

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LARA REANE DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE
ORIGEM ANIMAL EM PROPRIEDADES RURAIS**

FORMIGA – MG
2019

LARA REANE DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE
ORIGEM ANIMAL EM PROPRIEDADES RURAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Me. Antônio José dos Santos Júnior.

FORMIGA – MG

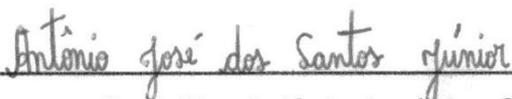
2019

Lara Reane dos Santos

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE
ORIGEM ANIMAL EM PROPRIEDADES RURAIS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química do UNIFOR-MG, como requisito
parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

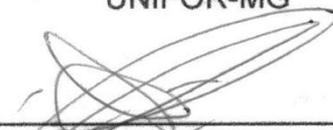
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Antônio José dos Santos Júnior
Orientador



Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira
UNIFOR-MG



Prof. Me. Fernando César Silva Lage
UNIFOR-MG

Formiga, 4 de Novembro de 2019

RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos dejetos animais é um grande desafio para regiões com alta concentração de produção pecuária. A utilização de biodigestores traz benefícios e fornece subprodutos de grande valor comercial, como gás metano, biogás e biofertilizantes. Os tipos de biodigestores mais usados são o modelo canadense, o indiano e o chinês. O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural e pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a valorização dos resíduos gerados e para a redução dos custos de produção. O biofertilizante residual pode ser usado na preparação do solo para a plantação de culturas. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre as vantagens da implantação de um biodigestor em uma propriedade rural e sua utilização em substituição ao botijão de gás liquefeito de petróleo. Em conclusão, nota-se que os biodigestores substituem o uso do botijão de gás, reduzindo os custos e impactos ambientais negativos gerados pela utilização de um combustível fóssil, além de reduzir o uso de fertilizantes químicos através da utilização dos biofertilizantes.

Palavras-chave: Dejetos animais. Biodigestores. Biogás.

ABSTRACT

The development of technologies for the treatment and utilization of animal waste is a major challenge for regions with a high concentration of livestock production. The use of biodigesters brings benefits and provides byproducts of great commercial value, such as methane gas, biogas and biofertilizers. The most commonly used types of biodigestors are the Canadian, Indian and Chinese models. Biogas is a gaseous fuel with a high energy content similar to natural gas and can be used for the generation of electrical, thermal or mechanical energy in a rural property, contributing to the valorization of the generated waste and to the reduction of production costs. Residual biofertilizer can be used in soil preparation for crop planting. In this context, the present work presents a bibliographical review about the advantages of the implantation of a biodigester in a rural property and its use in substitution to the liquefied petroleum gas cylinder. In conclusion, it is noted that biodigestors replace the use of gas cylinders, reducing the costs and negative environmental impacts generated by the use of a fossil fuel, as well as reducing the use of chemical fertilizers through the use of biofertilizers.

Keywords: Animal waste. Biodigesters. Biogas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética brasileira (2010 – 2016).....	14
Figura 2 - Distribuição das plantas e produção geral de biogás.....	15
Figura 3 - Esquema das reações da digestão anaeróbica	20
Figura 4 - Biodigestor modelo indiano.....	28
Figura 5 - Biodigestor modelo chinês	28
Figura 6 - Biodigestor modelo canadense.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz elétrica brasileira	17
Gráfico 2 - Fontes de biomassa	18
Gráfico 3 - Potência instalada de biogás por substrato	18
Gráfico 4 - Produção média de biogás por substrato	25
Gráfico 5 - Disposição final de RSU no Brasil	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equivalência energética do biogás.....	9
Tabela 2 - Produção média diária de dejetos animais e as respectivas produções de biogás.....	10
Tabela 3 - Grupos bacterianos e seus respectivos pH.....	22
Tabela 4 - Valores de TRH para resíduos animais.....	23
Tabela 5 - Relação C/N.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	JUSTIFICATIVA	12
4	REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1	Biogás	13
4.1.1	Composição e produção	15
4.1.2	Aplicações	16
4.2	Biodigestão	19
4.2.1	Inóculo inicial	20
4.2.2	Carga orgânica	21
4.2.3	Temperatura	21
4.2.4	pH e alcalinidade	22
4.2.5	Tempo de retenção hidráulica (TRH)	22
4.2.6	Presença de substâncias tóxicas	23
4.2.7	Relação de nutrientes	23
4.2.8	Formação de ácido sulfídrico	24
4.3	As diferentes fontes para produção de biogás	24
4.4	Estudos envolvendo produção de biogás em biodigestores	26
4.4.1	Modelo indiano	27
4.4.2	Modelo chinês	28
4.4.3	Modelo canadense	29
5	METODOLOGIA	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Antigamente o biogás era visto apenas como um subproduto da decomposição anaeróbica de resíduos de animais, de lixo urbano e de lodos provenientes de estações de tratamentos de esgotos domésticos. Entretanto, o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos e as constantes elevações dos preços dos combustíveis têm incentivado a produção de energia a partir de fontes alternativas e economicamente viáveis, buscando-se a criação de novos meios de produção energética que possibilitem a economia ou a conservação dos recursos naturais (VILLELA; SILVEIRA, 2006).

O biogás é uma mistura gasosa, fabricada pela fermentação da matéria orgânica. No geral, é constituído principalmente por cerca de 60 a 70% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono e outros gases como nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e gás sulfídrico (SANTANA; CINTRA, 2012).

O biogás é um combustível gasoso com elevado conteúdo energético, semelhante ao gás natural. Esse combustível pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, TAB. 1, diminuindo a dependência de fontes externas e contribuindo para a redução dos custos de produção (CASTANHO; ARRUDA, 2008). A composição do biogás varia, especialmente, conforme a temperatura no interior do biodigestor, o resíduo com que é alimentado e o tempo de retenção hidráulica (WALKER, 2009).

Tabela 1 - Equivalência energética do biogás

Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo diesel	0,55 L
Gás liquefeito de petróleo	0,45 kg
Álcool combustível	0,79 L
Lenha	1,538 kg
Energia elétrica	1,428kw/h

Fonte: DEGANUTTI *et al.* (2002).

O biodigestor apresenta-se como fonte alternativa de produção e geração de energia barata, evitando a poluição do meio ambiente através do aproveitamento dos resíduos animais. Cada propriedade de produção animal possui diferentes

produções de dejetos e, conseqüentemente, diferentes quantidades e qualidades de biogás gerado (TAB. 2).

Tabela 2 - Produção média diária de dejetos animais e as respectivas produções de biogás

Dejetos	Produção diária (kg/animal)	Produção de biogás (m ³ por ton)
Bovino	15	270
Suíno	2,25	560
Equinos	10	260
Ovinos	2,80	250
Aves	0,18	258

Fonte: Adaptado de SGANZERLA¹,1983 *apud* GASPAR (2003).

Segundo Gaspar (2003), a principal contribuição do biodigestor é que os dejetos produzidos são transformados em biogás e os resíduos do processo ainda podem ser utilizados como biofertilizantes. O emprego de biofertilizantes tem papel fundamental no aumento de produção, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover um desenvolvimento vegetativo adequado à obtenção de produtividade economicamente viável produtores rurais.

Os resíduos da biodigestão apresentam alto teor de nitrogênio, fosfato, potássio e demais nutrientes em consequência da perda de carbono. Além disso, o biofertilizante se encontra em grau avançado de decomposição, o que aumenta a sua eficiência e solubilização parcial de alguns nutrientes (ARRUDA *et al.*, 2002).

Nesse contexto, o presente trabalho representa uma dissertação sobre as vantagens da utilização de biodigestores como substitutos ao botijão de gás liquefeito de petróleo em pequenas propriedades rurais, e, conseqüentemente, a redução do uso de fertilizantes químicos através do aproveitamento dos biofertilizantes residuais.

¹SGANZERLA, Edílio. **Biodigestores**: uma solução. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho foi realizar um estudo bibliográfico sobre as vantagens da implantação de um biodigestor agrícola e sua utilização como substituto do botijão de gás liquefeito de petróleo.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar, a partir de informações bibliográficas, a produção de biogás através de um biodigestor, utilizando dejetos de animais.
- Avaliar as vantagens da implantação do biodigestor e sua utilização em substituição a botijões de gás liquefeito de petróleo e outras fontes energéticas.
- Propor a utilização dos resíduos gerados pelo processo de biodigestão como biofertilizantes.

3 JUSTIFICATIVA

O uso de biogás tem a finalidade de substituir os botijões de gás comerciais que contém os gases propano e butano com pequenas doses de enxofre para uma alternativa mais sustentável, que contém uma mistura do gás metano, do gás carbônico e outros gases com pequenas quantidades, sendo uma fonte abundante, não-poluidora e barata (BARREIRA, 2011).

O biofertilizante produzido a partir dos resíduos ajudará no crescimento de plantas, fortificando ainda mais a ideia do reaproveitamento e preservação do meio ambiente. Este poderia substituir os fertilizantes industrializados, atualmente empregados, que contém substâncias que podem afetar de forma negativa solo, lençóis freáticos e fauna. Além disso, essa nova alternativa reduziria custos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Biogás

O biogás pode ser definido, de acordo com Junior e Amorim² (2005, *apud* ALBUQUERQUE; ARAÚJO, 2016), como uma mistura de gases composta basicamente de metano e dióxido de carbono. Dentre as formas convencionais de produção de biogás, podem-se citar vermicompostagem, compostagem e digestão anaeróbica, que são importantes para aspectos como saneamento e energia e que incentivam a reciclagem de nutrientes e a reciclagem orgânica. O biogás é um gás inflamável, por causa de um dos seus componentes, o metano (BARRICHELLO *et al.*, 2015).

Segundo Barreira (2011), a matéria orgânica existente na Terra, como exemplo os dejetos de animais, é chamada de biomassa, uma fonte renovável que se encontra onde há existência de vida. A partir desta fonte se estima uma produção de biogás de cerca de 75 bilhões de toneladas por ano, que equivaleriam em torno de 1.500 bilhões de barris de petróleo por dia, o que seria dez vezes o consumo total de energia de todas as nações.

A biomassa gerada a partir de atividades agropecuárias contém uma vasta reserva energética de que o Brasil dispõe, porém encontra-se inerte, espalhada pelo país e pronta para o uso. O aproveitamento da biomassa gera novas oportunidades de emprego voltadas ao desenvolvimento sustentável (ITAIPU BINACIONAL/FAO³, 2009 *apud* FERREIRA, 2013).

Segundo Barreira (2011), essa energia existente na biomassa muitas vezes é perdida como forma de gases ou calor liberados na atmosfera devido à decomposição. Durante o processo de decomposição, as bactérias retiram da biomassa substâncias para continuarem vivas e em troca devolvem o gás (biogás) e o calor para atmosfera.

Segundo o Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) (2010), o biogás pode ser obtido por meio de tratamento de resíduos domésticos,

²JUNIOR, L. J.; AMORIM, A. C. Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor. **Anais do ZOOTEC 2005** - 24 a 27 de maio de 2005 - Campo Grande-MS.

³ITAIPU BINACIONAL/FAO. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. **Revista Itaipu Binacional/FAO**. 2 ed. 2009. Foz do Iguaçu/Brasília. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/publicacoes/biomassRev.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2019.

agropecuários e industriais através da biodegradação anaeróbica, ou seja, pela ausência de oxigênio. Pode gerar energias elétrica e térmica, biocombustível e durante o seu processo há produção de biofertilizantes, podendo ser produzido por produtores rurais, aterros sanitários e indústrias relacionadas à agropecuária.

A Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás) acredita que:

Atualmente, o Brasil apresenta o maior potencial energético do mundo: 84,6 bilhões Nm³/ano entre saneamento (7%), resíduos agroindustriais (45%) e resíduos sucroenergéticos (48%). Esse potencial tem capacidade de suprir quase 40% da demanda nacional de energia elétrica ou substituir 70% do consumo brasileiro de diesel (ABiogás, 2019, [s.p]).

Dallacorte (2018) cita que a cinco anos atrás não havia mercado nacional de biogás e a Itaipu Bionacional foi a grande pioneira no desenvolvimento de Biogás, ou seja, se comparado ao restante do mundo, o Brasil tem uma participação de apenas 0,05% de biogás na sua matriz energética, o que é pouco, mas é muito relevante pois consegue gerar a mesma produção da energia solar (FIG. 1).

A oferta interna de biogás no Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2017) está representada a seguir (FIG. 1).

Figura 1 - Participação do Biogás na oferta interna de energia (%) (2010-2016)



Fonte: EPE (2017).

A oferta de Biogás no Brasil aumentou significativamente nos últimos anos, e de acordo com a FIG. 1, o que em 2010 representava apenas 0,01% na energia interna da matriz brasileira, com uma oferta de 15 mil tep, até o último ano de

pesquisa, 2016, passou a representar 0,05% na matriz energética e uma oferta de 137 mil tep (toneladas equivalentes de petróleo).

Em 2015, de acordo com a EPE (2017), o setor de biogás no Brasil contava com 126 plantas que produziam uma média de 1,373 milhões Nm³ por dia (FIG. 2).

Figura 2 - Distribuição das plantas e produção geral de biogás



Fonte: EPE (2017).

4.1.1 Composição e produção

O Biogás é formado por vários gases, destacando-se o metano (CH₄), representando cerca de 60%, o dióxido de carbono (CO₂), representando 35%, o dióxido de enxofre (SO₂), o hidrogênio (H₂) e outras misturas de gases (nitrogênio, monóxido de carbono, ácido sulfídrico, amônia, oxigênio e aminas voláteis) que representam os outros 5% da sua composição (BARRICHELLO *et al.*, 2015).

O metano [...] não tem cheiro, cor ou sabor. Mas os outros gases presentes têm um cheiro semelhante ao do ovo podre. Como sua participação é pequena, esse odor é muito discreto e quase sempre imperceptível. Na queima, ou seja, após ser o gás utilizado, o cheiro desaparece – de modo que ele nunca será sentido pelo usuário (BARREIRA, 2011, p.9-10).

O odor pode ser causado pelo dióxido de enxofre, apesar da pequena quantidade na composição e o dióxido de enxofre pode ser bastante corrosivo (BARRICHELLO *et al.*, 2015).

Na produção do biogás ocorre um processo natural espontaneamente em ambiente anaeróbico (sem a presença de oxigênio). A fermentação ou digestão é feita pelos microrganismos como parte do ciclo biológico da matéria orgânica (SOLANO; VARGAS; WATSON, 2010). Albuquerque e Araújo (2016) afirmam que a digestão anaeróbica é a de maior eficiência em se tratando de resíduos, por proporcionar uma redução de poluição e os subprodutos gerados podem ser valorizados.

Pinto (1999) afirma que a degradação de matéria orgânica em um ambiente anaeróbico é obtida através dos microrganismos que são capazes de utilizar moléculas no lugar do oxigênio, como receptores de hidrogênio. A reação pode ser simplificada através da Equação 1.



4.1.2 Aplicações

A geração de biogás tem diversas vantagens, principalmente em se tratando de meio ambiente, porque esta tem a capacidade de, através da biodigestão, transformar os dejetos que causam poluição, em energia útil para que esta possa ser aproveitada. É uma forma de substituir energias não renováveis, contribuindo assim com a melhora da qualidade de vida de uma população e a preservação do meio ambiente (PASSAGLIA *et al.* 2019).

O biogás pode ser utilizado em aplicações termodinâmicas como geração de frio, calor e potência e em equipamentos estacionários como fogões, lampiões, campânulas para aquecimento, conjuntos motobomba e conjuntos geradores, entre outros (PINTO, 1999).

Lins, Mito e Fernandes (2015) acreditam que o aproveitamento do biogás como utilização energética é de grande importância para a economia, pois existe uma descentralização da geração de energia que é medida em quilowatt hora, em sanidade ambiental e desenvolvimento microeconômico local. Além disso há ganhos ambientais por causa de um benefício do manejo do solo e a manipulação dos

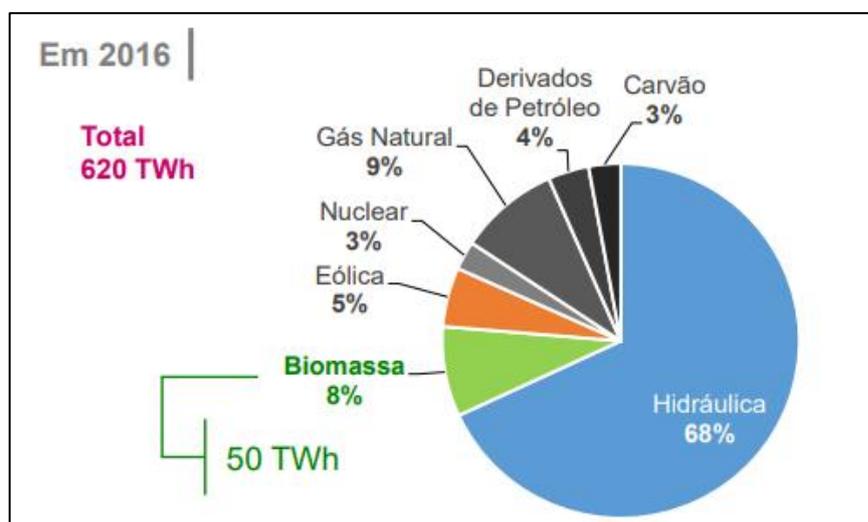
produtos gerados pelos resíduos orgânicos. Exemplos disso são a lixiviação de nitrogênio, metano e amônia.

Milanez *et al.* (2018) citam dentre as aplicações comerciais do biogás, a fabricação do biometano, após retirar-se o CO₂ e os contaminantes, substituindo o gás natural, em especial o veicular e também a utilização como fertilizantes, além da energia térmica através da queima em motogeradores e para utilização nas médias e pequenas propriedades rurais.

As aplicações de produção de Biogás, de acordo com Milanez *et al.* (2018), de onde são derivadas e suas possíveis utilizações são:

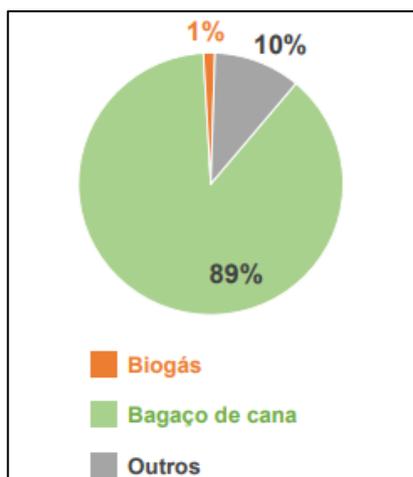
- Energia térmica: derivada de fonte majoritariamente agropecuária, proveniente da queima do biogás, podendo ser usufruída em aquecedores e caldeiras. Apresenta amplo potencial de uso industrial em processos que exigem calor, podendo substituir o gás de cozinha e os sistemas de aquecimento de água.
- Energia elétrica: adquire-se quando o biogás é usufruído para acionamento de motogeradores. “Em relação à oferta total de energia elétrica (620 TWh), a participação do biogás chegou a 0,08% (0,5 TWh) em 2016, o que correspondeu a 1% de toda a energia gerada a partir de biomassa (50 TWh, ou 8% do total da oferta de energia elétrica)” (MILANEZ *et al.*, 2018, p. 231). Tais números podem ser reforçados nos gráficos a seguir (GRAF. 1 e GRAF. 2).

Gráfico 1 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: EPE (2017).

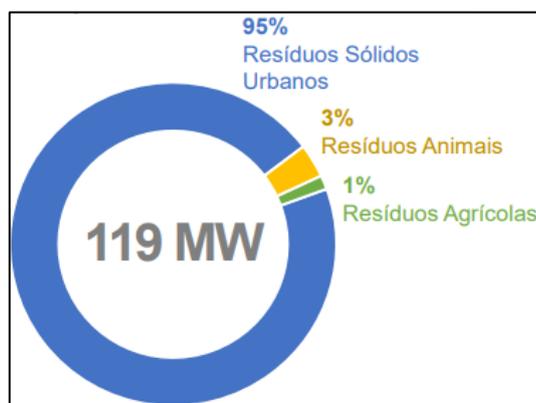
Gráfico 2 - Fontes de biomassa



Fonte: EPE (2017).

Em relação à potência instalada, o biogás contribuiu com 119 MW em 2016, e de acordo com Milanez *et al.* (2018) este número era de 20 MW no ano de 2007, com um crescimento de 66% ao ano. Da produção de biogás no ano de 2016, 3% foi proveniente de resíduos animais (GRAF. 3).

Gráfico 3 - Potência instalada de biogás por substrato



Fonte: EPE (2017).

Prevê-se que até 2021 se inicie a primeira planta participativa de energia elétrica do mercado de biogás (EPE, 2017).

- Substituição do gás natural veicular (biometano): o biogás purificado torna-se um substituto ideal do gás natural nas suas diversas aplicações, apresentando um alto potencial de uso. O espaço primordial de mercado do biometano estaria na interiorização, ou seja, no auxílio às regiões não englobadas pela rede pequena de fornecimento de gás natural do país,

viabilizada pela sua possibilidade de geração descentralizada, visto que, nas regiões atendidas por gasodutos, o biometano não denota custos competitivos com relação ao gás natural. O biometano seria um substituto do diesel, utilizado em veículos urbanos ou rodoviários e máquinas agrícolas (MILANEZ *et al.* 2018).

- Fertilizantes: o biofertilizante constitui-se do resíduo não orgânico produzido no processo de biodigestão. Pode-se diluí-lo em água para ser utilizado diretamente nas lavouras (como fertirrigação) ou em processos de secagem/compostagem para ser armazenado ou vendido na forma sólida (ARAÚJO, 2017).

4.2 Biodigestão

Para que se possa produzir o biogás, necessita-se de um equipamento denominado biodigestor. É um equipamento constituído de uma câmara fechada, na qual deposita-se material orgânico em uma solução aquosa, que sofre fermentação anaeróbica, ou seja, ocorre a biodigestão anaeróbica da matéria, liberando assim o gás que vai se acumular na parte superior da câmara (DEGANUTTI *et al.*⁴, 2002 *apud* DOMINIAK; TONELLO; SILVA, 2016). Os biodigestores são equipamentos herméticos e impermeáveis, em que ocorre a formação de gases como o metano e dióxido de carbono (MAGALHÃES⁵, 1986 *apud* FERREIRA, 2013).

Outro produto, além do biogás, que pode ser produzido pelo processo de biodigestão é biofertilizante, utilizado para que se possa reduzir o gasto energético na produção dos fertilizantes minerais e como adubo orgânico utilizado na agricultura. O Brasil é o terceiro país que mais produz alimentos no mundo, mas em contrapartida é o quarto maior importador de fertilizantes. Os biofertilizantes ajudam na agricultura e são uma importante fonte de renda para empreendimentos de biodigestores (MATOS, 2016).

Orrico (2016) realizou uma pesquisa em relação a biodigestão anaeróbica dos dejetos bovinos. O rendimento dessa biodigestão, quando os dejetos bovinos eram utilizados como os únicos componentes dos substratos, foi de 370 litros de biogás e

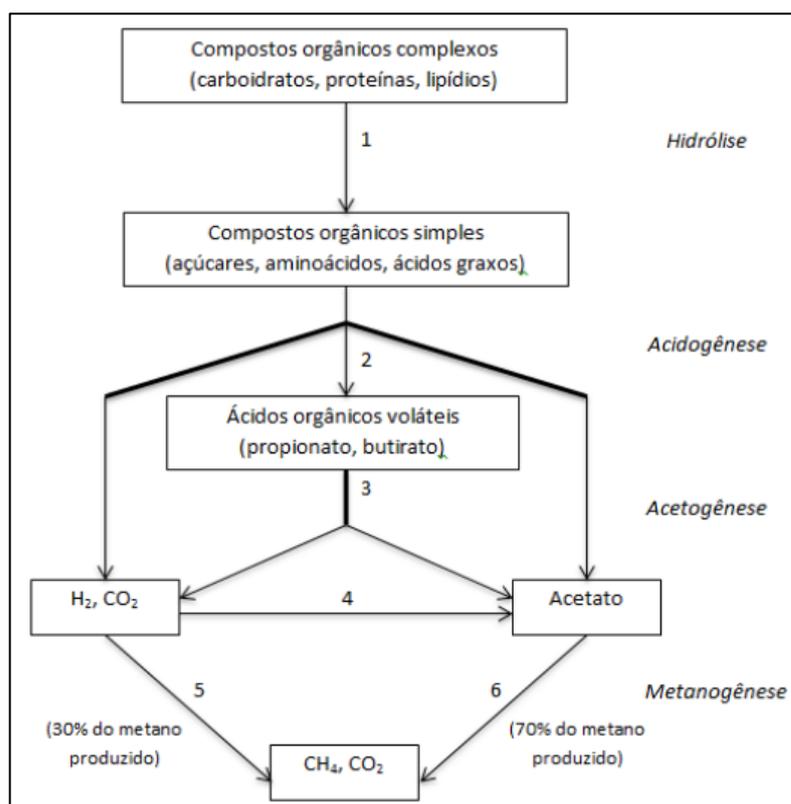
⁴DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores Rurais**: modelo indiano, chinês e batelalda. 2002. Disponível: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzv02wx>. Acesso em: 01 de out. de 2015.

⁵MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás**: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986, 120p.

250 litros de metano a cada quilograma de sólidos voláteis (SV) adicionado. Estes valores podem aumentar em até 41,1%, no rendimento de biogás e metano, quando os resíduos lipídicos atuam juntamente com os dejetos bovinos.

As etapas da biodigestão anaeróbica estão representadas a seguir (FIG. 3).

Figura 3 - Esquema das reações da digestão anaeróbica



Fonte: Adaptado de SPEECE (1983).

A biodigestão é um processo no qual alguns fatores influenciam no controle e na operação de processos anaeróbicos.

4.2.1 Inóculo inicial

O inóculo é um material que já passou por um processo de biodigestão, sendo capaz de proporcionar uma população adicional de microrganismos típicos da biodigestão anaeróbica a um novo substrato (SOARES; PAES; ALVES, 2018).

Tem importância por equilibrar os substratos que necessitem de microrganismos apropriados. Outro motivo de adicionar-se o inóculo inicial é a

velocidade de crescimento baixa dos microrganismos, incentivando a quantidade de bactérias suficientes (ALVES, 2016).

4.2.2 Carga orgânica

Indica a quantidade de material novo que é agregado no processo em cada unidade de tempo, englobando teores de sólidos totais (material que permanece quando há a evaporação da água do substrato) e sólidos voláteis (especifica a parte orgânica seca). O processo inicia-se com uma carga baixa que é aumentada gradativamente de acordo com o crescimento dos microrganismos. Se ao adicionar-se grande taxa de carga orgânica a um sistema que tem pequena quantidade de microrganismos, estes não são suficientes para degradar o material, podendo formar ácidos graxos, levando à diminuição do pH. Desse modo, gera-se um biogás instável e há desequilíbrio na cadeia de degradação (KARLSSON *et al.*⁶, 2014 *apud* ALVES, 2016).

4.2.3 Temperatura

Na produção do biogás, libera-se pouca energia em forma de calor, sendo que a maior parte desta energia liberada é pela respiração celular que se relaciona com o metano. Ou seja, é primordial que a temperatura do biodigestor se mantenha constante (ARAÚJO, 2017).

Segundo Onudi⁷ (2016 *apud* ALVES, 2016, p. 29), o crescimento de bactérias se duplica cada vez que há um aumento de 10 °C. Conseqüentemente as taxas de produção de metano variam de 50% até 100% mais elevadas em relação a digestão anaeróbica termófila do que em relação a digestão anaeróbica mesófila.

⁶KARLSSON, T. *et al.* **Manual básico de biogás**. Lajeado: Ed. da Univates, p.37-45, 2014.

⁷ONUDI. **Programa de capacitação em energia renováveis: o biogás**. Observatório de Energia Renováveis para a América Latina e o Caribe, p. 24-113, 2016.

4.2.4 pH e alcalinidade

Em pH entre 7 e 8,5 são obtidos os rendimentos maiores. E para que o pH permaneça com os níveis desejados, há necessidade de uma alcalinidade alta (ALVES, 2016).

A TAB. 3 apresenta grupos de bactérias presentes e o pH ideal para que ocorra a manutenção de suas atividades.

Tabela 3 - Grupos bacterianos e seus respectivos pH

Grupo Bacteriano	pH
Bactérias Fermentativas	7,2 – 7,4
Bactérias acetogênicas	6,0 – 6,2
Bactérias metanogênicas	6,5 – 7,5

Fonte: ALVES (2016).

Se o pH do meio é inferior a 6,5, reduz-se a atividade das bactérias metanogênicas acetoclásticas, enquanto que a um pH inferior a 5,5, sua atividade cessa completamente. Abaixo de 4,5 detém-se a atividade de todos os microrganismos no sistema. Para que todo o processo anaeróbico se desenvolva adequadamente em um único digestor, o pH deve possuir um valor próximo de 7, mantendo-o entre 6,6-7,6. Uma das dificuldades é a manutenção do pH acima de 6,6. Os ácidos orgânicos são produtos intermediários produzidos pelos microrganismos. A presença de uma concentração muito alta de ácidos orgânicos reduz o pH, a produção de metano, e pode causar a acidificação ou parada do digestor (ONUDI⁷, 2016 *apud* ALVES, 2016, p. 30).

4.2.5 Tempo de retenção hidráulica (TRH)

É o tempo que se necessita para fazer a substituição de todos os materiais no digestor. Ou seja, o tempo que se necessita para converter hidrocarbonetos em CH₄ e CO₂. É a relação entre o volume do biodigestor (V), dado em [m³], e o volume diário de carga, a vazão ou a velocidade volumétrica do fluido (Q), dado em [m³/d] (ALVES 2016).

Segundo Alves (2016), o aumento do TRH é proporcional ao aumento da quantidade de matéria orgânica degradada e inversamente proporcional à produção volumétrica do metano. A TAB. 4 demonstra os valores de TRH para resíduos animais.

⁷ONUDI. **Programa de capacitação em energia renováveis**: o biogás. Observatório de Energia Renováveis para a América Latina e o Caribe, p. 24-113, 2016.

Tabela 4 - Valores de TRH para resíduos animais

Matéria Prima	TRH (dias)
Esterco bovino líquido	20-30
Esterco suíno líquido	15-25
Esterco de ave líquido	20-40

Fonte: ALVES (2016).

4.2.6 Presença de substâncias tóxicas

A presença de inibidores que apresentam toxicidade para microrganismos é causada pelo aumento da concentração de ácidos graxos voláteis no meio e a diminuição na produção de metano. Quando as bactérias não se adaptam a determinadas concentrações de tóxico, estes são bactericidas, e quando elas se adaptam, estes são bacteriostáticos. As bactérias mais sensíveis são geralmente as metanogênicas. As substâncias geradas como produtos intermediários são considerados os principais compostos tóxicos, são eles H₂, AGV (acúmulo de ácidos graxos voláteis), H₂S; substâncias que ao entrarem no digestor, entram de forma acidental como O₂ e tóxicos; compostos com ligações carbono-carbono insaturadas; cianetos; amoníaco e amônio; cátions de metais alcalinos e alcalino-terrosos; metais pesados; e compostos clorados (ALVES, 2016).

4.2.7 Relação de nutrientes

O processo de biodigestão necessita de uma pequena quantidade de nutrientes, por causa do índice da produção de biomassa ser baixo. Estes nutrientes principais são nitrogênio, carbono e enxofre. A TAB. 5 mostra a relação de carbono e nitrogênio (C/N) para diferentes substratos. Recomenda-se uma relação de 20:1 a 30:1.

Tabela 5 - Relação C/N

Substrato	Relação C/N
Chorume suíno	18-20
Chorume bovino	15-24
Estrume	15
Resíduos de matadouro	1-8
Resíduo de cozinha	25

Tabela 5 - Relação C/N

(continua)

Substrato	Relação C/N
Resíduos de frutas	35
Lodos de depuradora	16
Peles de batata	25
Cevada, arroz, trigo	60-90

Fonte: ALVES (2016).

De acordo com Onudi⁷ (2016 *apud* ALVES, 2016, p. 29), necessita-se menos de enxofre do que de fósforo, e o enxofre pode causar mau cheiro por causa da presença de sulfeto de hidrogênio (H₂S). O H₂S é também um gás tóxico que ao ser queimado juntamente com o biogás, pode produzir problemas sérios de corrosão.

4.2.8 Formação de ácido sulfídrico

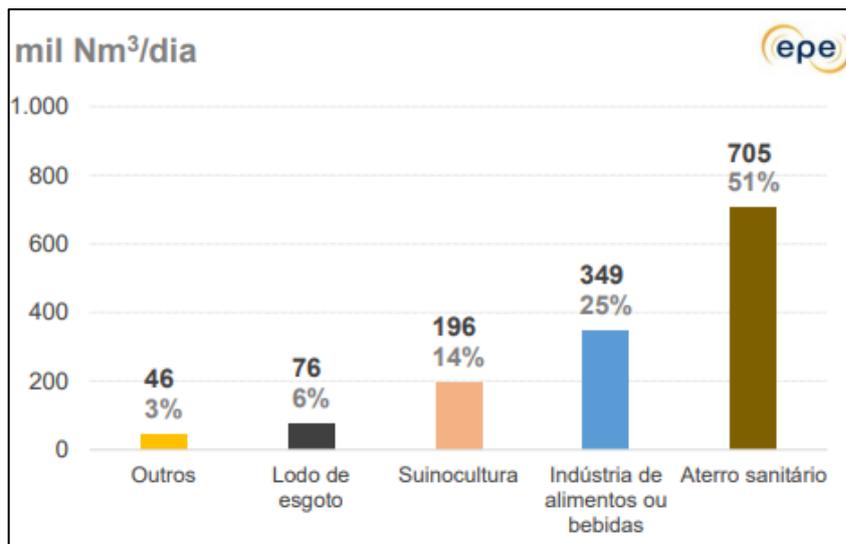
Sulfobactérias são adicionadas em biodigestores, devido ao fato de serem capazes de diminuir sulfetos e sulfatos utilizando-se o oxigênio que é produzido por bactérias metanogênicas, inibindo a formação de metano.

4.3 As diferentes fontes para produção de biogás

O Biogás é proveniente de diversas fontes, e no GRAF. 4 estão relacionados alguns substratos utilizados.

⁷ONUDI. **Programa de capacitação em energia renováveis**: o biogás. Observatório de Energia Renováveis para a América Latina e o Caribe, p. 24-113, 2016.

Gráfico 4 - Produção média de biogás por substrato



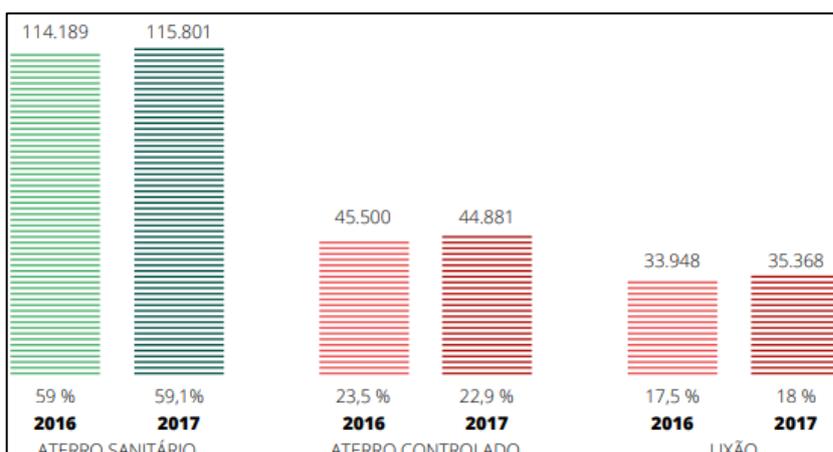
Fonte: EPE (2017).

Em outros incluem-se: indústria de laticínios, bovinocultura de leite ou corte, abatedouro de suínos ou aves, esgoto, indústria sucroenergética e codigestão de resíduos e efluentes.

Pode-se observar que de todo o biogás que foi produzido no Brasil, mais da metade (705 mil Nm³/dia) foi proveniente dos aterros sanitários.

A população brasileira gera cerca de 78,4 milhões de toneladas por ano de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo destinados a lixões, aterros controlados e aterros sanitários (GRAF. 5).

Gráfico 5 - Disposição final de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE (2015).

Observa-se que foi registrado um índice de 59,1% para aterro sanitário, 22,9% para aterro controlado (ambos são os mais adequados para a finalidade em questão) e 18% para lixões, no ano de 2017.

“O acúmulo de resíduos urbanos constitui fonte de poluição e custos para as cidades. Uma vez superados os desafios relacionados à separação dos resíduos não orgânicos, o lixo urbano pode se transformar em fonte abundante de biogás” (MILANEZ *et al.* 2018, p. 253).

Um problema relacionado ao biogás (em especial relacionado ao biometano) provido de aterros sanitários é sua elevada taxa de siloxanos, um material contaminante, o qual necessita de tratamento adicional para que possa ser usado nos motores. Alguns níveis máximos recentemente estabelecidos foram aceitos para a presença de siloxanos no biometano (MILANEZ *et al.* 2018).

De acordo com Milanez *et al.* (2018) foi a partir da mistura de estrume com água, realizada por Louis Pasteur, no século XIX, que houve geração de gás, que é o biogás, descoberto no século XVII. O Brasil é considerado um dos maiores produtores mundiais de frangos, gado suíno e bovino. Em relação a criação de bovinos, estes têm uma contribuição pequena em se tratando de produção de biogás, porque no Brasil o gado é criado de forma extensiva e isso cria uma dificuldade para que os resíduos possam ser coletados. Mesmo a quantidade de bovinos sendo estimada em um número superior à população humana – 219 milhões e 208 milhões, respectivamente – e eles produzirem mais de um milhão de toneladas de resíduos por ano. Essa atividade produz dejetos e resíduos da produção, cujo descarte é uma fonte de poluição do solo e de recursos hídricos, bem como de emissão de gás metano (não tratado) na atmosfera.

4.4 Estudos envolvendo produção de biogás em biodigestores

Os biodigestores foram desenvolvidos para que se pudesse reutilizar os dejetos de uma forma ecologicamente correta. Transforma-se o material que seria descartado diretamente ao meio ambiente em produtos que podem ser reutilizados pela própria propriedade. Eles são alimentados por biomassa, matéria orgânica vegetal ou animal, podendo ser adquirida por meio de resíduos florestais, urbanos e agropecuários (MACÊDO, 2012). Por meio destes reatores torna-se possível gerar o biogás, que é uma fonte renovável de energia, ou seja, produz uma fonte de energia

primária, reduzindo ao mínimo o potencial de poluição e os riscos sanitários dos dejetos e permitindo a reciclagem do efluente através da produção de biofertilizante, que é utilizado nos solos para agricultura (PAES; BRUGGIANESI; SOARES, 2018).

O biodigestor é formado por uma parte física denominada de câmara, na qual se tem o processo de degradação da matéria orgânica. Esta estrutura pode ser superficial, vertical ou cilíndrica, ou seja, acima do solo, acompanhada de uma campânula onde se acumula o gás que é desprendido da digestão da biomassa chamado de gasômetro (FRIGO *et al.*, 2015).

De acordo com Amaral, Steinmetz e Kunz (2019), os biodigestores podem ser caracterizados pela sua forma de alimentação – como ascendente ou laminar – pelo regime de alimentação – contínuo ou batelada –, pela concentração dos sólidos presentes no reator – digestão sólida (> 20%); semissólida (10 a 15%); e úmida (<10%) e pelo sistema de agitação (mistura completa, parcial ou não há mistura).

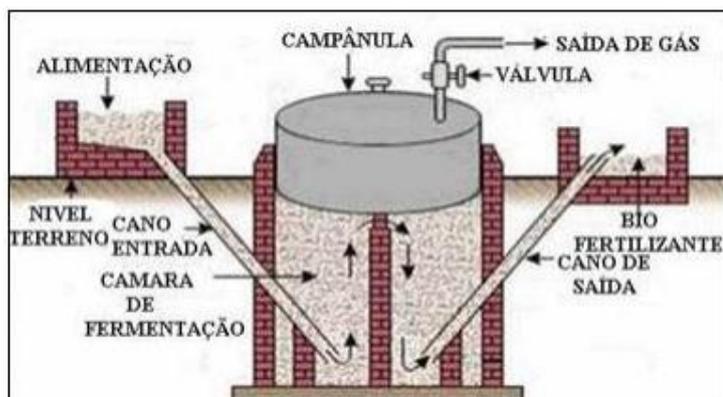
Segundo Frigo *et al.* (2015) existem três tipos de modelos de biodigestores, o indiano, o chinês e o canadense.

4.4.1 Modelo indiano

De acordo com Araújo (2017), Bezerra (2016), Frigo *et al* (2015), o modelo de biodigestor indiano (FIG. 4) possui uma campânula (tampa) denominada de gasômetro, a qual pode estar mergulhada na biomassa em fermentação ou em um selo de água externo, controlando assim, a pressão do gás e regulando a emissão. Possui pressão de operação constante, fácil construção, pode ser adaptado ao tipo de solo e ao clima local, sem a necessidade de estabelecer medidas fixas de diâmetro e profundidade (FRIGO *et al.*, 2015).

A alimentação deve ser de resíduos sólidos orgânicos aos quais é acrescido água e apresentam taxas não maiores que 8% de sólidos totais, facilitando assim, que o material circule e não obstrua a tubulação de entrada e saída (BEZERRA, 2016).

Figura 4 - Biodigestor modelo indiano

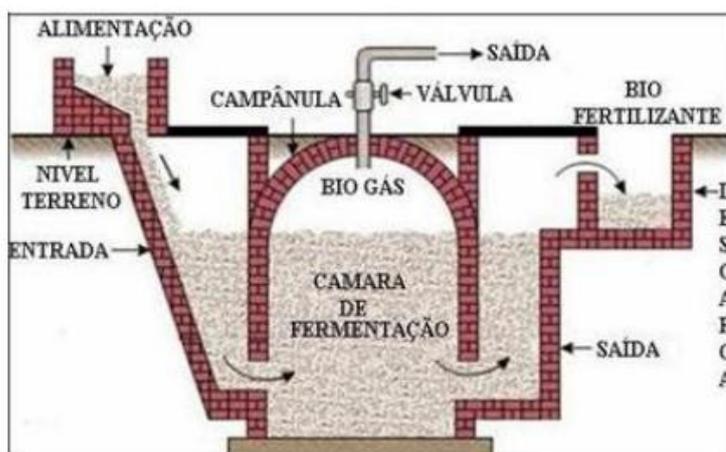


Fonte: ALMEIDA; FERNANDES (2016).

4.4.2 Modelo chinês

O modelo Chinês (FIG. 5) é composto por uma câmara de fermentação em formato cilíndrico feita de alvenaria, onde ocorre o processo de fermentação, um teto abobado, impermeável para que ocorra o armazenamento do biogás (ARAÚJO, 2017).

Figura 5 - Biodigestor modelo chinês



Fonte: ALMEIDA; FERNANDES (2016).

Funciona com o princípio de uma prensa hidráulica e ocorre aumento de pressão dentro do biodigestor por causa do acúmulo de biogás, o que resulta no deslocamento do efluente que estava na câmara de fermentação para a caixa de saída (FRIGO *et al.*, 2015).

O percentual de sólidos totais, de acordo com Bezerra (2016), é o mesmo que do modelo Indiano (não mais que 8%), facilitando assim a circulação do material e evitando também entupimentos nas tubulações.

4.4.3 Modelo canadense

Uma das coisas que difere o modelo canadense (FIG. 6) dos demais é pelo fato dele ser do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga de material alvenaria, com a profundidade menor que a largura, ou seja, a área de exposição ao sol é maior, produzindo grande quantidade de biogás (FRIGO *et al.*, 2015).

Figura 6 - Biodigestor modelo canadense



Fonte: ARAÚJO (2017).

A cúpula é feita de plástico maleável que infla à medida que o biogás é produzido e este pode ser acumulado ou enviado a um gásômetro, obtendo maior controle operacional. Apresenta uma vantagem em relação ao modelo Indiano, por poder receber uma quantidade elevada de resíduos e comparando-se ao chinês, este não sofre rachaduras causando danos na estrutura (ARAÚJO, 2017).

5 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter exploratório, descritivo e qualitativo, no qual adotou-se um levantamento bibliográfico fundamentado em livros, artigos científicos, revistas científicas, dissertações, teses e monografias, no período de 2002 a 2019.

Baseando-se em autores como Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004), Kunz e Oliveira (2006), Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior (2010), Kaiber (2014) e Pereira (2018), foi possível abordar as vantagens da implantação de um biodigestor agrícola em substituição ao botijão de gás liquefeito de petróleo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são discutidos alguns trabalhos da literatura, os quais citam as vantagens da utilização de biodigestores em substituição ao botijão de gás liquefeito de petróleo. Nota-se que biodigestores têm potencial para substituir o botijão de gás em operações de cocção domésticas ou industriais, reduzindo os custos e impactos ambientais negativos gerados pela utilização de um combustível fóssil, além de reduzir o uso de fertilizantes químicos através da utilização de biofertilizantes residuais.

Conforme Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004), a caprinocultura, assim como as demais atividades de produção animal, gera considerável volume de resíduos que, se gerenciados de maneira inadequada, provocam perdas de potencial energético produtivo e calorífico. Os autores utilizaram dejetos de caprinos em diferentes estados fisiológicos e submetidos ao mesmo regime alimentar, nas quatro estações do ano. Os totais de biogás produzidos foram 1,06 m³ no verão, 0,88 m³ no outono, 0,88 m³ no inverno e 0,99 m³ na primavera, com produção média de 0,02 m³debiogás/kg de substrato e 0,2 m³ de biogás/kg de estrume. As reduções médias de coliformes totais e fecais foram de 99,99%, e os teores máximos de CH₄ no biogás foram 88,3, 84,6, 80,6 e 79,2%, para o verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Em conclusão, os resíduos de caprinos são bons substratos para o processo de digestão anaeróbia, e o processo de biodigestão anaeróbia mostrou-se eficiente na remoção de coliformes dos dejetos de caprinos.

De acordo com Kunz e Oliveira (2006), o grande desafio das regiões com alta concentração de animais é a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e principalmente a utilização do metano como fonte de energia térmica em substituição ao Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) na produção de suínos e aves. Os autores desenvolveram um trabalho para avaliação da produção de biogás em uma propriedade com 400 suínos nas fases de crescimento e terminação, utilizando um biodigestor modelo canadense. O trabalho demonstrou que o biogás produzido diariamente pelos dejetos gerados pelos 400 suínos pode substituir o GLP que é utilizado como fonte de calor, capaz de gerar energia térmica suficiente para aquecer o ambiente interno de um aviário, mantendo a temperatura confortável para produção de 14.400 frangos de corte. A utilização de biodigestores para geração de biogás nas propriedades rurais e para geração de calor e energia é uma alternativa

viável e têm despertado a atenção de produtores rurais, pela possibilidade de agregar valor aos dejetos animais.

Tal qual Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior (2010), a avicultura de corte gera uma quantidade enorme de resíduos, como cama de frangos e aves mortas, que, se bem manejados poderão tornar-se um modelo de produção sustentável, sendo necessário a adoção de um sistema de tratamento dos resíduos a fim de evitar contaminações do ambiente. Os autores realizaram um levantamento sobre os potenciais de geração de metano a partir dos resíduos da produção avícola e ressaltaram a importância do aproveitamento de tais resíduos com potenciais de 0,20-0,25 m³ de CH₄.kg⁻¹ de carcaça de aves; 0,10-0,15 m³ de CH₄.kg⁻¹ de cama de frango; 0,05 m³ de CH₄.kg⁻¹ de pena; 0,10 m³ de CH₄.kg⁻¹ de sangue; e 0,30 m³ de CH₄.kg⁻¹ de vísceras, pés e cabeça. Apesar de possuir elevado potencial de produção de metano, as carcaças de aves são pouco utilizadas na produção de biogás, devido à dificuldade de manipulação e à necessidade de sistemas específicos de biodigestão anaeróbica muito complexos e de alto custo relativo aos sistemas comumente utilizados em propriedades rurais. A pré-compostagem antecede a compostagem e é aplicada para compostar animais mortos, necessária para que ocorra uma decomposição prévia das aves, facilitando o manejo do material, proporcionando melhor uniformidade e evitando sua exposição ao ambiente e a predadores. Após 60 dias de pré-compostagem, o material foi utilizado para abastecimento de três biodigestores do tipo batelada de campo. Escolheu-se o modelo batelada, pois é um sistema mais adequado para o tratamento de resíduos que são removidos com menor frequência. Em conclusão, a biodigestão anaeróbica dos resíduos da produção avícola não demonstrou grande eficiência do ponto de vista de produção de gás, sendo encontrado reduzido potencial de produção, o que inviabilizaria o emprego do processo. Em contrapartida, sua utilização foi positiva na conservação dos nutrientes contidos no resíduo, na redução da emissão de odores e coliformes.

Consoante Kaiber (2014), a suinocultura é uma das principais fontes de renda de famílias do meio rural, a qual necessita do uso de técnicas específicas em relação ao excesso de dejetos produzidos. Com o uso de um biodigestor, além da produção do biofertilizante pela fermentação dos dejetos, pode-se utilizar o biogás resultante como combustível em diversos processos. A propriedade rural estudada possui uma área de 27,4 hectares, onde são criados 450 suínos que chegam a um

peso médio de 22 kg. O custo da implementação do biodigestor na propriedade rural é de aproximadamente R\$ 19.490,00, mas torna-se viável devido a uma produção média de 33,75 m³ de biogás por dia. Para a produção equivalente a um botijão de 13 kg são necessários 30 m³ de biogás, mas o consumo de gás na propriedade é pequeno, e o restante do biogás produzido poderia ser utilizado desde o aquecimento da água para higienização dos equipamentos da ordenha até a sua utilização como fonte de energia em um motor estacionário para fazer a fertirrigação das lavouras. Somente com a produção dos dejetos utilizados de forma correta na adubação o produtor teria uma enorme economia na compra de fertilizantes químicos. Portanto, a instalação do biodigestor mostra-se economicamente viável, desde que o produtor possa fazer o uso de todo o biogás gerado.

Segundo Pereira (2018), um dos principais problemas associados à criação de bovinos é a alta produção de dejetos, principalmente o esterco. O autor desenvolveu um trabalho com o objetivo geral de implantar um biodigestor de baixo custo para processar dejetos de gado leiteiro para produção de biogás, visando a substituição parcial do botijão de gás no processo de fabricação de queijo realizado no local. A propriedade selecionada está localizada no município de Araranguá, Santa Catarina, com área de 11 hectares, e o modelo de biodigestor selecionado foi o modelo indiano. A caracterização do biogás produzido indicou concentração média de CH₄ de 73,1%±2,9% (v/v), indicando valor energético satisfatório com potencial para suprir parcial ou totalmente o gás liquefeito de petróleo. Entretanto, a presença de H₂S (40 ppmV) e de NH₃ (175 ppmV) na composição do biogás sugere a aplicação de um tratamento para redução da concentração de tais componentes. Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o biodigestor sob forma líquida, rica em húmus, que aplicado ao solo tem potencial para melhorar sua qualidade física, química e biológica.

A aplicação de biodigestores ajuda no desenvolvimento econômico, proporcionando grande benefício financeiro com retorno certo de investimento, superando múltiplas vezes os investimentos ou aplicações do mercado atual. Segundo Esperancini *et al.* (2007), os benefícios advindos do biogás para o uso domiciliar apresentam vantagem comparativa em relação ao uso de fontes convencionais, como energia elétrica e gás liquefeito de petróleo. As economias de energia do sistema resultam em R\$ 3.698,00 por ano frente aos custos totais que

foram de R\$ 1.218,50 ao ano. Para o biodigestor direcionado à produção, os resultados mostram a viabilidade econômica do processo, pois frente ao mesmo custo anual, foram geradas economias de custos de R\$ 9.080,57 por ano, o que permite que o investimento seja recuperado em 11 meses.

O biofertilizante, efluente gerado pela biodigestão, é um líquido rico em matéria orgânica usado como adubo no solo, enriquecendo-o. Uma das principais vantagens do uso na agricultura é o baixo custo, fora o fato de não gerar problemas relacionados à acidez e a degradação do solo, como ocorre com o uso de fertilizantes químicos. O biofertilizante possui teores de nutrientes iguais e até maiores que o do fertilizante químico, pois a fermentação anaeróbia faz com que haja menos perda de nutrientes, principalmente o nitrogênio, cujo teor médio total é de 0,7%; o de fósforo é de 0,5% e o de potássio, 0,7%. Seu pH (médio) é de 6,9 e a relação carbono/nitrogênio (C/N) é de 11/1 (BARBOSA; LANGER, 2011).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado teve como principal finalidade analisar as vantagens da implementação de um biodigestor como fonte alternativa de energia térmica para substituição do botijão de gás liquefeito de petróleo. A tecnologia da biodigestão anaeróbica se mostra eficiente nos ambientes rurais, para o tratamento dos dejetos de animais, servindo como filtro biológico e como fonte de biogás e biofertilizante.

O biogás e o biofertilizante são matérias-primas de alto valor econômico produzidos através de dejetos animais, que se descartados de forma incorreta e sem o devido tratamento geram impactos desastrosos ao meio ambiente. Em resumo, sugere uma opção economicamente viável para o pequeno produtor rural a fim de solucionar o problema do descarte de resíduos provenientes da atividade rural e criação animal e viabilizar uma fonte alternativa de energia térmica e biofertilizantes, proporcionando benefícios econômicos com a diminuição dos custos de produção.

O potencial do biogás não se limita à geração de eletricidade renovável. Com o desenvolvimento tecnológico de tratores e caminhões movidos a gás, abre-se uma excelente oportunidade para substituição gradativa do diesel nas operações agropecuárias, que representam 15% do consumo nacional, contribuindo para a redução de emissões de CO₂ e para a sustentabilidade ambiental. Para que esse potencial seja plenamente aproveitado, são necessárias políticas públicas que gerem estímulos não apenas para o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de produção do biogás, mas também que incentivem o consumo do produto. Dessa forma, estabelecido um regulamento que incentive sua maior inserção, o biogás terá papel fundamental no alcance das metas de redução de emissões de CO₂ e no aumento da competitividade e sustentabilidade do setor agroindustrial do Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Lais Schimdt; ARAÚJO, Jesuina Cássia Santiago de. Produção de Biogás por co-digestão utilizando uma mistura de dejetos bovinos e casca de café Conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 2, nº 3, p. 44-54, 2016.
- ALMEIDA, Cátia Rodrigues de; FERNANDES, Evandro Noro. Estudo da Viabilidade da Implantação de Biodigestor no Município de Hortolândia para Geração de Biogás. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística Edição Temática em Sustentabilidade**. São Paulo, v. 6, n. 1, p.35-52, nov. 2016.
- ALVES, Vítor Manoel Carneiro. **Análise de Produção de Inovação Tecnológica do Biogás no Brasil de 2006 a 2016**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Bioprocessos) – Universidade Federal de São João del Rei, Ouro Branco, 2016.
- AMARAL, André Cestonaro do; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; KUNZ, Airton. Os Biodigestores. *In*: AMARAL, André Cestonaro do; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; KUNZ, Airton. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Brasília, DF: Embrapa, p. 41-68, 2019.
- AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, jan./abr. 2004.
- ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- ARRUDA, Maliriz H. *et al.* Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. **Revista Científica Eletrônica De Agronomia**, Garças, ano 1, n. 2, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO (ABiogás). **A Biogás no Energy Solutions-Made in Germany**. 2019. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/abiogas-no-energy-solutions-made-in-germany/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.
- BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unesc e Ciência - ACSA**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011.
- BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.
- BARRICHELLO, Rodrigo *et al.* O uso de Biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**,

Maringá, v. 8, n. 2, maio/ago. 2015. p. 333-355. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p333-355>>. Acesso em: 11 mai. 2019.

BEZERRA, Gabriela Pecorelli Figueiredo. **Avaliação de diferentes modelos de biodigestores para tratamento de resíduos sólidos urbanos gerados no restaurante universitário da UFPB**. 2016. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. **Biodigestores**. In: VI SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa – Paraná. 2008.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – CIBIOGÁS. **O biogás**. 2010. Disponível em: <<https://www.cibioogas.org/biogas>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

DALLACORTE, Fabiano Cislighi. **O grande potencial para o biogás no Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://sebraers.com.br/energia/o-grande-potencial-para-o-biogas-no-brasil/>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. FEAGRI - Faculdade de Engenharia Agrícola de São Paulo, São Paulo, 2002.

DOMINIAK, Altivir Luiz; TONELLO, João Paulo Callegari; SILVA, Wagner Amorim. **Projeto de implantação de sistemas de geração de biogás em pequenas propriedades rurais como fonte alternativa de energia**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Impactos da participação do biogás e do biometano na matriz brasileira**. 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-244/topico-257/EPE_IV%20FORUM%20BIOGAS_JOSE%20MAURO_2017_1710.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2019.

ESPERANCINI, M. S. T. *et al.* Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 110-118, jan./abr. 2007.

FERREIRA, J. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2013.

FRIGO, Késia Damaris de Azevedo *et al.* Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.4, n.1, p. 57-65, 2015.

GASPAR, R. M. A. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na**

região de Toledo-PR. 2003. 119 f. Dissertação (Engenharia de Produção) – UFSC, Santa Catarina. 2003.

KAIBER, Ivan Roberto. **A viabilidade da implantação de um biodigestor para produção de energia e biofertilizante através dos dejetos de suínos em uma propriedade rural do município de Concórdia-SC**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo Armando de. Aproveitamento de dejetos de animais para produção de biogás. **Revista Política Agrícola**, ano 15, n. 3, p. 28-35, jul/ago/set. 2006.

LINS, L. P.; MITO, J. Y. L.; FERNANDES, D. M. **Composição média do biogás de diferentes tipos de biomassa**. In: IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/4sigera/files/4.28_JessicaYukiLimaMito.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2019.

MATOS, Camila Ferreira. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

MACÊDO, Kauhan Vinícius Couto Ferreira de Capinam. **Produção de biogás e biofertilizante através de um biodigestor alternativo usando dejetos suínos**. In: VI JORNADA ACADÊMICA 2012. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/11/Produ%C3%A7%C3%A3o-de-biog%C3%A1s-e-biofertilizante-atrav%C3%A9s-de-um-biodigestor-alternativo-usando-dejetos-de-su%C3%ADnos.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

MILANEZ, Arthur Yabe *et al.* Biogás resíduos agroindustriais: panorama e perspectiva. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 221-276, 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15384/1/BS47__Biogas__FECHA DO.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2019.

ORRICO, A. C. A. Codigestão anaeróbica dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 3, p. 537-545, maio/jun. 2016.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 30, n. 3, p. 546-554, mai./jun. 2010.

PAES, Juliana Lobo; BRUGGIANESI, Giancalo; SOARES, Caroline Stephanie Gomes de Castro. **Potencialidade do biogás gerado pela combinação de dejetos bovino e suíno**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Gramado, 2018.

PASSAGLIA, R. C. *et al.* Proposta de otimização par um sistema de geração de biogás de uma propriedade rural do município de Espumoso - RS. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 299-315, 2019.

PEREIRA, Gustavo da Silveira. **Implantação de um biodigestor de baixo custo em uma propriedade com criação de gado leiteiro**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá-SC. 2018.

PINTO, Cláudio Plaza. **Tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Planejamento em Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999.

SANTANA, L. E.; CINTRA, L. M. L. A biodigestão como solução para a destinação dos resíduos do setor pecuarista. **Revista da Ciência da Administração**, v.6, 2012.

SOARES, Caroline Stephanie Gomes de Castro; PAES, Juliana Lobo; ALVES, Thais Barbosa Serpa. **Utilização de lodo de esgoto como inóculo para partida de biodigestores abastecidos com desejos bovinos**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Gramado, 2018.

SOLANO, O. R.; VARGAS, M. F.; WATSON, T. G. **Biodigestores**: factores químicos, físicos y biológicos relacionados com su productividad. *Tecnologia em Marcha*, Costa Rica, v.23, n.1, p.39-46, enero-marzo, 2010.

SPEECE, R. E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. **Environmental Science & Technology**, v. 17, n.9, p. 416-427, 1983. DOI: 10.1021/es00115a725.

VILLELA, I. A. C.; SILVEIRA, J. L. **Aspectos históricos e técnicos do uso do biogás produzido por biodigestores rurais**. In: BIOGÁS PESQUISAS E PROJETOS NO BRASIL. São Paulo: CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, 2006. p. 151-155

WALKER, E. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2009.