Metano
CIBIOGÁS	0,036	0,324	0,028	0,28	17,712	10,627	540,216	324,129
EMBRAPA	0,3746				14,920	8,952	447,601	268,561
CETESB	0,036	0,324	0,028	0,28	8,487	5,092	254,608	152,765

Fonte: Autor, 2019.

## 5.2 Estimativa de produção de biogás segundo análises laboratoriais

A *Tabela 13*, apresenta os resultados médios da análise dos dejetos dos suínos que são criados na instituição atualmente, os dados completos estão disponíveis no apêndice A. Numa segunda etapa, foi estimada a produção de biogás empregando as equações empíricas para cada metodologia avaliada, porém substituindo os valores determinados em laboratório na caracterização do dejetos.

Tabela 13– Resultado da análise laboratorial dos dejetos de suínos

Parâmetros	Média	Desvio padrão (%)
Sólidos totais	36,414%	10,403%
Sólidos voláteis	73,664%	3,630%
Sólidos fixos	26,336%	3,603%
Umidade	18,526%	5,968%
pH	7,714	-

Fonte: Autor, 2019.

Ao comparar os resultados obtidos na *Tabela 13* com os valores encontrados na literatura e descritos na *Tabela 14*, pode-se concluir que boa parte dos índices aqui analisados atendem às expectativas médias ou estão dentro do coeficiente de variação. Todavia, cabe destacar

o alto valor encontrado para os sólidos totais. Reitera-se que as amostras utilizadas foram obtidas diretamente nas baias de confinamento, isentas de líquidos como urina ou água de tratamento sanitário. Em contrapartida, os valores encontrados na literatura identificam os dejetos como uma composição sólidos + líquidos, em concentração de sólidos adequadas ao processo de biodigestão.

Tabela 14– Características dos dejetos de suínos segundo a literatura

Parâmetros	Média	Desvio padrão (%)
pH	6,94	2,45 %
Matéria seca	8,99	13,68 %
Sólidos totais	9,00	27,33 %
Sólidos voláteis	75,05	5,86 %

Fonte: Adaptação de Oliveira, 1993.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 13, foram calculados os parâmetros e variáveis de cada metodologia, os quais foram utilizados na estimativa real de produção de biogás a partir da quantidade de dejetos disponíveis na instituição em estudo, considerando cada cenário analisado. A Tabela 15, apresenta os valores atualizado.

Tabela 15 – Parâmetros e variáveis atualizadas

Metodologia	Índice	Valor
CIBIOGÁS	SV (kgsv m <sup>3</sup> dejetos <sup>-1</sup> )	265,555
EMBRAPA	Cenário I - SV (kgsv m <sup>3</sup> · <sup>-1</sup> )	14,213
EMBRAPA	Cenário II - SV (kgsv m <sup>3</sup> · <sup>-1</sup> )	49,774
EMBRAPA	Cenário III - SV (kgsv m <sup>3</sup> · <sup>-1</sup> )	99,4885
CETESB	Teor de sólidos totais (%)	36,414
CETESB	Teor de sólidos voláteis (%)	73,664
CETESB	Rendimento (m <sup>3</sup> biogás tons <sub>SV</sub> <sup>-1</sup> )	742,5

Fonte: Autor, 2019.

Dessa forma, pode-se obter os valores atualizados da produção de biogás para cada cenário. As estimativas são apresentadas nas Tabela 16 a Tabela 18.

Tabela 16– Estimativa de produção para o cenário I

<b>CENÁRIO I</b>	Produção diária (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção mensal (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	
	Biogás	Metano	Biogás	Metano
CIBIOGÁS	15,774	9,464	481,097	288,664
EMBRAPA	0,570	0,342	17,400	10,440
CETESB	26,290	15,774	801,851	481,110

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 17– Estimativa de produção para o cenário II

<b>CENÁRIO II</b>	Produção diária (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção mensal (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	
	Biogás	Metano	Biogás	Metano
CIBIOGÁS	29,269	17,561	892,702	535,621
EMBRAPA	6,988	4,193	213,151	127,890
CETESB	48,783	26,267	1487,879	892,727

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 18– Estimativa de produção para o cenário III

<b>CENÁRIO III</b>	Produção diária (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Produção mensal (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	
	Biogás	Metano	Biogás	Metano
CIBIOGÁS	58,538	35,122	1785,404	1071,242
EMBRAPA	46,590	27,954	1421,008	852,605
CETESB	97,566	52,637	2975,756	1605,454

Fonte: Autor, 2019.

A partir das atualizações das variáveis e parâmetros das equações das metodologias apresentadas, pode-se observar a distinção nos valores de estimativa de produção. O principal destaque vai para o teor de sólidos totais, segundo Oliveira (1993), este índice representa um valor referencial de 3-9% da composição dos dejetos líquidos dos suínos. Na análise deste caso, o teor médio apresentado na Tabela 13, é superior a 36%. Tal fator justifica-se pelo fato de a coleta dos dejetos ser feita diretamente nas baias onde os suínos ficam confinados e não contendo assim a presença de qualquer outro líquido, como urina ou água. Logo, a presença de sólidos totais na amostra tende a ser superior.

Assim, pode-se destacar os altos valores de produção para a metodologia apresentada por Konrad *et al.*, (2016), uma vez que a estimativa é diretamente relacionada com os teores de sólidos totais e voláteis presentes na biomassa. Para o caso da Embrapa, observa-se que o método apresentado no capítulo 4, não apresenta um valor de efluente por categoria do animal (leitão, matriz, macho, fêmea, etc.), apenas um valor médio de efluente, deste modo para cada cenário haverá um valor diferente de sólidos voláteis médios, trazendo assim uma variação de até doze vezes na produção de metano para cada cenário. Já a metodologia do CIBiogás, apresenta valores mais fidedignos à realidade do caso, uma vez que esta metodologia é fruto de uma adaptação dos cálculos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas ou IPCC, onde o estudo é construído a partir de várias series de pesquisas e análises laboratoriais produzidos pela instituição, no qual está situada na mesma região aonde localiza-se o estudo de caso.

Ao comparar a produção do biogás, tanto nas estimativas teóricas quanto nas atualizadas para o estudo de caso, o cenário I e o cenário II, há uma triplicação no número de animais, porém a produção detém um aumento de aproximadamente 66%.

### 5.3 Cálculo do volume do biodigestor

Tendo em vista a atual limitação administrativa e orçamentaria da instituição, e considerando o biodigestor atualmente instalado, foi realizada uma análise para identificar a capacidade deste atender a demanda de geração do biogás a partir da quantidade de dejetos disponíveis. A partir desta análise será possível propor, caso seja necessário, adaptações ao projeto, uma vez que o biodigestor modelo canadense é considerado de baixo nível tecnológico, com facilidade de construção e operação (KUNZ *et al.*, 2019).

Para este estudo, foi determinado in loco o volume do biodigestor modelo canadense já construído na instituição. Para tanto, foram obtidas as dimensões características deste e o volume total do biodigestor foi calculado, resultando em um volume de aproximadamente 71 m<sup>3</sup>.

O volume do biodigestor modelo canadense é calculado levando-se em conta a vazão do substrato e a concentração de sólidos voláteis presentes neste, bem como a sua carga orgânica volumétrica (Kunz *et al.*, 2019), conforme equação 13:

$$V = \frac{Q * S_v}{COV} \quad (13)$$

Onde:

**V:** Volume do biodigestor (m<sup>3</sup>);

**Q:** Vazão de substrato ou dejetos (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>);

**S<sub>v</sub>:** Concentração de sólidos voláteis no substrato (kg<sub>sv</sub> m<sup>3</sup>);

**COV:** Carga orgânica volumétrica ( $\text{kg}_{\text{sv}} \text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ).

A determinação do COV, é dada pela equação 14, ao assumir valores para o tempo de retenção hidráulica (TRH) entre 30 a 36 dias, conforme cita Oliveira (1993) em seu estudo.

$$COV = \frac{S_v}{TRH} \quad (14)$$

Nesta análise, foram adotados os parâmetros do cenário II, uma vez que para sua aplicação não haveria necessidade de grandes investimentos em infraestrutura, por parte da instituição, no que se refere ao manejo e criação dos animais, comparado ao cenário III. Desta forma, os diferentes valores para o volume do biodigestor podem ser consultados na Tabela 19.

Tabela 19 – Determinação do volume do biodigestor

CENÁRIO	Q ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$ )	Sv ( $\text{kg}_{\text{sv}} \text{m}^3$ )	TRH (dias)	COV ( $\text{kg}_{\text{sv}} \text{m}^3 \text{dia}^{-1}$ )	V ( $\text{m}^3$ )
Valores S <sub>v</sub> tabelados	0,334	66,87	30	2,22	10,02
			36	1,85	12,02
Valores S <sub>v</sub> estimados	0,334	265,55	30	8,85	10,02
			36	7,37	12,02

Fonte: Autor, 2019.

Analisando os resultados obtidos para o volume necessário do biodigestor para a degradação dos dejetos obtidos no cenário II, pode-se concluir que o biodigestor disponível, está superdimensionado. A mesma conclusão pode ser obtida ao analisar o cenário III, uma vez que neste caso o volume máximo para este cenário seria de aproximadamente 24 m<sup>3</sup>. Sendo assim, um maior volume exigiria um maior tempo de concentração, no entanto, há que se levar em consideração os processos de perdas e segregação de nutrientes que podem ocorrer no biodigestor, sistemas de tratamento ou armazenamento do efluente, conforme cita Kunz *et al.* (2019), um maior tempo de retenção dos dejetos leva a um maior favorecimento na produção de biofertilizante.

### 5.3.1 Cálculo da produção de biogás a partir do atual biodigestor

Nessa seção, será apresentada o valor máximo de produção de biogás considerando o atual volume do biodigestor. O desenvolvendo deste cálculo foi realizado de maneira análoga a seção anterior, todavia, nesta etapa foi determinada inicialmente a carga máxima de dejetos,



pela equação 13, seguida da estimativa de produção de biogás, utilizando-se o método apresentado pela equação 2.

Na Tabela 20 são demonstrados os resultados encontrados.

Tabela 20 – Máxima produção de biogás a partir da infraestrutura atual

CENÁRIO	Volume atual (m <sup>3</sup> )	Sv (kg <sub>sv</sub> m <sup>3</sup> )	COV (kg <sub>sv</sub> m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )	Produção biogás (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )
Valores tabelados	71	66,87	2,22	2,37	62,75
Valores estimados		265,55	8,85	2,37	207,39

Fonte: Autor, 2019.

Dado o volume de dejetos esperado para atender as condições atuais da instalação, seriam necessários em média 338 cabeças, ao considerar o volume médio de dejetos sendo 0,007 m<sup>3</sup> cab.<sup>-1</sup>.

#### 5.4 Cálculo da energia térmica estimada

A continuação será determinada o valor da energia térmica disponível para a utilização na instituição, visto que a produção do biogás possa suprir parte ou a totalidade da demanda de gás de cozinha para o cozimento de alimentos e na utilização em processos agroindustriais. Atualmente o consumo mensal de gás para suprir as atividades industriais é de aproximadamente 15,6 m<sup>3</sup> de gás de cozinha (GLP).

Para o cálculo da equivalência será utilizado os valores apresentados na tabela 2, ou seja, 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,454 L de GLP, e os cenários da metodologia da CIBiogás, uma vez que estes valores apresentam dados mais discretos e fidedignos ao presente estudo de caso. A Tabela 21 apresenta os valores de equivalência estimados.

Tabela 21– Cenários de equivalência entre biogás e GLP

	Cenários	Produção de biogás (m <sup>3</sup> mês <sup>-1</sup> )	Equivalência em GLP (l)
Projeção considerando estimativa teórica	Cenário I	145,570	66,09
	Cenário II	270,180	122,66
	Cenário III	540,216	245,59
Projeção considerando análises	Cenário I	481,097	218,41
	Cenário II	892,702	405,29
	Cenário III	1785,404	810,57

Fonte: Autor, 2019.

Deste modo, pode-se concluir que a utilização do biogás poderá atender a demanda mensal da instituição em até 1,57%. Se considerarmos a estimativa teórica, os valores estimados atenderiam em até 5,19% a demanda mensal em energia térmica, especificamente em substituição ao gás de cozinha.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se analisar a implementação de um biodigestor em uma instituição de ensino pública, com atividades voltadas para cursos técnicos e profissionalizantes na área agropecuária. Atualmente a instituição possui uma planta de biodigestão inoperante devido ao mal dimensionamento da capacidade de produção, ao mal-uso e falta de manutenção nos equipamentos.

Foi delimitado o estudo de caso para avaliação da produção de biogás a partir de dejetos da atividade da suinocultura que a instituição mantém. Nos dias atuais, chamado de cenário I, são doze cabeças de suínos criadas em confinamentos. Todavia, pretende-se ampliar a produção de suínos, visando maior retorno nas metodologias de ensino e também nos subprodutos que podem ser obtidos com os suínos, como salame, torresmo, etc. Assim, foi estipulado mais dois novos cenários, um mantendo o atual número de matrizes e estimando uma criação de porca por mês, cenário II, e outro duplicando o número de animais, assim tendo o cenário III.

Para a estimativa de produção de biogás, foi comparada utilizando-se três metodologias disponível na literatura, nomeadas conforme a instituição de publicação, sendo estas: CIBiogás, EMBRAPA e o modelo da CETESB adaptado por Konrad *et al.* (2016).

A grande limitação deste estudo foi o fato de considerar somente as variantes presentes na literatura. As metodologias adotadas não apresentam quaisquer meios de mensurar a interferência da temperatura, das condições do meio e do tempo de retenção, por exemplo, que são variáveis que podem influenciar a atividade das bactérias e a produção de biogás.

Apesar de a literatura oferecer uma vasta indicação que estes parâmetros são fatores que interferem na atividade das bactérias, é comum, que a maioria dos estudos sobre esta temática, se concentrem somente nas metodologias empíricas adotadas pelos autores em função da facilidade na obtenção e tratamento dos dados.

Ao decorrer deste estudo foram avaliados os principais parâmetros dos dejetos produzidos na instituição, com isso foi possível modificar os indicadores disponíveis na literatura, como os teores de sólidos totais, voláteis e pH, e assim obter valores mais próximos da produção do biogás em função dos dejetos produzidos no estudo.

É esperado que as variáveis citadas anteriormente possam diminuir a estimativa de produção do biogás. No entanto, isso só poderia ser medido e controlado, por meio de um estudo mais abrangente e detalhado, o que foge do escopo desta pesquisa. Sendo assim, apesar de não

ser possível mensurar outras variáveis que interfiram na produção do biogás, espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam avaliar o máximo potencial de produção.

Para a determinação do volume do biodigestor e da demanda térmica, os valores adotados foram da metodologia da CIBiogás uma vez que estes dados apresentam indicadores mais fidedignos ao estudo de caso, e não estão totalmente dependentes da variação dos dejetos de animais conforme a metodologia da EMBRAPA e da CETESB.

Ao final, foi determinado o volume do biodigestor para atender as projeções dos cenários criados, sendo demandado um volume de 10 – 12 m<sup>3</sup> o equivalente a um sexto das instalações atuais. Já a produção de biogás poderia suprir de 1,57 a 5,19 % a demanda térmica da instituição.

Deste modo pode-se concluir que, preliminarmente, um investimento ou a adaptação das instalações atuais para atender exclusivamente a demanda de produção de biogás, pode não ser uma alternativa atraente, devida a baixa produção de biogás. Todavia, com as atuais restrições operacionais da instituição aplicadas pelo órgão ambiental (IAP), a aplicação de uma planta de biodigestão pode ser viável do ponto de vista técnico e administrativo, uma vez que haverá um manejo correto dos efluentes produzidos pelos animais favorecendo assim o aumento das atividades agropecuárias.

## REFERÊNCIAS

- ABILOGÁS. **Proposta de programa nacional do biogás e do biometano**. São Paulo, 2018.
- ALMEIDA, C. **Potencial de produção de biogás a partir de biomassa de suinocultura com culturas energéticas**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2016.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, **Resolução 08/2015**. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/janeiro&item=ranp-8--2015>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- BARICHELLO, R. **O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso da região noroeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: UFSM, 2010.
- BIASI, C. A. F. *et al.* **Energias renováveis na área rural da região sul do Brasil**. Foz do Iguaçu, PR: ITAIPU, 2018.
- BLEY JR, C. **Biogás: a energia invisível**. 2. ed. Foz do Iguaçu, PR: ITAIPU, 2015.
- BRASIL. Lei nº 13576, de 26 de dezembro de 2017. **Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências**. Brasília, DF, dez 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm). Acesso em: 14 mar. 2019.
- CAILLOT, V. A. **Avaliação do potencial de produção de biogás dos resíduos da suinocultura codigeridos com resíduos agricultura brasileira**. Ponta Grossa, PR: UTFPR, 2017.
- CANEVER, V. B. **Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2017.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuais: reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2007.
- CIBIOGÁS Nota Técnica: Nº 001/2018 – **Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no Oeste do Paraná**. Foz do Iguaçu, 2018.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília, DF: MME/EPE, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/PDE2026.pdf/474c63d5-a6ae-451c-8155-ce2938fbf896>. Acesso em: 19 mai. 2019.
- FERNANDES, D. A. **Biomassa e biogás da suinocultura**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
- FILHO, J. A. C. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular técnica nº 9. Corumbá, EMBRAPA, 1981.
- HEFNER III, R. A. **The age of energy gases**. Oklahoma City, Oklahoma, USA, 2007.
- KARLSSON, T *et al.* **Manual do biogás**. Lajeado, RS: UNIVATES, 2014.

KONRAD, O. *et al.* **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano.** Lajeado, RS: ED. DA UNIVATES, 2016.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás.** Revista de Política Agrícola, ano 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

KUNZ, A. *et al.* **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019

LAB CORTEZ. **Biomassa para energia.** Unicamp, 2008.

MARCUCCI, L. W. **Otimização da produção de biogás em biodigestores batelada.** São Paulo, SP: UNESP, 2018.

MICUANSKI, V. C. **Viabilidade técnica e econômica da utilização da vinhaça para geração de energia elétrica.** Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.

MITO, J. Y. de L. *et al.* **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil.** Concórdia, SC: EMBRAPA, 2018.

MONTEIRO, M. da S. **Geração distribuída utilizando microturbina a gás: estudo de caso no parque tecnológico Itaipu (PTI).** Foz do Iguaçu, PR: UNIOESTE, 2008.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: Implementação de aplicativo computacional.** Campo Grande, MS: UFMS, 2009.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E), 1993.

OTTO, R. B. **Sistema supervisorio para unidades geradoras a biogás.** Foz do Iguaçu, PR: UNILA, 2013.

PARANÁ. LEI Nº 19500, DE 21 DE MAIO DE 2018. **Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano e adota outras providências.** Disponível em: [http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod\\_legislativo\\_arquivo/mod\\_legislativo\\_arquivo.php?leiCod=51410&tipo=L&tplei=0](http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod_legislativo_arquivo/mod_legislativo_arquivo.php?leiCod=51410&tipo=L&tplei=0). Acesso em: 14 mar. 2019.

ROHSTOFFE, F. N. **Guia Prático do Biogás Geração e Utilização.** Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha, 2010.

SÃO PAULO (ESTADO). DECRETO N. 58659, DE 04 DE DEZEMBRO DE 2012. **Institui o Programa paulista de biogás e dá providências correlatas.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/norma/168817>. Acesso em: 14 mar. 2019.

SEABRA JR, E. **Análise da produção de biogás proveniente da mistura de biomassa da suinocultura com bagaço de cana em diferentes granulometrias.** Cascavel, PR: UNIOESTE, 2017.

SILVA, C. B. **Abordagem teórica do processo de geração de biometano a partir de resíduos agroindustriais.** Ponta Grossa, PR: UTFPR, 2017.

**SILVA, F. P. Avaliação de parâmetros físico-químicos na operação de um biodigestor para tratamento de dejetos suínos.** Foz do Iguaçu, PR: UNILA, 2013.

**SPOLAORE, A. J. G. Fatores estruturais e de manejo na suinocultura que interferem na produção de biogás e viabilidade econômica na produção de energia.** Foz do Iguaçu, PR: UNILA, 2013.

**ZANETTE, A. L. Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2009.

## APÊNDICE A

### RESULTADO DA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE DEJETOS

Quadro 2 – Resultado da análise físico-química das amostras de dejetos

	AMOSTRA A			AMOSTRA B			AMOSTRA C		
	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra A	Amostra B	Amostra C
<b>Peso cadinho (g)</b>	37,400	35,600	31,6000	35,6822	30,1632	37,4091	20,3207	20,3400	19,7418
<b>Massa pré estufa (g)</b>	47,4834	49,710	41,5642	49,099	47,4008	41,5259	28,3457	25,1316	25,6229
<b>Massa pós estufa (g)</b>	40,7565	40,5093	34,899	40,1578	33,8455	40,6366	23,0676	21,9211	21,7265
<b>Umidade (%)</b>	14%	19%	16%	18%	29%	2%	19%	13%	15%
<b>Massa pré mufla (g)</b>	40,7565	40,5093	34,899	40,1578	33,8455	40,6366	23,0676	21,9211	21,7265
<b>Massa pós mufla (g)</b>	38,2827	36,976	32,4885	36,6868	30,974	38,0864	21,101	20,7514	20,2713
<b>Sólidos Voláteis (g)</b>	2,4738	3,5333	2,4105	3,471	2,8715	2,5502	1,9666	1,1697	1,4552
<b>pH</b>	7			7			8		
<b>Teor de Sólidos Totais (%)</b>	33,29%	34,79%	33,11%	33,36%	21,36%	78,40%	34,23%	33,00%	33,75%
<b>Teor de Sólidos Voláteis (%)</b>	73,70%	71,97%	73,07%	77,55%	77,98%	79,01%	71,59%	73,98%	73,32%
<b>Teor de Sólidos Fixos (%)</b>	26,30%	28,03%	26,93%	22,45%	22,02%	20,99%	28,41%	26,02%	26,68%
	AMOSTRA D			AMOSTRA E			AMOSTRA F		
<b>Peso cadinho (g)</b>	33,9156	30,1710	35,1888	30,1991	37,4537	35,7247	19,7413	20,3376	20,3209
<b>Massa pré estufa (g)</b>	41,6848	41,0143	47,0235	41,9482	51,3151	49,8065	32,0904	33,4367	34,3426
<b>Massa pós estufa (g)</b>	36,6604	33,9885	39,3598	34,1125	41,9481	40,9435 g	23,3248	25,0481	25,4785
<b>Umidade (%)</b>	12%	17%	16%	19%	18%	18%	27%	25%	26%
<b>Massa pré mufla (g)</b>	36,6604	33,9885	39,3598	34,1125	41,9481	40,9435 g	23,3248	25,0481	25,4785
<b>Massa pós mufla (g)</b>	34,5149	31,0572	36,2255	31,2142	38,6483	36,9889	21,0825	21,7552	21,8909
<b>Sólidos Voláteis (g)</b>	2,1455	2,9313	3,1343	2,8983	3,2998	3,95469	2,2423	3,2929	3,5876
<b>pH</b>	8			8			7		
<b>Teor de Sólidos Totais (%)</b>	35,33%	35,21%	35,24%	33,31%	32,42%	37,06%	29,02%	35,96%	36,78%
<b>Teor de Sólidos Voláteis (%)</b>	78,17%	76,79%	75,15%	74,06%	73,42%	75,78%	62,57%	69,91%	69,56%
<b>Teor de Sólidos Fixos (%)</b>	21,83%	23,21%	24,85%	25,94%	26,58%	24,22%	37,43%	30,09%	30,44%