

# UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS NO BRASIL

Antônio Carlos Fernandes Filho<sup>1</sup>  
Cristiane Oliveira Silva Santana<sup>2</sup>  
Marco Aurélio Gattamorta<sup>3</sup>

## RESUMO

As fortes transformações dos sistemas de produção de animais confinados têm trazido avanços no setor agropecuário. No entanto, essa transformação também tem causado problemas ambientais, devido à concentração e aumento da escala de produção. Os dejetos de suínos, quando não tratados e dispostos inadequadamente, causam prejuízos ao meio ambiente, sociedade e economia, pois podem contaminar o ar, solo e a água. Este trabalho visa analisar a importância dos biodigestores na destinação adequada dos dejetos produzidos pela suinocultura, e geração de biogás e biofertilizantes nas propriedades rurais. Os resultados indicam que a geração e o aproveitamento do biogás a partir dos resíduos da suinocultura mostra-se como uma alternativa vantajosa econômica e ambientalmente, pois permite a geração de energia térmica e elétrica, reduzindo os custos provenientes da demanda energética das propriedades rurais, ao mesmo tempo que minimiza a liberação dos dejetos no solo e na água, reduzindo seus efeitos poluidores.

**PALAVRAS-CHAVE:** biodigestor; biogás; dejetos suínos; geração de energia.

## ABSTRACT

The strong transformations of the systems of production of confined animals brought advances in the agricultural sectors. However, this transformation has also caused environmental problems by concentrating and increasing the scale of production. Pigs when not properly treated, damage to the environment, society and economy because they contaminate the air, soil and water. This article analyzes the importance of biodigester in the proper disposal of manure produced by swine, biogas generation and biofertilizers on rural properties. The results indicate that the generation and use of biogas from swine waste is an advantageous economic and environmental alternative because it allows the use of biogas as a source of thermal and electrical energy reducing the costs arising from the energy demand of rural properties, as well reduce the negative

---

1 Faculdades Metropolitanas Unidas. São Paulo, SP, Brasil.

2 Engenharia Ambiental e Sanitária, Utilização de Biodigestores para Geração de Energia Elétrica a partir de Dejetos Suínos no Brasil. E-mail: anelemek@yahoo.com.br

3 Mestrado em Ciências (Patologia Experimental e Comparada de Animais Silvestres) pela Universidade de São Paulo, SP. Doutorado em Ecologia Aplicada pela Escola Superior Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Docente universitário de graduação e pós-graduação nos cursos de Gestão Ambiental e Engenharias nas Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU).

effects of the dejects in soil and water.

**KEYWORDS:** biodigester; biogas; swine dejects; energy generation.

## I INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e do consumo, associados à relevante preocupação com a escassez dos recursos naturais, à poluição ambiental, à Ratificação do Protocolo de Kyoto e às estratégias para a implementação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) e de Produção mais limpa (P+L), torna-se necessária a discussão e a ampliação de técnicas e tecnologias para o aproveitamento de recursos naturais, previamente considerados resíduos. O rápido desenvolvimento econômico dos últimos tempos, acompanhado da elevação do preço dos combustíveis, intensificaram as pesquisas e os investimentos sobre fontes energéticas limpas e renováveis (BOFANTE, 2010).

A produção de animais vem sofrendo grandes modificações nos últimos tempos, passando de um sistema de criação extensivo para um modelo intensivo de confinamento, que visa principalmente reduzir os custos de produção e aumentar a eficiência do processo. A suinocultura representa uma das atividades agropecuárias que utiliza o confinamento em grande escala e, por este motivo, o uso dos dejetos gerados nesta atividade vem sendo amplamente avaliado no Brasil e no mundo. Os dejetos de suínos são considerados grandes causadores de poluição ambiental, mas a ampliação relativamente recente do seu aproveitamento para a geração de energia coloca este resíduo entre uma das soluções relevantes para economia e geração de energia no meio rural.

O Brasil tem se destacado internacionalmente nesse modelo de criação, aumentando suas exportações e gerando condecorações ao País. Porém, os problemas ambientais decorrentes deste modo de produção se intensificaram, em função da alta concentração de animais. Desta forma, o tratamento dos dejetos suínos para geração de energia vem ao encontro da necessidade de minimizar os problemas relativos à poluição e contaminação do solo e água, ao mesmo tempo que agrega algum valor aos resíduos gerados.

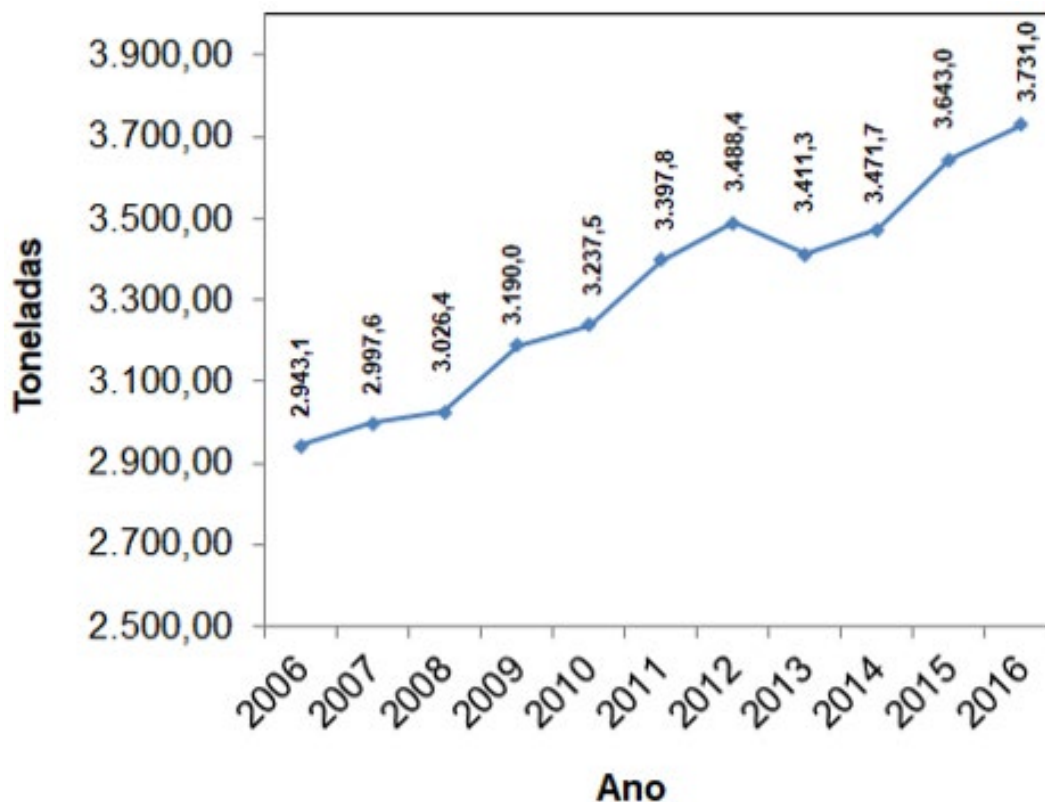
Tecnologias para o armazenamento de dejetos de animais, como os biodigestores, permitem a geração de biogás proveniente da digestão anaeróbia, sendo esta uma das alternativas mais relevantes no tratamento dos resíduos gerados na criação intensiva, em pequenas e grandes propriedades.

O biogás gerado pode ser associado ao seu uso energético, permitindo destinar adequadamente os resíduos gerados, e minimizando a disposição na natureza de forma inadequada (BARBOSA, LANGER, 2011).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SUINOCULTURA NO BRASIL

A suinocultura, é uma das mais importantes atividades do setor agropecuário brasileiro. De acordo com o relatório da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em 2016, o Brasil foi o quarto maior produtor mundial de carne suína, com 3,731 milhões de toneladas, ficando atrás da China, da União Europeia e dos EUA. Na figura 1, podemos observar o crescimento apresentado pelo setor nos últimos anos.



**Figura 1.**

Produção de carne suína entre 2006 e 2016, em toneladas.

Fonte: Relatório ABPA, 2017

Os estados da região Sul são os maiores produtores de carne suína do país. Somando a produção dos 3 estados, estes detêm 69,3% da produção brasileira, seguida dos estados da região Sudeste, com 16,27 %, e dos da região Centro-Oeste, com 14,13 %. Dentre os estados, destaca-se a participação de Santa Catarina (26,35%), Rio Grande do Sul (22,29%) e Paraná (20,66%) (ABPA, 2017). Na Tabela 1 encontra-se a produção brasileira de carne suína, detalhada por estados brasileiros.

**Tabela 1.**

Produção de carne suína, em toneladas, por estados do Brasil - 2016.

Estado	Carne suína (toneladas)	Participação no total (%)
Santa Catarina	983.118	26,35
Paraná	831.639	22,29
Rio Grande do Sul	770.825	20,66
Minas Gerais	410.410	11,00

Mato Grosso	202.220	5,42
São Paulo	196.624	5,27
Goiás	163.045	4,37
Mato Grosso do Sul	148.120	3,97
Distrito Federal	20.147	0,54
Outros	4.850	0,13

Fonte: Relatório ABPA, 2017.

De acordo com o Ministério de Desenvolvimento Industrial e Comércio Exterior (MDIC), do total da produção de carne suína brasileira em 2016, 19,6% foram destinadas à exportação e a maior parte destinada ao mercado interno (80,4%). Das exportações, destaca-se como principais países compradores a Rússia (35%), seguida por Hong-Kong e China, com respectivamente 23% e 13%. Na tabela 2, podemos verificar os principais destinos da carne suína brasileira e a tabela 3 apresenta os principais produtos de carne suína exportados pelo Brasil.

**Tabela 2.**

Principais destinos da carne suína brasileira em 2016.

País	Porcentagem do total (%)
Rússia	35
Hong Kong	23
China	13
Cingapura	5
Uruguai	4
Argentina	3
Chile	3
Angola	4
Emirados Árabes	1
Outros	9

Fonte: Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), 2016.

**Tabela 3.**

Principais produtos de carne suína exportados em 2016.

Produtos	Porcentagem do total (%)
Cortes	83,42
Miúdos	10,1
Carcaça	2,36
Preparações	1,43
Gordura	1,15
Embutidos	1,14
Tripas	0,32
Salgados	0,07
Couros e Peles	0,005

Fonte: Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), 2016.

O País tinha 39,95 milhões de suínos em 2016, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esta população de suínos é capaz de gerar em torno de 11 milhões de toneladas de dejetos por mês. Estes dejetos são compostos por fezes, urina, água de bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos e poeira decorrentes do processo criatório (PINTO, 2014).

A produção de dejetos em granjas de suínos varia com o número e categoria dos animais (leitões, fêmeas em lactação ou gestação, machos em idade de crescimento ou terminação, machos reprodutores), instalações, equipamento e manejo de limpeza adotado.

Esta quantidade de dejetos líquidos e sólidos apresenta um elevado poder poluente quando não armazenada adequadamente, principalmente pela contaminação dos recursos hídricos e liberação de gases como o metano, considerado 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono (SILVA, FRANCISCO, 2010). Desta forma, deve-se considerar um melhor encaminhamento destes resíduos para minimizar os impactos ambientais negativos que podem ser ocasionados por processos produtivos que os geram.

Os dejetos de suínos apresentam uma produção superior de biogás, cerca de 560 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de dejetos, além de apresentar elevado percentual de metano, quando comparado com outros animais (SANTOS, JUNIOR, 2013). A capacidade de produção de biogás e a concentração de metano, por espécie, encontra-se na Tabela 4.

**Tabela 4.**

Perspectiva de produção de biogás por biomassa.

Biomassa (dejetos)	Produção de biogás (a partir do material seco em m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> )	Porcentagem de gás metano produzido
Suínos	560	50%
Bovinos	270	55%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: SANTOS, JUNIOR 2013.

A alimentação representa a maior parte do custo de produção de suínos. O aproveitamento das rações efetivamente convertidas em crescimento e o aumento de peso atinge uma média de 45 a 60%, sendo o restante eliminado pelos dejetos. As rações dos suínos são concentradas e cuidadosamente formuladas, sendo compostas principalmente por milho, farelo de soja, farinha de trigo, açúcar, óleo de soja e vitaminas e minerais complementares. Mas, em função do baixo aproveitamento dos compostos no processo de digestão, os dejetos liberados ainda mantêm alta concentração de compostos carbonáceos. Esse fato leva a uma incidência no custo final para a criação de suínos da ordem de 20 a 25% (KONZEN, 2006).

A recuperação dos custos de produção e a possibilidade de ganho adicional são estabelecidas pela adequada utilização dos dejetos, a qual precede de uma série de estratégias, como programas para:

- Contribuir com a preservação do meio ambiente pela produção de biogás, o que consiste na reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes;
- Maximizar a eficiência dos sistemas de produção, reduzindo custos e melhorando a produtividade, estabelecendo o princípio de que o resíduo de um sistema é insumo potencial para outro sistema produtivo;
- Proporcionar maior conforto ao produtor, permitindo-lhe dispor de um combustível prático e barato que tanto poderá ser usado para fins de calefação e iluminação, como ainda para acionar pequenos motores estacionários de combustão interna;
- Produzir biofertilizantes ricos em húmus e nutrientes, utilizados na fertilização do solo, para aumentar a produtividade dos cultivos face ao seu baixo custo de obtenção.

Essas estratégias, levam à integração dos vários componentes dos sistemas de produção desenvolvidos nas propriedades, e, ao mesmo tempo, se integra ao mercado dos seus produtos, a agroindústria.

Define-se Sistema Agroindustrial (SAG) como todo o conjunto de atividades produtivas integradas e interdependentes. No caso dos suínos, é composto por indústrias produtoras de insumos (ração, vacinas, medicamentos, equipamentos e genética), granjas (criação de animais), agroindústria (abatedouros/frigoríficos), indústria de alimentos, distribuidores (atacado e varejo) e consumidores finais (SANTINI, FILHO, 2004).

A cadeia produtiva de suínos assume várias formas organizacionais, podendo ser constituída de pequenos produtores independentes, empresas regionais ou complexos produtivos integrados, que comercializam nos mercados interno e externo. Entretanto, o desenvolvimento tecnológico e das dinâmicas de produção tem favorecido a migração da produção independente para a integrada. O sistema de integração surgiu em Santa Catarina, em meados do século XX, e acabou sendo adotada predominantemente na região Sul e, posteriormente, difundiu-se pelo país (GUIMARÃES, AARAL, LEMOS, ITO 2017).

O ciclo produtivo de suínos é dividido em fases, em sistemas mais especializados, com unidades de produção de leitões (UPL) e unidades de terminação (UT). Desse modo, valoriza-se cada etapa especificamente, o que contribui para melhores resultados tanto financeiros quanto em relação à qualidade da carne. O sistema de criação do suíno, pode incluir todas as etapas da produção, sendo denominado ciclo completo (CC), ou pode executar apenas parte das etapas de produção, como a UPL, que produz leitões até a saída da creche, e a UT, que recebe os leitões de uma UPL e executa as fases de crescimento e de terminação. Há segmentos ainda mais especializados, como os crechários, os quais são especializados na criação dos leitões (fase do desmame até atingirem 22 kg) (KOZEN, 2006).

Os sistemas de criação de suínos também se diferenciam quanto ao manejo e são classificados, de acordo com CARVALHO & VIANA (2011) em:

- **Sistema extensivo ou à solta:** Utilizado normalmente em pequenas criações, voltadas à subsistência e com baixo nível tecnológico, com alimentação sem orientação nutricional adequada, composta por sobras de alimentos e desperdícios agrícolas, e praticamente não há assistência técnica à produção;
- **Semiextensiva:** Caracterizado pela utilização de instalações, nas quais os animais são devidamente separados por idade e sexo; e o manejo reprodutivo se realiza por seleção dos animais no plantel. Conseqüentemente, esse sistema obtém melhores taxas de crescimento e condições de sanidade dos animais, conferindo maior qualidade ao produto final;
- **Siscal:** Neste sistema, há menos edificações e mais mobilidade às instalações. Os animais se alimentam tanto de ração quanto de pastagem, o que, somado ao menor uso de medicamentos, ocasiona baixo custo de implantação e manutenção da produção. O ciclo de produção é mais longo, e os suínos são tipicamente rústicos. Assim, a carne produzida abrange características organolépticas singulares. No entanto, comumente ocorre de os animais serem vendidos depois de atingirem em torno de 25 kg, a fim de serem terminados em confinamento por outros produtores;
- **Siscon:** O objetivo deste sistema é aumentar o ganho de peso dos suínos em menor tempo. Para isso, os animais são confinados em espaço reduzido e são mantidos com rações adequadas a cada fase. O manejo sanitário é exercido com mais rigor, e cada atividade é previamente planejada. Conta-se com assistência técnica, mão de obra especializada e melhoramento genético com fim de otimizar a produção. As desvantagens desse tipo de criação são os altos custos, os impactos ambientais e ao bem-estar animal.
- **Orgânica:** os animais não são confinados e devem ser alimentados apenas com vegetais orgânicos e devem ter sua sanidade controlada por meio de tratamentos homeopáticos e fitoterápicos, de acordo com a Instrução Normativa 46/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

## 2.2 BIODIGESTORES E USO DA TECNOLOGIA NA SUINOCULTURA

Apesar do processo de biodigestão anaeróbia ser conhecido há anos, a pesquisa e o desenvolvimento de biodigestores foram desenvolvidos mais recentemente. Pesquisadores do Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, foram os pioneiros a desenvolver usinas de gás de esterco, em 1939, e o sucesso obtido animou os indianos a continuarem as pesquisas, formando o *Gobar Gas Institute*, em 1950. As pesquisas, nesta área resultaram na grande disseminação de sistemas de biodigestores como forma de tratamento dos dejetos de animais, obtendo biogás e ainda conservando o efeito fertilizante do produto final (PALHARES, 2009).

A utilização do biogás como fonte de energia, na Índia, motivou a China a adotar esta tecnologia. Entre 1958 e 1972 já haviam sido instalados 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio Amarelo. Porém, o interesse maior dos chineses estava na busca pelo biofertilizante

para produção de alimentos, necessário para abastecer o número elevado de habitantes no país. Estas estratégias, implementados pelos indianos, que buscavam cobrir o imenso déficit de energia com a utilização dos biodigestores, e pelos chineses, para obtenção de fertilizantes, permitiu o desenvolvimento de dois modelos diferentes de biodigestor: o modelo chinês, mais simples e econômico, e o modelo indiano, mais sofisticado e técnico, para aproveitar melhor a produção de biogás (PALHARES, 2009; BONFANTE, 2010).

No Brasil, a propagação desta tecnologia ocorreu notavelmente no final da década de 1970, devido à alta do preço do petróleo em 1979, e as medidas adotadas pelo governo para conservar e substituir a dependência dos derivados de petróleo, com um amplo Programa de Mobilização Energética - PME, iniciado em 1980. No entanto, o Brasil enfrentou uma série de problemas que foram responsáveis pelo fracasso do programa, como a falta de instrução e treinamento dos proprietários sobre o sistema de funcionamento dos biodigestores, baixa qualidade dos materiais utilizados na construção dos biodigestores e ausência de equipamentos adequados para o uso do biogás, devido a sua composição corrosiva e baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para converter o biogás em energia elétrica (GASPAR, 2006).

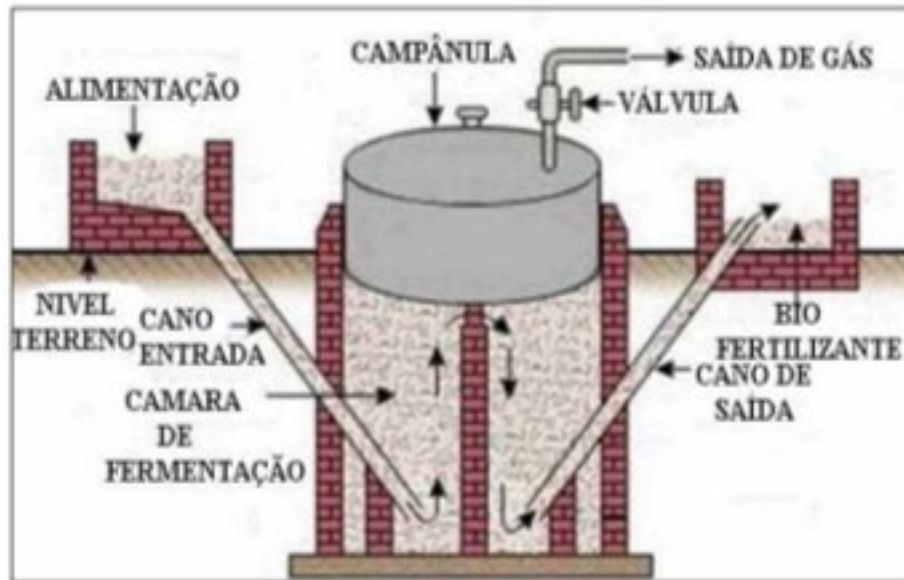
Biodigestores são reatores anaeróbios hermeticamente fechados que, ao serem alimentados com biomassa, degradam a matéria orgânica através da digestão por bactérias anaeróbias, como as acidogênicas, acetogênicas e as metanogênicas, que se desenvolvem em condições com ausência ou baixa concentração de oxigênio. Destes reatores, resultam o biofertilizantes, e o biogás, sendo que este último apresenta predominância de metano ( $\text{CH}_4$ ), gás potencialmente energético, e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Uma série de fatores interfere na eficiência do biodigestor como temperatura, pH, concentração de sólidos voláteis e composição do substrato (COMASTRI FILHO, 1981; BONFANTE, 2011).

Atualmente existem diversos tipos de biodigestores, porém todos são normalmente formados por duas partes: um recipiente (tanque), onde a biomassa é acondicionada e digerida, e um gasômetro (campânula), onde o biogás é armazenado. Com relação ao abastecimento da biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo ou intermitente/batelada. Para uma maior eficiência nos biodigestores contínuos, seu abastecimento deve ser ininterrupto, geralmente uma vez ao dia, e seu desempenho pode ficar ineficiente com flutuações de temperatura. Sua produção de gás e resíduos ocorre continuamente e seu substrato deve ser líquido ou semi-líquido. Já no biodigestor do tipo intermitente ou batelada, é utilizado sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até que seja cessada a produção de biogás, quando o digestor pode ser aberto e dele retirado o biofertilizante (COMASTRI FILHO, 1981; BONFANTE, 2011).

Os modelos mais utilizados de biodigestores contínuos são o Indiano, o Chinês e o Canadense. No biodigestor do tipo contínuo Indiano (Figura 3), existe uma campânula flutuante como gasômetro, sendo que ela pode estar inserida sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque em duas câmaras, para que o material circule de maneira homogênea por todo o seu interior. Este modelo de biodigestor apresenta fácil construção, porém o gasômetro de metal pode



encarecer o custo final e inviabilizar o projeto de instalação do mesmo. O resíduo utilizado para alimentar o biodigestor Indiano deve apresentar uma concentração de ST (sólidos totais) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material (TARRENTO & MARTINEZ, 2006).

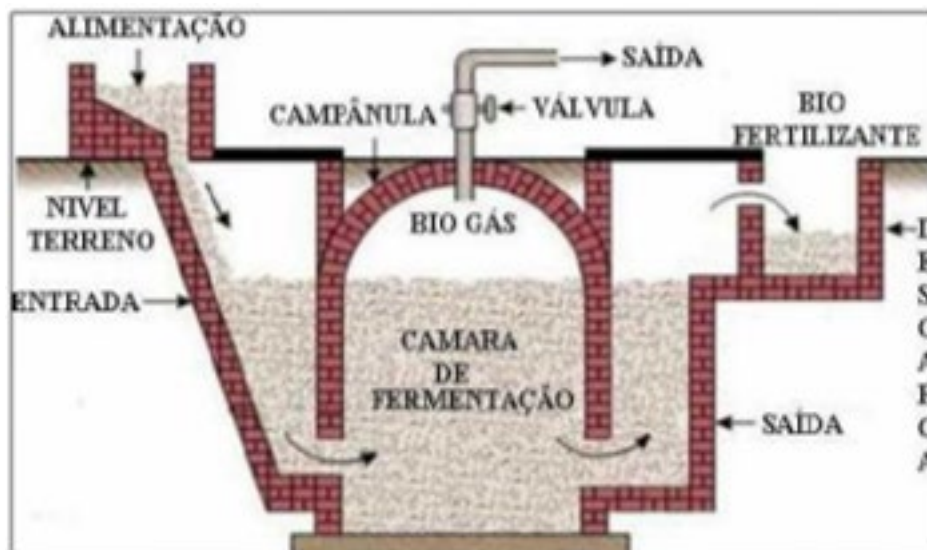


**Figura 2.**

Representação de um biodigestor do tipo contínuo Indiano.

Fonte: AVELLAR et al., 2002.

O biodigestor do tipo chinês (Figura 4), é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (BENINCASA et al., 1990).



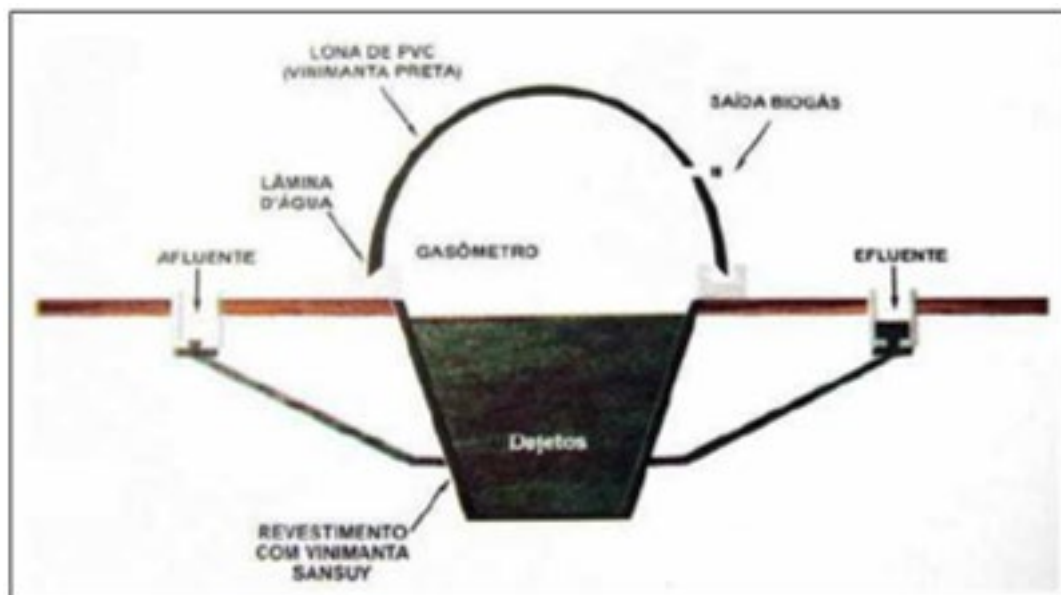
**Figura 3.**

Representação de um biodigestor do tipo contínuo chinês.

Fonte: SEIXAS et al., 1980.

Por dispensar a campânula de metal, sendo construído quase que totalmente em alvenaria, os custos relativos à construção desse modelo são menores, porém, se a vedação da estrutura não for bem realizada, podem acontecer problemas de vazamento para a atmosfera. E, por este motivo, as construções deste tipo de modelo não são utilizadas em instalações de grande porte (SEIXAS et. al., 1980, TARRENTO & MARTINEZ, 2006).

O biodigestor do tipo contínuo Canadense (Figura 4), chamado também de biodigestor de fluxo tubular, apresenta uma tecnologia mais moderna, mesmo possuindo uma construção simples, com uma câmara de biodigestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar (SILVA, 2016).

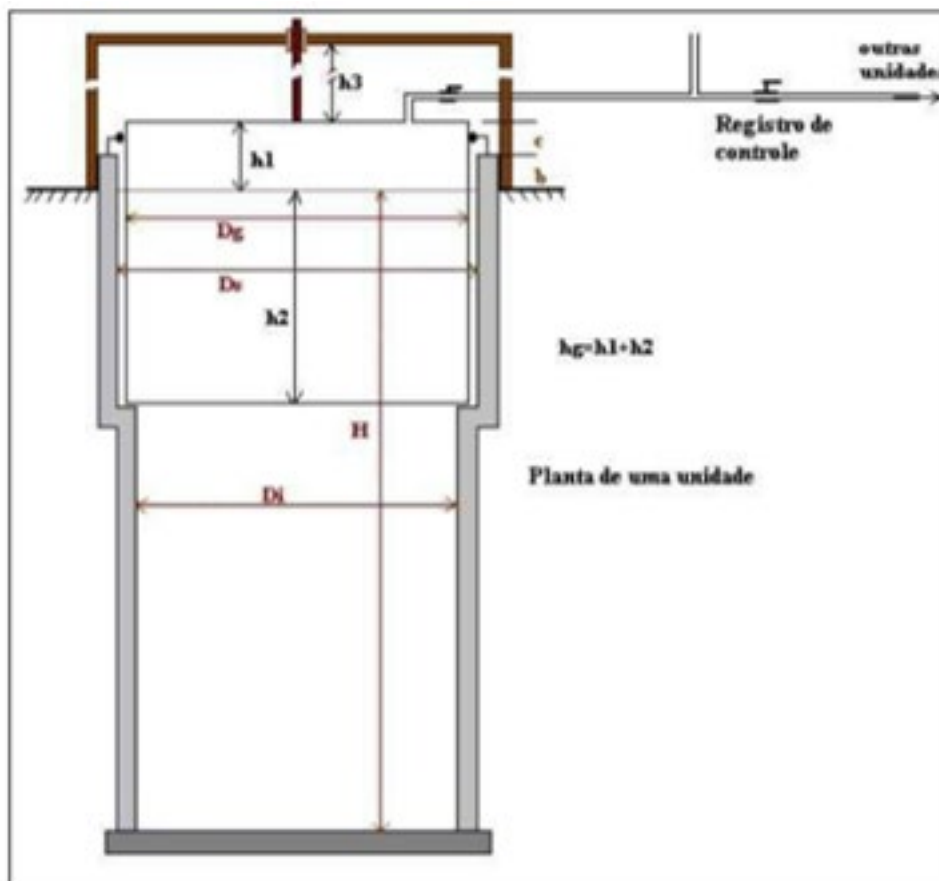
**Figura 4.**

Representação de um biodigestor do tipo contínuo canadense.

Fonte: SILVA, 2016.

Esse biodigestor é do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria, onde a profundidade é menor que a largura, para que o substrato tenha maior exposição ao sol a fim de aumentar a produção de biogás e evitar o entupimento do duto de entrada.

Atualmente esse tipo de biodigestor é o mais difundido no mundo, e mais aplicado também no Brasil, sendo largamente utilizado em propriedades rurais. Por ser construído basicamente de material plástico, esse biodigestor apresenta construção bastante simples, porém possui menor durabilidade e está sujeito a acidentes, como no caso de haver perfuração da lona plástica, com vazamento de gás (PALHARES, 2006)



**Figura 7.**

Representação de um biodigestor do tipo batelada.

Fonte: SILVA, 2016.

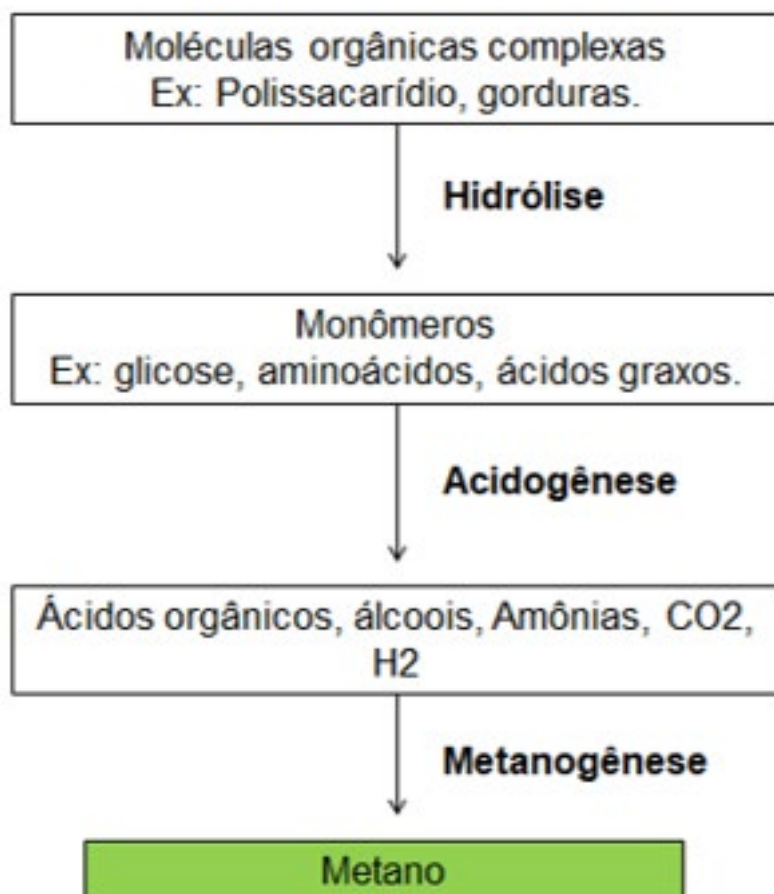
## 2.3 CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS E POTENCIAL ENERGÉTICO

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, é uma opção energética com reconhecidas vantagens ambientais.

O biogás é resultante da ação digestiva das bactérias metanogênicas de matérias orgânicas, gerando uma mistura gasosa, composta majoritariamente, por metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e traços de nitrogênio (N), hidrogênio (H) e gás sulfúrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (SILVA, 2010).

A decomposição anaeróbia, é composta por três etapas. A primeira fase, chamada de hidrólise enzimática, caracteriza-se pela liberação de enzimas, pelas bactérias, para que ocorra a hidrólise de compostos orgânicos complexos, como polissacarídeo e gorduras. Na segunda, definida como fase ácida, as bactérias produtoras de ácidos transformam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos (ácido láctico e ácido butílico), etanol, hidrogênio, amônia e dióxido de carbono, entre outros. Na terceira fase, chamada de metanogênese, as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas e metilotróficas, atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em metano (KORTHALS,

GRONAUER, LEBUHN, 2008). Nesta fase, a velocidade da cadeia de reação limita-se, principalmente, devido a formação de microbolhas de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  em torno da bactéria metanogênica, isolando-a do contato direto com a mistura. Esta agitação ocorre normalmente, por meio de movimentos giatórios do gasômetro ou por pás no biodigestor, o que provoca o desprendimento destas bolhas em direção à câmara do gás, liberando as bactérias para a continuidade de seu trabalho de degradação orgânica (SEIXAS, 1980). O processo bioquímico de geração de gás metanos encontra-se na Figura 8.



**Figura 8.**

Etapas de degradação anaeróbica. Fonte: KUNZ, OLIVEIRA, 2006.

A composição do biogás varia com o tipo e a quantidade da biomassa colocada dentro do biodigestor e das condições favoráveis às atividades bacterianas anaeróbicas. Outro fator determinante da composição é a temperatura de operação do biodigestor, sendo este um fator importante para que os microrganismos possam desempenhar suas atividades, pois as bactérias predominantes que atuam no processo de digestão anaeróbia são mesofílicas, e, portanto, a temperatura ideal para o desenvolvimento fica entre 20 a 45 °C (BARBOSA & LANGER, 2011).

Como mencionado anteriormente, a composição do biogás consta basicamente com gás metano, em torno de 50 a 65 %, e gás carbônico, em torno de 35 a 40 %. Esta porcentagem de metano confere um alto poder calorífico, o qual varia de 5.000 a 7.000 kcal/m<sup>3</sup>, e que,

submetido a um alto índice de purificação por dissolução em água, eliminando o CO<sub>2</sub>, pode gerar um índice de até 12.000 kcal/m<sup>3</sup> (ARRUDA et al., 2002).

O uso do biogás como alternativa energética, considerando uma composição de metano em torno de 50% e que pode chegar a 80%, em função da dieta administrada para os suínos, terá um poder calorífico entre 4,95 e 7,92 KWh/m<sup>3</sup> (CORDEBELLA, et. al., 2006). A utilização dessa energia produzida pode ser aproveitada para aquecimento, refrigeração, iluminação, cozimento, geradores de energia elétrica, misturadores de ração, entre outras utilidades. A tabela 5 compara a equivalência energética entre 1 m<sup>3</sup> de biogás com outros combustíveis. Pode-se verificar que o biogás equivale a menos de 1 litro dos derivados de petróleo, porém a mais de 1 kg de lenha (BARBOSA, LANGER, 2011).

**Tabela 5.**

Comparação entre 1m<sup>3</sup> de biogás e outros combustíveis.

<b>Combustível (T = 25° C; P = 1 atm)</b>	<b>Volume Equivalente a 1 m<sup>3</sup> de biogás (T = 25° C; P = 1 atm)</b>
Gasolina	0,312 L
Querosene	0,342 L
Óleo Diesel	0,358 L
GLP	0,396 kg
Lenha (10% de umidade)	1,450 kg

Fonte: PROSAB, 2003.

## 2.4 USO DE BIODIGESTORES NO BRASIL

Em 2010, como parte dos compromissos brasileiros estabelecidos no Acordo de Copenhague, juntamente com as determinações da Política sobre Mudanças Climáticas, foi desenvolvido um programa do governo para ajudar na busca da sustentabilidade na área rural, chamado de Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono) (RODRIGUES, et al., 2010).

Esse programa financia, entre outras medidas para as atividades rurais, a implementação, manutenção e melhoramento de sistemas de tratamento de dejetos e resíduos oriundos de produção animal para geração de energia (o que inclui os biodigestores). No Brasil, a utilização de biodigestores no tratamento do esgoto urbano já é significativo e vem ocorrendo um uso crescente no tratamento de resíduos sólidos de criadouros intensivos, principalmente de suínos e bovinos (RODRIGUES, et. al., 2010).

O Decreto 7.404/2010, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabeleceu que, para esta nova tecnologia, não será necessário aguardar regulamentação específica dos ministérios envolvidos. Enquanto, no planejamento para ações de contenção da emissão de gases de efeito estufa (GEE), deverão ser consideradas soluções para:

- Redução do transporte mecanizado de todos os tipos de resíduos, visando redução de emissões;
- Captação dos gases resultantes da decomposição dos resíduos úmidos, nos aterros sanitários existentes (prazo de geração de gases estimado entre 16 e 50 anos);
- Captação dos gases provenientes da decomposição acelerada dos resíduos úmidos urbanos e rurais, por meio de biodigestores (prazo de geração de gases estimado em algumas semanas);
- Disposição de resíduos da coleta convencional em aterro sanitário exclusivamente quando já estabilizados por meio da biodigestão;
- Maximização dos processos de compostagem, antecedendo-os de biodigestão sempre que possível;
- Aproveitamento energético (geração de energia elétrica, térmica e de vapor) dos gases produzidos na biodigestão de resíduos úmidos urbanos e rurais.

Em todo o país, são 5.570 cidades que buscam soluções para os resíduos orgânicos, além de milhares de empresas do setor do agronegócio, indústria alimentícia, biorefinarias, entre outras. Em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, estados líderes na criação de suínos no país, a bandeira do uso de biodigestores é amplamente difundida como alternativa sustentável na agropecuária.

De acordo com o pesquisador Airton Kunz, os aparelhos utilizados hoje, no Brasil, são heranças da onda de biodigestão da década de 1990. Para o especialista, na época, acreditou-se que a tecnologia viabilizaria o avanço ambiental do país. Por limitações do processo, os biodigestores não corresponderam às expectativas de volume de redução da emissão de carbono. Porém, as granjas de médio e grande porte que apostaram no sistema, mesmo depois de passada a onda da década de 1990, aprovam os resultados obtidos (MORAES, 2014).

Um bom exemplo é a empresa Master de Videira (SC), com mais de 20 anos de atuação no setor de produção de suínos. A empresa investiu, em 2004, com apoio da multinacional Bunge, R\$ 3,5 milhões na construção de biodigestores. Hoje, além de utilizar a energia gerada a partir do biogás proveniente do processo de biodigestão, fechou parceria com as Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) para comercialização de energia elétrica (MORAES, 2014).

Sabendo que a produção de biogás em um biodigestor varia entre 0,5 a 0,7 m<sup>3</sup> de biogás/dia por m<sup>3</sup> de dejetos e considerando um biodigestor com 100 m<sup>3</sup> de volume, este teria potencial para gerar entre 50 a 70 m<sup>3</sup> de biogás/dia, com rendimento de 0,35 m<sup>3</sup> de biogás por quilograma de dejetos suínos (SANTOS, JUNIOR, 2013). Cada suíno gera 2,25 kg de resíduos por dia e considerando que em 2016 o Brasil possuía 39,95 milhões de suínos, estes geraram 89.887.500 kg de resíduos por dia, aproximadamente. Utilizando a equação abaixo, pode-se calcular a quantidade por mês de metano em m<sup>3</sup> que poderia ser gerado em 2016, no Brasil.

$$\text{CH}_4 = 30 \text{ dias} \times \text{cabeças} \times \text{Et} \times \text{Pb} \times \text{Conc. CH}_4 \times \text{VE}^{-1}$$

onde:

- Et = Esterco total [kg esterco (dia/unidade geradora)];
- Pb = Produção de biogás [kg biogás kg esterco<sup>-1</sup>], para os suínos este é igual a 0,062 kg de esterco<sup>-1</sup>;
- Conc. CH<sub>4</sub> = Concentração de metano no biogás [%],
- VE<sup>-1</sup> = Volume específico de metano [kgCH<sub>4</sub><sup>-1</sup>m<sup>-3</sup>CH<sub>4</sub><sup>-1</sup>], sendo este igual a 0,670 kg CH<sub>4</sub><sup>-1</sup>m<sup>-3</sup>CH<sub>4</sub><sup>-1</sup>.

No caso dos suínos, a produção de biogás por quilograma de esterco é igual a 0,062 kg, a concentração de metano no substrato úmido é 66% (SANTOS, JUNIOR, 2013). Baseado nos cálculos apresentados pelos autores e estimando o potencial de geração de metano para os dejetos gerados no Brasil, tem-se:

- CH<sub>4</sub> = 30 dias x 39.950.00 cabeças x 2,25 kg x 0,062 kg x 0,66 x 0,670
- CH<sub>4</sub> = 7,39.10<sup>7</sup> m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>

Sabendo que, 1 MWh (1000 kWh) equivalem a 94,962 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>, então cada kWh vale 94,962/1000 = 0,094962 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>. Ou seja, 1 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> é igual 1000/94,962 = 10,5305 kWh. Sendo assim, estimando a produção de energia em kWh a partir dos valores obtidos anteriormente para metano, observa-se que poderia, considerando a população de suínos em 2016, chegar a uma produção total de 7,78.10<sup>8</sup> kWh mês<sup>-1</sup> de energia.

Uma residência com sala, cozinha, dois quartos, área de serviço e um banheiro, consome em média de 100 a 150 kWh mes<sup>-1</sup>, aproximadamente. Considerando uma média de 150 kWh, a produção de biogás brasileira em 2016, calculada acima, poderia suprir um total de 5.190.255 de casas por mês, aproximadamente. Estas estimativas apontam para o potencial do aproveitamento do metano gerado em biodigestores como matriz energética significativa, particularmente no ambiente rural.

Desta forma, o uso de biodigestores, capazes de fornecer energia para o meio rural, mediante o biogás, além de produzir adubo por meio dos biofertilizantes, demonstra a importância desta tecnologia não somente pelo potencial energético, mas como alternativa de redução do poder poluente e do nível patógenos dos dejetos. Do ponto de vista tecnológico, a energia produzida pode movimentar geradores e alimentar os equipamentos elétricos e a gás de uma propriedade rural, desde a casa, seus aparelhos elétricos e bocais de luz, e também a própria granja, alimentando os diversos aparelhos elétricos e os terminais de luz. Ou seja, sua utilização produz energia limpa e renovável, o que garante uma tecnologia benéfica, econômica e sustentável (SANTOS & JUNIOR, 2013).

### 3. CONCLUSÃO

Os biodigestores colaboram na diversificação da matriz energética brasileira, contribuem para a saúde pública e ambiental do país, geram empregos e incentivam o desenvolvimento de biotecnologias no país. Em 2016, o Brasil poderia ter gerado por mês  $7,39.10^7$  m<sup>3</sup> de biogás,  $7,78.10^8$  kWh e abastecido 5.190.255 residências a partir da biodigestão dos dejetos de suínos em biodigestores. Desta forma, unindo os incentivos registrados pela legislação governamental e aliando com o grande potencial do Brasil na produção e uso de biogás, a ampliação do uso das tecnologias de biodigestores no campo cria uma perspectiva sustentável para a produção de suínos, diversificando a matriz energética com o uso racional dos recursos naturais.

### 4. REFERÊNCIAS

Arruda, M. H., Amaral, L. D., Pires, O. P., Barufi, C. R.; Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, 2002.

Avellar, L. H., Carrocci, L. R., Silveira, J. L.; Biogás na co-produção: a utilização de subprodutos agro-industriais na geração de energia em unidades co-geradoras. *Bioteconologia, Ciência e Desenvolvimento. Novas Tecnologias*, 2002..

Barbosa, G.; Langer, M.; Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. *Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba*, v. 2, n. 1, 2011, p. 87-96.

Bauer, C., A. 2., Korthals, M., Gronauer, A., Lebuhn, M.; Methanogens in biogas production from renewable resources – a novel molecular population analysis approach. *Water Sci. Tech.* 58, No. 7, 2008, p. 1433–1439.

Benicasa, M. ; Ortolani, A.F; Lucas JR., J. Biodigestores Convencionais. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP, Jaboticabal, 1990, p. 25.

Bonfante T.M.; Análise da Viabilidade Econômica de Projetos que Visam à Instalação de Biodigestores para o Tratamento de Resíduos da Suinocultura sob às Ópticas do Mecanismo do Desenvolvimento Limpo (MDL) e da Geração de Energia [Dissertação]. Ribeirão Preto: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade; 2010.

Carvalho, P. L. C.; Viana, E. F. Suinocultura SISCAL e SISCON: análise e comparação dos custos de produção. *Custos e Agronegócio Online*, v. 7, n. 3, 2011.

Comastri, J. A.; Biogás: independência energética do Pantanal Mato-Grossense. EMBRAPA – Circular Técnica, 09, 1981, p. 53.



- Cordebella, A.; Souza, S.N.M.; Souza, J.; Koheler, A. C.; Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. Enc. Energ. Meio Rural 2006.
- Gaspar, R. M. B. L.; Utilização dos biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valores: um estudo de caso na região de Toledo – PR. [Dissertação] Florianópolis: UFSC, 2006.
- Guimarães, D.; Aaral, G.; Lemos, M.; Ito, M.; Custodio, S.; Suinocultura: Estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES; BNDES Setorial 45, 2017, p. 85-136.
- Konzen, E. A.; *Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 27, 2006.
- Kunz, A.; Oliveira, P. A. V.; Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. Revista de política agrícola, Ano XV, n. 3. 2006.
- Luana Patrícia Pinto, A. C.; Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 2014, p. 179-187.
- Moraes, K.; Resíduos Agropecuários: passada onda da biodigestão no Brasil, tecnologia resiste na suinocultura. Canal Rural 2014. Disponível em: <http://www.canalrural.com.br/noticias/pecuaria/residuos-agropecuarios-passada-onda-biodigestao-brasil-tecnologia-resiste-suinocultura-38558>. Acessado em: 24/05/2018.
- Palhares, J.C.P; Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro. Disponível em: [www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod\\_artigo=272](http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=272). Acessado em 20/05/2018.
- PROSAB: Programa de Pesquisas em Saneamento Básico; Rede Cooperativa de Pesquisas/ Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás. Coordenador: Cassini, S. T., 2003. Disponível: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>. Acessado em 18/04/2018
- Santini, G. A.; Souza Filho, H. M. Mudanças tecnológicas em cadeias agroindustriais: uma análise dos elos de processamento da pecuária de corte, avicultura de corte e suinocultura. In: Congresso da sociedade Brasileira de Economia Rural. Cuiabá, Sober, 2004. p. 1-12.
- Santos, E.L.B.; Junior, G. N.; Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. *Tekhne e Logos*, v. 2, n. 2, 2013.
- Seixa, J. E.. Construção e Funcionamento de Biodigestores. *EMBRAPA-CPAC. CIRCULAR TÉCNICA*, 4, 1980.

Silva, J. E. P; Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz do Rio Pardo [Dissertação] Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2016.

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

Sumário Executivo - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: A evolução de um novo paradigma, Coordenador: Roberto Rodrigues .Link: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117611/1/sumario-estudo-1.pdf>. Acessado em 23/05/2018.

Tarrento, G. E.; Martinez, J. C.; Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa; XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

**Recebiro em: 01/06/2018**

**Aceito em: 12/06/2018**