



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

MATEUS DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETO BOVINO PARA A
AGRICULTURA FAMILIAR EMPREGANDO BIODIGESTOR**

MOSSORÓ

2023

MATEUS DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETO BOVINO PARA A
AGRICULTURA FAMILIAR EMPREGANDO BIODIGESTOR**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do autor, sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu respectivo autor seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo autor

OM425 Oliveira, Mateus do Nascimento.
P Produção de biogás a partir de dejetos bovinos
para a agricultura familiar empregando
biogestor / Mateus do Nascimento Oliveira. -
2023.
54 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2023.

1. Tratamento anaeróbico. 2. Resíduos de animais.
3. Energia renovável. 4. Fertilizante. I.
Batista, Rafael Oliveira, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MATEUS DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETO BOVINO PARA A
AGRICULTURA FAMILIAR EMPREGANDO BIODIGESTOR**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 18 / 05 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



RAFAEL OLIVEIRA BATISTA

Data: 22/05/2023 17:54:40-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



PHAMELLA KALLINY PEREIRA FARIAS

Data: 22/05/2023 18:43:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Phâmella Kalliny Pereira Farias, Dra. (UFERSA/FAPERN)

Membra Examinadora

Documento assinado digitalmente



LAYLA BRUNA LOPES REGES

Data: 22/05/2023 19:31:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Layla Bruna Lopes Reges, Enga (UFERSA/PPGMSA)

Membra Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para conquistar meus objetivos e vencer todos os obstáculos que encontrei na minha caminhada.

Aos meus pais Inácio Marcelino e Maria Dalva, aos meus irmãos Hercules do Nascimento, Inácio Júnior e Joaquim Neto por todo o carinho, amor e apoio durante toda minha vida.

Agradeço a minha noiva Paloma Bezerra por ter me apoiado em todas as minhas decisões e acima de tudo todo o amor e carinho que sempre teve por mim.

Agradeço ao meu Orientador Rafael Oliveira Batista por todos os ensinamentos e pela amizade que irei levar para vida.

Agradeço a Banca Examinadora da monografia por fazerem parte desse capítulo tão importante da minha vida.

Agradeço aos meus Amigos da “seven house” pela amizade e por todas as noites que viramos estudando em grupo.

RESUMO

Um dos maiores problemas das atividades pecuárias é a quantidade de dejetos gerados por unidade de área, que ao serem manejados de forma inadequada podem ocasionar poluição ambiental, porém se tratados adequadamente permitem retorno financeiro ao empresário rural, assim o uso dos dejetos bovinos, na geração de biogás para fins energéticos, e de biofertilizante, para adubação, se torna uma solução viável e muito atrativa. O presente trabalho teve como objetivo dimensionar dois biodigestores para o Assentamento PA Don Expedito Eduardo de Oliveira em Santa Teresinha-PB, contabilizar o potencial de biogás e biofertilizante e verificar quantas residências poderão ser atendidas pela energia proveniente da conversão do biogás em energia elétrica. Efetuou-se um levantamento de dados no próprio assentamento rural para contabilizar o rebanho bovino da propriedade e obter a quantidade de esterco produzido, também se consultaram as potências dos eletrodomésticos mais usuais, a fim de obter o consumo médio de eletricidade por residência. Foram dimensionados dois biodigestores modelo canadense de forma a tratar todo o esterco produzido. Cada biodigestor foi dimensionado para tratar 30 m³ de dejetos bovinos, resultando em uma produção de biogás de aproximadamente 1122 m³/mês que convertido em energia elétrica atenderá a demanda de 50% das residências do assentamento por eletricidade, além de minimizar impactos ambientais negativos tais como poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Palavras-chave: Tratamento anaeróbio. Resíduos de animais. Energia renovável. Fertilizante.

ABSTRACT

One of the biggest problems of livestock activities is the amount of waste generated per unit area, which, when handled improperly, can cause environmental pollution, but if properly treated, it allows financial return to the rural entrepreneur, so the use of cattle manure, in the generation of biogas for energy purposes, and biofertilizer, for fertilization, becomes a viable and very attractive solution. The present work aimed to dimension two biodigesters for the Settlement PA Don Expedito Eduardo de Oliveira in Santa Teresinha-PB, to account for the potential of biogas and biofertilizer and to verify how many homes can be served by the energy from the conversion of biogas into electricity. A survey of data was carried out in the rural settlement itself to account for the cattle herd on the property and to obtain the amount of manure produced. Two Canadian model biodigesters were dimensioned in order to treat all the manure produced. Each biodigester was sized to treat 30 m³ of bovine manure, resulting in a biogas production of approximately 1122 m³/month which, converted into electricity, will meet the demand of 50% of the residences in the settlement for electricity, in addition to minimizing negative environmental impacts such as pollution of soil and surface and underground water.

Keywords: Anaerobic treatment. Animal waste. Renewable energy. Fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Esquema de digestão anaeróbia da matéria orgânica	18
Figura 2	–	Processo de fabricação e utilização do biogás.....	21
Figura 3	–	Estrutura de um biodigestor modelo indiano.....	33
Figura 4	–	Estrutura de um biodigestor modelo chinês.....	34
Figura 5	–	Estrutura de um biodigestor modelo canadense.....	36
Figura 6	–	Local de manejo do rebanho bovino, construção e operação do biodigestor...	38
Figura 7	–	As imagens (A), (B), (C) e (D) demonstram o estábulo onde ocorre o manejo do rebanho bovino; e (E) será onde irá ser construído os biodigestores.....	39
Figura 8	–	Planta de topo da escavação e dimensionamento da manta.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Grupo de bactérias e fases distintas no processo de digestão anaeróbia.....	19
Tabela 2	– Composição média do biogás.....	21
Tabela 3	– Equivalência de 1 m ³ em relação a outras formas de combustíveis.....	22
Tabela 4	– Necessidades físico-químicas dos microrganismos anaeróbios mesofílicos....	23
Tabela 5	– Relação carbono/nitrogênio de diversos materiais.	24
Tabela 6	– Produção diária de dejetos por animal e produção de biogás referente a cada material utilizado.....	26
Tabela 7	– Composição química média (%) de resíduos líquidos não decompostos e submetidos a fermentação anaeróbia e biofertilizante produzido por diferentes animais.....	27
Tabela 8	– Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos.....	28
Tabela 9	– Parâmetros de afluentes de granja suína e respectivos efluentes líquidos tratados em biodigestor.....	28
Tabela 10	– Cálculo de emissão anual de CH ₄ originário de dejetos da exploração pecuária, segundo espécies, em mil toneladas anuais.....	30
Tabela 11	– Teores de umidade, de matéria orgânica (M.O.) e de nutrientes na matéria seca dos esterco bovinos.....	30
Tabela 12	– Características dos biodigestores mais usuais.....	32

Tabela 13	– Custo de construção e de implantação de biodigestores modelos Indiano, Chinês e Canadense para diferentes capacidades.....	36
Tabela 14	– Anexo VI da instrução normativa nº 17/2014.....	37
Tabela 15	– Planilha de carga de volume de carga.....	40
Tabela 16	– Dimensionamento do biodigestor de acordo com o volume.....	41
Tabela 17	– Área total da manta de laminado de PVC flexível.....	42
Tabela 18	– Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais.....	43
Tabela 19	– Cálculo de produção de biogás.....	43
Tabela 20	– Aparelhos presentes nas casas do assentamento.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	Ácidos gordos voláteis
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
Dr.	Doutor
GEE	Gases de efeito estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Sulfato de hidrogênio
Kg	Quilograma
mg	Miligramas
mV	Milivolts
n°	Número
N ₂	Azoto
NH ₃	Amoníaco ou amônia
O ₂	Oxigênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	CONCEITOS DE BIODIGESTÃO E SUAS ETAPAS	17
2.1.1	HIDRÓLISE.....	18
2.1.2	ACIDOGÊNESE.	19
2.1.3	ACETOGÊNESE.....	20
2.1.4	METANOGÊNESE	20
2.1.5	CARACTERÍSTICAS E USOS DO BIOGÁS.....	20
2.2	FATORES QUE INTERFEREM NO PROCESSO DE BIODIGESTÃO	22
2.2.1	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES.....	23
2.2.2	PH.....	23
2.2.3	RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO	24
2.2.4	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS.....	24
2.2.5	TEMPERATURA.....	25
2.2.6	TEMPO DE RETENÇÃO	25
2.3	TIPOS DE RESÍDUOS QUE PODEM SER USADOS NA BIODIGESTÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	25
2.3.1	ESTERCO OVINO E CAPRINO.....	27
2.3.2	ESTERCO SUÍNO.....	27
2.3.3	DEJETO DE AVES.....	29
2.3.4	ESTERCO BOVINO.....	29
2.4	TIPOS DE BIODIGESTORES.....	31
2.4.1	MODELO INDIANO.....	32
2.4.2	MODELO CHINÊS.....	34
2.4.3	MODELO CANADENSE.....	35
2.5	LEGISLAÇÃO APLICADA AO USO DE BIOFERTILIZANTES NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	37
3	DESENVOLVIMENTO.....	38

3.1	LOCAL DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DO PROJETO.....	38
3.2	DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO.....	40
3.3	MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO.....	40
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNDICES.....	55

1 INTRODUÇÃO

Logo após a virada do milênio o governo brasileiro passou a intensificar processos de reformas agrária com o intuito de desenvolver o país, dando melhores condições de vida para trabalhadores rurais, como moradia e terras, que não estavam sendo aproveitadas para fins agrícolas. Com o crescimento da agricultura familiar os agricultores passaram a criar pequenos rebanhos bovinos que quando somados se tornam um valor expressivo que gera muito resíduo para o meio ambiente tendo a necessidade que algo seja feito para mitigar os impactos negativos gerados por essas atividades agropecuárias.

Para os pequenos produtores o rebanho pode servir como fonte de renda, tanto na venda do leite quanto na comercialização da carne, porém existe uma terceira fonte de renda que possibilita transformar o problema em solução que é a implantação de biodigestores nos locais de manejo. Além dessa tecnologia auxiliar a mitigar os impactos negativos também é capaz de gerar renda pois é capaz de reciclar o esterco gerando dois subprodutos que é o biogás e o biofertilizante.

A criação de bovinos em assentamento rural permite a geração considerável de esterco, com isso se faz necessário a implantação de sistemas de tratamento de resíduos, entre os quais se destacam os biodigestores responsáveis pelo tratamento e aproveitamento dos resíduos para fins energéticos e de fertilização do solo e, assim, mitigar os impactos ambientais negativos. O biodigestor canadense tem como principal vantagem o menor custo de implantação em relação aos biodigestores indiano e chinês.

O biogás é obtido pelo processo de fermentação anaeróbio, esse processo pode ser encontrado na natureza em locais com a ausência de oxigênio, mas pode ser realizado em grandes quantidades de dejetos em um equipamento internamente controlado conhecido como biodigestor ou reator anaeróbio (DOTTO; WOLFF, 2012). Esse biogás é uma mistura gasosa proveniente da digestão anaeróbia de materiais orgânicos compostos essencialmente de metano e dióxido de carbono com pequenas quantidades de ácido sulfídrico e amônia (ZANETTE, 2009).

O biogás pode ser utilizado na geração de energia elétrica para a propriedade, além da economia na conta de luz existem inúmeras vantagens com o desenvolvimento da tecnologia como: os dejetos dos animais enviados ao biodigestor evitam que sejam jogados no meio sem tratamento evitando com que ocorra a poluição das nascentes e lençóis freáticos (PEREIRA et al., 2015).

A matéria orgânica quando fermentada se torna em um poderoso biofertilizante que poderá ser utilizado nas atividades agropecuárias auxiliando a nutrição do pasto que irá servir de alimento para os animais, pois o biofertilizante contém nutrientes essenciais para a planta, onde o nitrogênio amoniacal é o mais abundante, e possui ainda quantidades consideráveis de potássio, cálcio, fósforo e magnésio (MENDONÇA et al., 2016). O biofertilizante ajuda a mitigar os impactos causados pelos fertilizantes convencionais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Dimensionar dois biodigestores tipo canadense para produção de biogás tendo como matéria prima o esterco bovino para atender a demanda de energia elétrica de residências do assentamento Don Expedito Eduardo de Oliveira.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Fazer um levantamento de informações sobre a produção de dejetos bovinos e a demanda de energia elétrica no assentamento.

Estimar a quantidade de biofertilizante e de energia elétrica produzida nos dois biodigestores dimensionados para o assentamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITOS DE BIODIGESTÃO E SUAS ETAPAS

O aproveitamento da matéria orgânica para a produção de biogás traz grandes impactos positivos como: o tratamento dos resíduos orgânicos, a produção de biofertilizante e a redução de gases de efeito estufa (PERECIN, 2017). Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES, 2018), o biogás destaca-se por ser um mitigador de impactos negativos perante a natureza, pois com o reaproveitamento da matéria prima, seja ela de origem urbana ou agrícola, para a produção de biogás ocasiona a diminuição da poluição que ocorreria na atmosfera e no solo caso esse resíduo não fosse aproveitado.

O Brasil é, mundialmente, conhecido por sua alta produção agropecuária, como consequência possui uma grande produção de resíduos agropecuários, com isso o país passa a ter um grande potencial energético, uma vez que esse resíduo seja reaproveitado para a produção de biogás. Além disso o biogás pode ser uma ferramenta muito importante para as atividades agropecuárias, pois em áreas muito isoladas e com dificuldades energéticas pode ser utilizado para o fornecimento de energia elétrica (MILANEZ; MAIA; GUIMARÃES, 2021).

O entendimento dos processos internos que ocorrem em um biodigestor anaeróbio é de extrema importância para o sucesso da tecnologia e para o melhor aproveitamento do biogás, a biodigestão anaeróbia se dá pelo processo de fermentação e oxidação dos substratos orgânicos sem a presença de oxigênio (KUNZ et al., 2014)

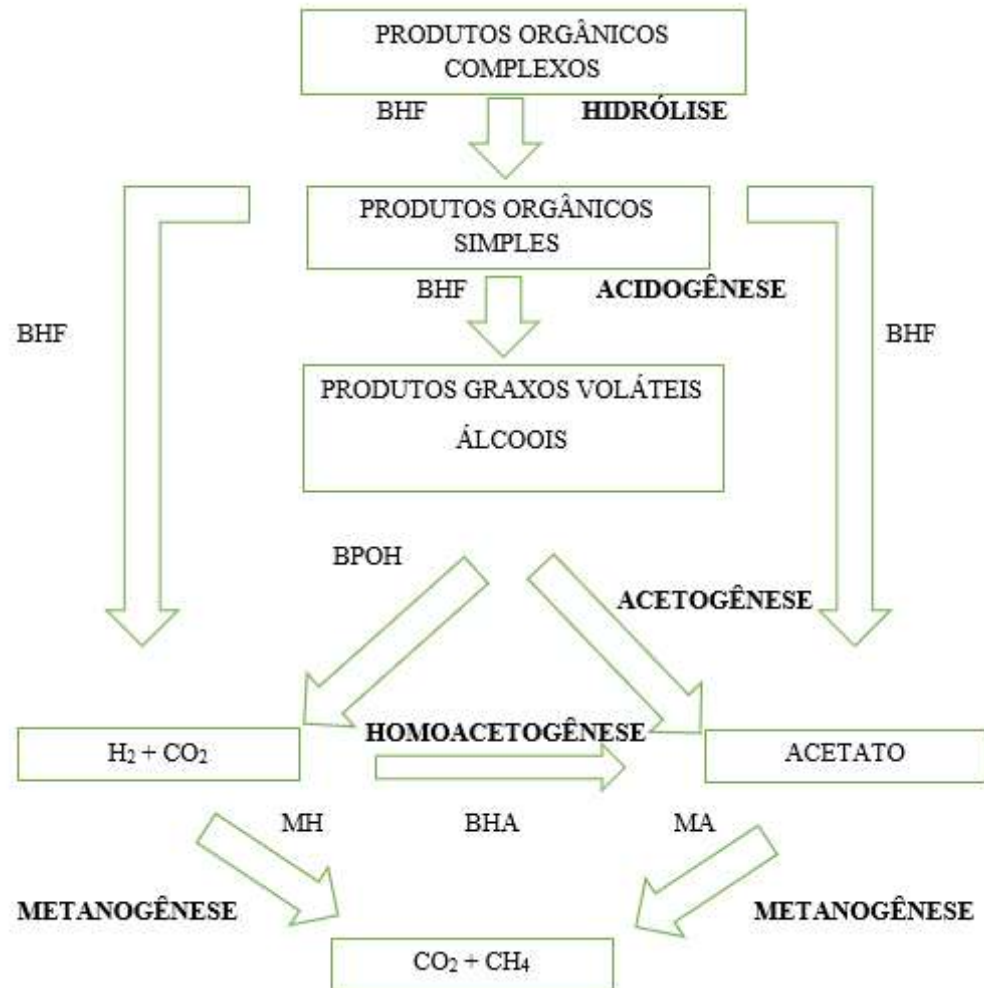
Segundo Kunz, Steinmetz e Amaral (2022) a biodigestão ocorre sem a presença de oxigênio com potencial redox $< -200\text{mV}$, além disso precisa que haja uma atuação conjunta de diferentes microrganismos para consumir a matéria orgânica e ter como resultado o dióxido de carbono e o metano. Com tudo os autores relatam que o processo pode ser dividido em quatro estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Pontes (2003) afirmou que do ponto de vista cinético o processo de digestão anaeróbio é constituído de três etapas, iniciando pela hidrólise de compostos orgânicos complexos seguido pela produção de ácidos (acidogênese e acetogênese) e por último a produção de metano.

A digestão anaeróbia é promovida devido a atividade por uma comunidade diversa de microrganismos que atuam de forma complexa ao longo de etapas interdependentes em que os resultados da etapa anterior servem como substrato para o grupo de microrganismos seguintes (CAVALEIRO; ALVES, 2020).

A Figura 1 é um esquema que demonstra o processo de digestão anaeróbia de compostos orgânicos e apresenta os grupos de bactérias envolvidos no processo (HENN, 2005).

Figura 1- Esquema de digestão anaeróbia da matéria orgânica



Fonte: Adaptado de Henn (2005).

2.1.1 HIDRÓLISE

Henn (2005) relatou que nesta fase o meio entra no estado de condensação, ainda a matéria orgânica inicialmente particulada ou complexa é fermentada pelas bactérias e convertida em compostos dissolvidos ou matéria orgânica simples, isso implica dizer que os polímeros orgânicos são convertidos em compostos simples e solúveis de menor peso molecular (monômeros). De acordo com Pontes (2003), nesta fase os carboidratos são hidrolisados e passam a ser açúcares simples e as proteínas passam a ser aminoácidos, além disso essa fase é considerada muito lenta. As bactérias que agem nesta fase possuem capacidade enzimática de

decompor carboidratos, gorduras e proteínas e transformam essas substâncias complexas em substâncias mais simples (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Após o processo da hidrólise o material pode atravessar as paredes celulares dos microrganismos fermentativos. Essa transformação de materiais particulados em materiais dissolvidos é ocasionada pela ação de exoenzimas expelidas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (SIQUEIRA, 2008).

Na Tabela 1 apresentam-se três grandes grupos de microrganismos que são responsáveis na atuação do processo anaeróbio divididos em quatro fases (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006)

Tabela 1. Grupo de bactérias e fases distintas no processo de digestão anaeróbia.

Grupo de bactérias	Fase	Bactérias
Fermentativas	Hidrólise	BHF- Bactérias hidrolíticas fermentativas
	Acidogênese	BHF- Bactérias hidrolíticas fermentativas
Acetogênicas	Acetogênese	BPOH – Bactérias produtoras obrigatórias de hidrogênio, BHA – Bactérias homoacetogênicas
Metanogênicas	Metanogênese	MH – Metanogêneas hidrogenotróficas, MA – Metanogêneas acetotróficas

Fonte: Adaptada de Oliveira e Higarashi (2006); Henn (2005).

2.1.2 ACIDOGÊNESE

Os monômeros formados durante a hidrólise nesta fase passam a ser utilizados como substratos pelas bactérias acidogênicas, são degradados a ácidos orgânicos de cadeias curtas, moléculas com 1–5 carbonos (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). Essa fase é denominada de fase ácida devido à grande geração de ácidos (PONTES, 2003).

Os aminoácidos e açúcares produzidos na hidrólise são fermentados no interior das células formando ácidos gordos voláteis (AGV) ou álcoois, acetato, hidrogênio, e dióxido de carbono. A população de bactérias acidogênicas no processo de digestão anaeróbia é cerca de 90% do total de todos os microrganismos envolvidos (CAVALEIRO; ALVES, 2020).

2.1.3 ACETOGÊNESE

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos compostos gerados na fase acidogênica em substratos apropriados para as bactérias metanogênicas. Nesta fase ocorre a produção de hidrogênio, dióxido de carbono e acetato (SIQUEIRA, 2008). Os ácidos de cadeia longa são transformados em ácidos com um a dois carbonos (fórmico e acético), com uma produção simultânea de hidrogênio e dióxido de carbono. As bactérias homoacetogênicas são as responsáveis por manter o equilíbrio das reações, pois são elas quem consomem o hidrogênio e o gás carbônico para produzir acetato (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

2.1.4 METANOGÊNESE

As arqueas metanogênicas são responsáveis pelo processo final da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente no biodigestor dando origem ao metano e dióxido de carbono (SIQUEIRA, 2008). Os microrganismos dessa etapa são divididos em dois grupos de acordo com a magnitude da produção de metano e substrato; existe o grupo das Metanogênicas acetoclásticas: responsável pela formação de metano a partir do acetato, e o grupo das Metanogênicas hidrogenotróficas: essas são capazes de produzir metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono (SANTOS, 2017).

2.1.5 CARACTERÍSTICAS E USOS DO BIOGÁS

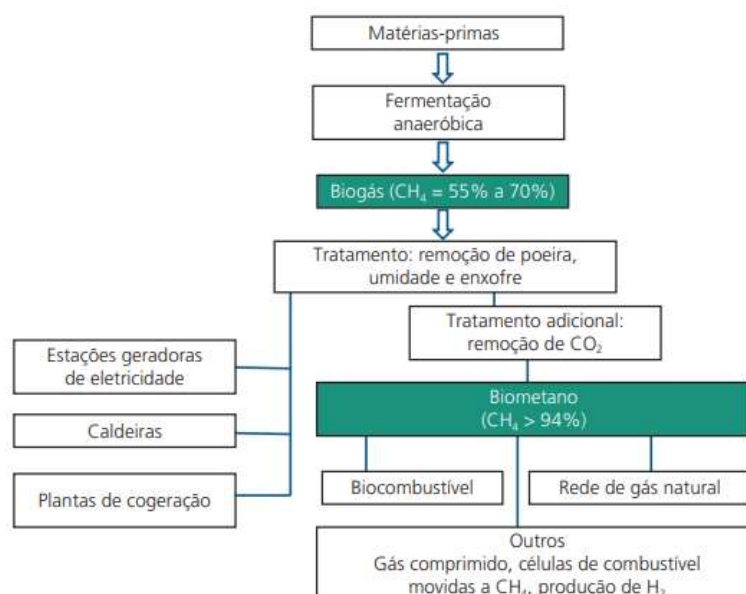
O biogás é um gás inflamável e sua produção é dada por microrganismos anaeróbios, pois esse conjunto de bactérias fermentam a matéria orgânica dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez em um ambiente sem a presença de ar. O metano é o produto mais importante e desejável desse processo, ou seja do biogás. O metano, ao contrário de vários gases, não possui cheiro, cor ou sabor (GENOVESE; UDAETA; GALVÃO, 2006). Na Tabela 2 constam os valores médios da composição do biogás.

Tabela 2. Composição média do biogás.

Produtos gerados na digestão anaeróbia	Percentual de produtos
Metano (CH_4)	50 a 75 %
Dióxido de carbono (CO_2)	25 a 40 %
Hidrogênio (H_2)	1 a 3 %
Azoto (N_2)	0,5 a 2,5 %
Oxigênio (O_2)	0,1 a 1 %
Sulfato de hidrogênio (H_2S)	0,1 a 0,5 %
Amoníaco ou amônia (NH_3)	0,1 a 0,5 %
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0,1 %

Fonte: Adaptado de Genovese, Udaeta e Galvão (2006).

O biogás proporciona muitas vantagens na propriedade que possui essa tecnologia, pois é capaz de possibilitar a redução de gases de efeito estufa, reduz a emissão de particulados, no fornecimento de energia renovável não intermitente, na geração de energia elétrica e na diminuição dos efeitos danosos promovidos pela atividade agropecuária. (MILANEZ et al., 2018).

Figura 2. Processo de fabricação e utilização do biogás.

Fonte: Milanez et al. (2018).

Como demonstrado, na Figura 2, ao se obter o biogás o mesmo pode ser imediatamente utilizado ou tratado para ser utilizado com maior poder de combustão. No processo de purificação do biogás para biometano é retirado o dióxido de carbono (CO_2) até que a porcentagem de metano alcance valores próximos do gás natural podendo ser utilizados para os mesmos fins. De acordo com a Portaria nº 128, de 28 de agosto de 2001 da ANP (ANP, 2001) a porcentagem de metano e dióxido de carbono para o gás natural na região Norte são 68% e 18%, respectivamente; já para as outras regiões os valores são de 86% para o gás metano e de 5% para o dióxido de carbono. Esses valores se diferem pois na região Norte o gás não é utilizado para fins de locomoção dos veículos (SOUZA et al., 2012). O biogás altamente purificado pode alcançar valores de até 12.000 kcal/m^3 (BARREIRA, 2011). A Tabela 3 mostra o valor equivalente de 1 m^3 de biogás.

Tabela 3. Equivalência de 1 m^3 em relação a outras formas de combustíveis.

Biogás	Combustíveis
1 m^3 de biogás	0,603 litros de gasolina
	0,579 litros de querosene
	0,553 litros de óleo diesel
	0,454 litro de gás de cozinha
	1,536 quilos de lenha
	0,790 litros de álcool hidratado
	1,428 kW de eletricidade

Fonte: Adaptado de Barreira (2011).

A conversão energética é o processo capaz de transformar um tipo de energia em outro, ou seja, o biogás é considerado uma energia química que é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada e posteriormente essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica (COELHO et al., 2006).

O metano é um gás que quando presente na atmosfera é muito danoso proporcionando o efeito estufa (VIEIRA et al., 2008), o seu efeito estufa é estimado em cerca de 21 vezes a do CO_2 (COLATTO; LANGER, 2011).

2.2 FATORES QUE INTERFEREM NO PROCESSO DE BIODIGESTÃO

As condições internas relacionadas com o substrato proveniente da matéria orgânica e, também, a operação do biodigestor afetam diretamente o processo de digestão anaeróbio

podendo acelerar ou paralisar o processo (FONTES, 2019). Por se tratar de um processo microbiano e dinâmico, a decomposição anaeróbia é facilmente influenciada pelas variações físico-químicas do meio onde se encontram os microrganismos (ALVES; INOUE; BORGES, 2010). Os parâmetros ideais para que os microrganismos possam desenvolver o processo de fermentação e produção de metano (metanogênese) de maneira eficaz estão apresentados na Tabela 4 (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Tabela 4. Necessidades físico-químicas dos microrganismos anaeróbios mesofílicos.

Parâmetros	Hidrólise/Acidogênese	Metanogênese
Temperatura	25 – 35	32 – 42
Ph	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
Relação C:N	10 – 45	20 – 30
Concentração de matéria seca (%)	< 40	< 30
Potencial redox (mV)	+400 até -300	< -200
Relação de C:N:P:S necessária	500:15:5:3	600:15:5:3
Elementos traços	-	Essencial: Ni, Co, Mo, Se

Fonte: Adaptado de Kunz, Steinmetz e Amaral (2022).

2.2.1 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

Tanto as características físicas quanto as químicas do ambiente interno de um biodigestor influenciam o crescimento microbiano. Elementos como carbono e nitrogênio que usualmente sempre estão presentes em quantidades relativamente elevadas podem ser extremamente importantes na predominância de espécies microbianas, já os micronutrientes que, geralmente, se encontram em quantidades pequenas pouco influenciam ou não possuem influência sobre a predominância das espécies de microrganismos (HENN, 2005).

2.2.2 PH

Variações muito elevadas no pH do meio afetam levemente os microrganismos presentes na digestão anaeróbia. A faixa de pH que os biodigestores devem operar para uma boa produção de biogás é de 6,0 a 8,0 tendo como ideal o pH 7,0, esse valor indica que a biodigestão está ocorrendo bem (COMASTRI FILHO, 1981).

O grande problema do pH muito baixo é que essa acidez do meio irá ocasionar a paralisação da atividade microbiana. É recomendado que a alcalinidade do sistema seja monitorada, pois essa medida mede a capacidade de neutralizar ácidos devido a presença de sais inorgânicos fracos (bicarbonato, borato, silicato e fosfato) e também de sais de ácidos voláteis (acetato, propionato, butirato entre outros) (SOUZA; PECCI, 2021).

2.2.3 RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO

A relação C/N é um parâmetro muito importante e está diretamente relacionado com o processo de fermentação. A relação desejável para que o processo biológico ocorra de forma adequada é de 20 a 30:1; isso significa de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio. Na Tabela 5 notou-se que a maioria dos materiais utilizados possuem alta quantidade de nitrogênio tendo como consequência baixa relação C/N, esse problema pode afetar o processo de digestão anaeróbia; para a correção é necessário misturar com outro material rico em carbono para obter a relação de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio (COMASTRI FILHO, 1981).

Tabela 5. Relação carbono/nitrogênio de diversos materiais.

Matéria prima	% N	C/N	%C
Esterco bovino	1,7	18	30,6
Esterco de equinos	2,3	25	57,6
Esterco de ovinos	3,8	22	83,6
Esterco de suínos	3,8	20	76,0
Esterco de aves	6,3	7,3	50,0
Fezes humanas	6,0	8,0	48,0
Feno	4,0	12	48,0
Serragem	0,11	431	47,5

Fonte: Adaptado de Comastri Filho (1981).

2.2.4 CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS

A quantificação dos sólidos voláteis para o processo de biodigestão anaeróbia é de extrema importância, pois são eles quem são fermentados para dar origem ao biogás; isso implica dizer que quanto maior for a concentração de sólidos voláteis maior será a estimativa de produção do composto gasoso, porém como o biodigestor terá um limite de eficiência e isso

nos dá um limite de produção de biogás; é recomendado cerca de 120 g de sólidos voláteis para cada kg de matéria prima seca; o esterco bovino possui uma grande concentração de sólidos voláteis variando em torno de 80 a 85% da matéria seca (COMASTRI FILHO, 1981).

2.2.5 TEMPERATURA

A temperatura é um fator muito importante em um biodigestor anaeróbio, pois possui efeitos importantes nas propriedades físico-químicas dos substratos, além disso, a velocidade de crescimento, o metabolismo dos microrganismos e a dinâmica populacional também são influenciados pela temperatura; em regiões de grande variação de temperatura pode comprometer a produção de biogás já que essa variação térmica não pode ser superior a 2°C; a temperatura da biomassa deve manter a uniformidade na temperatura para evitar grandes prejuízos na produção do gás (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). De acordo com Barreira (2011), a quantidade produzida de gás será máxima quando a temperatura interna do biodigestor for entre 35 °C e 45°C.

2.2.6 TEMPO DE RETENÇÃO

O tempo de retenção ou também conhecido como tempo de residência é o tempo necessário para que a matéria orgânica seja transformada em biogás e possa ser feita a substituição do material; nesse processo os hidrocarbonetos são convertidos em metano e dióxido de carbono; quanto mais tempo o material ficar no interior do biodigestor maior será a quantidade de biogás, pois os microrganismos não param de consumir a matéria orgânica dando origem a mais produto (KARLSSON et al., 2014).

O tempo de retenção hidráulica pode variar de acordo com a matéria prima utilizada na digestão anaeróbia, para dejetos provenientes da caprinocultura e da ovinocultura o tempo de retenção hidráulica é de 45 dias, para cama de frango é de 60 dias e para bovinos e suínos é de 35 dias (OLIVER, 2008).

2.3 TIPOS DE RESÍDUOS QUE PODEM SER USADOS NA BIODIGESTÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS

O aproveitamento de biomassa para a geração de energia limpa e sustentável é uma alternativa que vem se demonstrando muito promissora, sobretudo através da digestão

anaeróbia promovida pelos biodigestores que dão origem ao biogás (GERON, 2014). Para que o biogás possa ser produzido, diferentes tipos de matéria orgânica podem ser utilizados para a alimentação do biodigestor como fezes de gado, suínos, aves dentre outros, resíduos vegetais como restos de culturas, capim, palha etc. Além disso, também pode ser utilizado o resíduo sólido residencial e industrial (COMASTRI FILHO, 1981, KARLSSON et al., 2014).

Na zona rural os dejetos dos animais são comumente manejados sobre o solo podendo ocasionar danos como mal cheiro na região e aumento da DBO nos corpos hídricos, possibilitado pelo escoamento superficial, quando ocorre as chuvas (GERON, 2014). Quando o substrato (afluente) passa pelo processo de biodigestão, o biodigestor é capaz de diminuir a DBO do efluente (biofertilizante) em cerca de 80 % (BARROS et al., 2009).

Basicamente toda matéria orgânica é capaz de produzir biogás, porém pelo fato dos dejetos dos animais já saírem dos intestinos cheios de bactérias anaeróbias, isso os tornam os melhores materiais para os biodigestores (BARREIRA, 2011). Na Tabela 6 está apresentada a produção diária de dejetos por animal e produção de biogás referente a cada material utilizado.

Tabela 6. Produção diária de dejetos por animal e produção de biogás referente a cada material utilizado.

Dejetos	Produção diária	Produção de biogás
Bovinos	15 kg/animal	270 m ³ / tonelada
Suínos	2,25 kg/animal	560 m ³ / tonelada
Equinos	10 kg/animal	260 m ³ / tonelada
Ovinos	2,80 kg/animal	250 m ³ / tonelada
Aves	0,18 kg (galinha)	285 m ³ / tonelada

Fonte: Adaptado de Barreira (2011).

Assim como a produção de biogás é variável a depender da matéria prima, a sua constituição e porções também são variáveis. O biogás constituído a partir da digestão do esterco é constituído especialmente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), gás amoníaco (NH₃), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e nitrogênio (N₂) (BARROS et al., 2009).

O sistema de manejo adotado influencia a composição dos dejetos animais. A depender da diluição e da modalidade como são manuseados e armazenados podem apresentar distintas variações na concentração de seus componentes (OLIVEIRA, 1993).

A Tabela 7 mostra as concentrações de alguns nutrientes na composição de fertilizantes de esterco bovino, suíno e aves levando a compreender que de acordo com a necessidade de

nutrição da cultura podem ser adotados diferentes tipos de substratos para se obter o melhor biofertilizante, conforme as necessidades da cultura.

Tabela 7. Composição química média (%) de resíduos líquidos não decompostos e submetidos a fermentação anaeróbia e biofertilizante produzido por diferentes animais.

Biofertilizante	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O
	%		
Bovino	1,5-1,8	1,1-2,2	0,8-1,2
Suíno	1,8-2,5	1,2-2,0	0,8-1,5
Aves	2,0-2,8	1,2-2,1	0,9-1,6

Fonte: Oliveira (1993).

2.3.1 ESTERCO OVINO E CAPRINO

De acordo com os dados do IBGE (2021b), o Brasil possui um rebanho de ovino superior a 20 milhões de cabeças, tendo maior concentração no Nordeste do país. A produção de ovinos é caracterizada pela agricultura familiar em pequenas propriedades com predominâncias de pequenos rebanhos e a criação quase sempre está em conjunto com diversos outros animais, apresentam sistemas de baixa intensificação e com pouco uso de tecnologia (VIEIRA, 2019).

Orrico et al. (2007) fizeram um estudo utilizando esterco de caprinos com diferentes faixas etárias e diferentes tipos de dieta variando o concentrado e o volumoso. O resultado adquirido no estudo foi que o substrato proveniente da dieta com maior proporção de concentrados apresentou maior produção de biogás com cerca de 0,0302 m³/kg de esterco, ou seja 30,2 m³/tonelada de esterco.

Quadros et al. (2010) realizaram estudos com um biodigestor contínuo de PVC flexível utilizando como biomassa uma mistura de dejetos de caprinos e ovinos. Os estudos promoveram uma produção média de biogás com cerca de 0,061 m³/kg de esterco, ou seja 61 m³/tonelada de esterco com uma composição de 58% de metano e 34% de dióxido de carbono. Além disso, o biofertilizante atingiu um pH de 7,5.

2.3.2 ESTERCO SUÍNO

O Brasil em 2021 atingiu números impressionantes na suinocultura sendo o 4º maior exportador de carne no mundo (EMBRAPA, 2021). O país com uma vara de suínos tão expressiva, também, produz uma grande quantidade de dejetos, porém vários fatores

influenciam no volume de dejetos produzidos tais como o manejo, higienização adotada, o tipo de bebedouro e, também, o número de animais por categoria (OLIVEIRA et al., 2001).

Oliveira (1993) afirmou que os suínos que estão em uma faixa etária de 25 – 100 quilos apresentam a composição mais completa dos resíduos líquidos. Na Tabela 8 se encontra a produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos.

Tabela 8. Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos.

Categoria de suínos	Esterco (kg)	Esterco + urina (kg)	Dejetos líquidos (L)
25 – 100 Kg	2,30	4,90	7,00
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00
Machos	3,00	6,00	9,00
Leitão desmamado	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993).

Observou-se na Tabela 9 que o material utilizado para abastecer ao passar pelo processo de biodigestão promovido pelo biodigestor o substrato teve o pH alterado para um valor menor, isso ocorreu devido ao processo de fermentação, pois após a hidrólise as bactérias acidogênicas, também, fermentativas produzem ácidos provocando uma diminuição do pH quando o substrato passa a ser fertilizante (SOARES et al., 2010).

A Tabela 9 demonstra duas eficiências, a eficiência 1 demonstra a eficiência do tratamento promovida pelo biodigestor na diminuição da DBO E DQO do substrato fermentado, já a eficiência 2 demonstra a eficiência da lagoa na diminuição da DQO e DBO do biofertilizante tratado pelo biodigestor.

Tabela 9. Parâmetros de afluentes de granja suína e respectivos efluentes líquidos tratados em biodigestor.

Parâmetros	Afluente	Efluente na		Eficiência (1)	Eficiência (2)
		saído do biodigestor	lagoa		
PH	8,11	7,45	7,93	-	-
DBO (mg O ₂ /L)	11.439	4.307	2.027	42%	77%
DQO (mg O ₂ /L)	23.874	12.615	7.555	38%	65%

Fonte: Adaptado de Soares et al. (2010).

2.3.3 DEJETO DE AVES

De acordo com uma projeção do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (BRASIL, 2021) antevê que de 2021 a 2031 o setor produtivo possa aumentar aproximadamente 2,5% ao ano chegando a incríveis 25% neste intervalo de tempo. Um estudo feito por Augusto (2007) demonstrou os parâmetros com base na matéria natural uma produção de dejetos no sistema automatizado de 0,10 kg/ave/dia, já o sistema convencional mostrou-se com uma produção inferior com cerca de 0,05 kg/ave/dia. Sabe-se que os dejetos referentes à avicultura possuem composições diferentes a depender se é de origem da galinha poedeira ou da avicultura de corte (AUGUSTO, 2007).

Os resíduos gerados pelas galinhas poedeiras são constituídos por substâncias complexas contendo matéria orgânica dissolvida e particulada como lipídios, polissacarídeos, proteínas, ácidos graxos voláteis além de possuir componentes inorgânicos e concentração de microrganismos, além disso também é constituído por penas, restos de ração e material do piso do aviário. Já no caso dos resíduos provenientes da avicultura de corte a diferença é que além dos componentes já citados, também existe o material absorvente, popularmente conhecido como “cama de frango” (STEIL, 2001).

2.3.4 ESTERCO BOVINO

Durante muitos anos acreditava-se que a bovinocultura trazia poucos danos ao meio ambiente principalmente pelo método de produção que se adotava grandes áreas para a criação, onde se tinha um número reduzido de animais; isso implicava em uma disposição uniforme dos resíduos gerados pelo rebanho e pelo fato de ser uma grande área, o meio ambiente tinha capacidade de absorver os resíduos sem que causasse grandes danos; com o aumento da demanda, a disponibilidade da área não acompanhou o crescimento dos rebanhos e daí deu início ao sistema de confinamento dando ao Brasil o posto de segundo país com rebanho de gado neste sistema ficando atrás apenas dos Estados Unidos (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

De acordo com (IBGE, 2021a), o Brasil possui um rebanho de bovinos com mais de 224 milhões de cabeças com uma produção diária por animal de 15 kg (BARREIRA, 2011). Com toda essa quantidade de esterco a pecuária brasileira é responsável por grande quantidade de gases de efeito estufa (GEE), gás metano e dióxido de carbono liberados na atmosfera no decorrer do processo (BERNDT, 2010).

Os tratamentos biológicos são em sua maioria os utilizados para o tratamento do esterco bovino podendo ser: lagoas aeróbias, lagoas anaeróbias, digestão anaeróbia e compostagem (SILVA et al., 2020). O uso de biodigestores para o tratamento do esterco bovino reduz o potencial poluidor, produz biofertilizante e biogás, esse composto gasoso pode ser utilizado como combustível para motores-geradores dentro da propriedade (OLIVA; SOUZA, 2022). Na Tabela 10 consta o cálculo de emissão anual de CH₄ originário de dejetos da exploração pecuária, segundo espécies, em mil toneladas anuais.

Tabela 10. Cálculo de emissão anual de CH₄ originário de dejetos da exploração pecuária, segundo espécies, em mil toneladas anuais.

CH₄ de dejetos				
	Aves	Suínos	Bovinos	Soma
Mundo	970	8.380,00	7.490	16.840
Brasil	56,2	292,78	1.012,70	1361,7
BR/Mundo	5,79%	3,49%	13,52%	8,09%

Fonte: Adaptado de Colatto e Langer (2011).

Os bovinos em geral possuem uma alimentação com grandes quantidades de alimentos volumosos, isso ocasionará em dejetos com maior percentual de componentes fibrosos. As fibras acarretam em uma eficiência menor no processo de biodigestão ocasionando maior lentidão para o processo de formação do biogás (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

Geralmente o esterco bovino costuma apresentar um menor potencial de produção de biogás quando comparado com dejetos suínos e de aves. O motivo é que os animais ruminantes já transformam parte da matéria orgânica em metano no seu estômago (ANTUNES, 2019).

O esterco bovino apresenta os seguintes valores médios: pH 8,0; 80% de H₂O; 10% de sólidos fixos e totais; e relação carbono nitrogênio (C/N) de 11,2 (FERNANDES; SILVA, 1999), ainda o esterco possui valor médio de matéria orgânica igual a 494,5 g/kg como mostra a Tabela 11, além de mostrar valores médios dos nutrientes presentes (FERREIRA et al., 2003).

Tabela 11. Teores de umidade, de matéria orgânica (M.O.) e de nutrientes na matéria seca dos esterco bovinos.

Umidade	M.O	N	P	K	Ca	Mg
%	g/Kg					
17	494,5	20,6	8,4	23,5	8,3	5,7

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2003).

2.4 TIPOS DE BIODIGESTORES

Para a prática de produção de biogás se faz necessário a utilização de um equipamento denominado de biodigestor (DEGANUTTI et al., 2002). De modo geral existem vários tipos de biodigestores, porém todos são constituídos basicamente de duas partes, por um tanque onde ocorrerá a digestão anaeróbia e de um gasômetro(campânula) para armazenar o biogás (MARANHÃO, 2015). O biodigestor anaeróbio é constituído de uma câmara fechada onde ocorre a fermentação da biomassa por microrganismos anaeróbios tendo como resultado dois subprodutos que são o biogás e biofertilizante (BARREIRA, 2011; SALES FILHO, 2014).

Os biodigestores são conhecidos por ocasionar uma solução ambiental adequada e beneficiar o meio ambiente diante do descarte adequado de resíduos, seja de resíduo sólido orgânico urbano, de dejetos de animais ou de resíduos provenientes da produção agrícola, além de promover o descarte adequado, o biodigestor também garante que 100% dos resíduos tenham um destino adequado garantindo uma solução ambiental e energética (LUCAS; MATOS, 2021).

Os biodigestores são classificados em dois tipos, batelada e contínuo. Os biodigestores em batelada são totalmente preenchidos por matéria orgânica e essa matéria só é retirada após o período total referente a digestão anaeróbia do substrato que dará origem ao biogás e ao biofertilizante. Já os biodigestores contínuos podem ser abastecidos diariamente sendo que a cada volume de reabastecimento pela caixa de entrada irá resultar em um mesmo volume saindo pela caixa de saída de substrato já tratado, ou seja o biofertilizante (OLIVER, 2008). Na Tabela 12 estão apresentadas as características dos biodigestores mais usuais.

Tabela 12. Características dos biodigestores mais usuais.

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

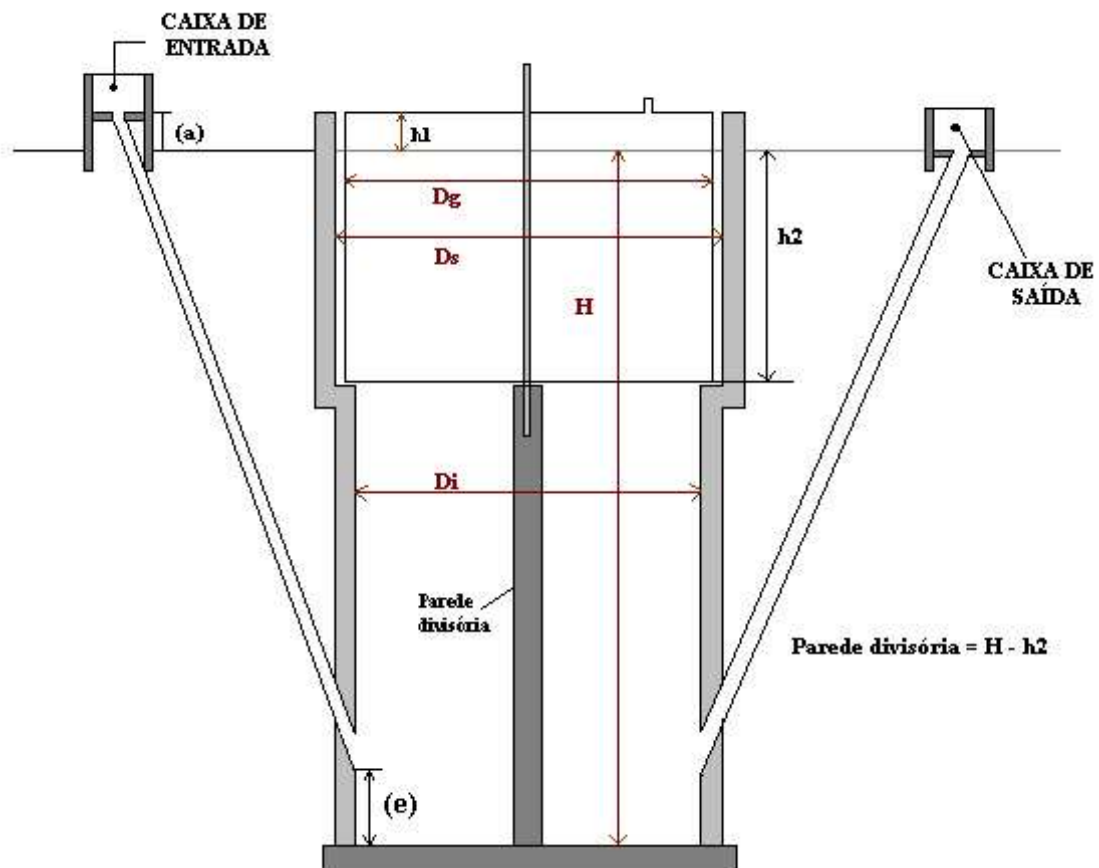
Fonte: Bezerra et al. (2018).

2.4.1 MODELO INDIANO

O biodigestor indiano é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro que pode estar mergulhada sobre o substrato em fermentação ou com um selo d'água externo, além disso possui uma parede divisória que serve para auxiliar a circulação do material no interior da câmara fermentativa. Esse modelo de biodigestor possui pressão de operação constante, isso implica dizer que à medida que o gás é produzido e não é consumido imediatamente o gasômetro desloca-se verticalmente ocasionando o aumento de volume e promovendo um volume constante (DEGANUTTI et al., 2002).

A imagem abaixo (Figura 3) demonstra um biodigestor indiano que é utilizado para a produção de biogás e biofertilizante, onde pode-se ressaltar as caixas de entrada e saída, na caixa de entrada é onde é colocado a matéria orgânica e na caixa de saída onde se retira o biofertilizante. Importante ressaltar que no biodigestor tipo batelada não existe a caixa de entrada, sendo que para fazer o abastecimento é necessário remover a campânula, pois nesse tipo só se abastece quando toda a matéria orgânica já estiver fermentada e todo o biogás retirado (TARRENTO; MARTINEZ, 2006)

Figura 3. Estrutura de um biodigestor modelo indiano.



Fonte: Deganutti et al. (2002).

Em que:

- H** - é a altura do nível de substrato;
- Di** - é o diâmetro interno do biodigestor;
- Dg** - é o diâmetro do gasômetro;
- Ds** - é o diâmetro interno da parede superior;
- h1** - é a altura ociosa (reservatório do biogás);
- h2** - é a altura útil do gasômetro;
- a** - é a altura da caixa de entrada;
- e** - é a altura de entrada do cano com o efluente.

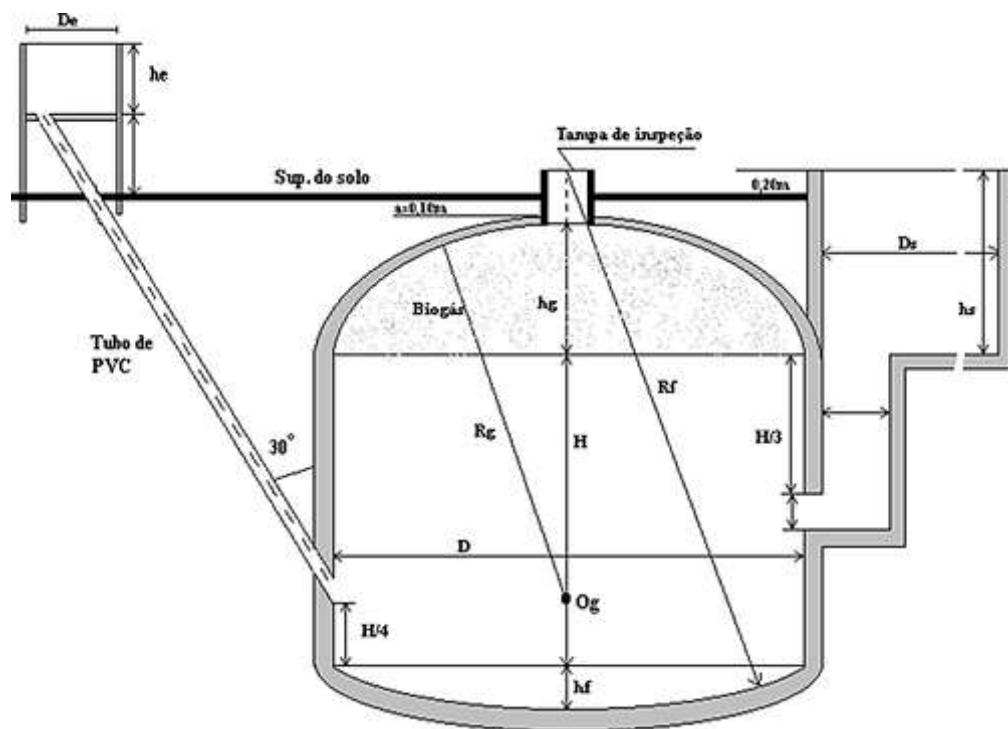
O modelo indiano oferece algumas vantagens em relação ao modelo chinês no momento da construção pois o mesmo pode ser adaptado ao local, clima e tipo de solo e ainda não há necessidade de se definir medidas fixas para esse modelo como diâmetro e profundidade, sendo

necessário apenas que atente a relação de capacidade do tanque do biodigestor e da campânula (GASPAR, 2003).

2.4.2 MODELO CHINÊS

O biodigestor modelo chinês é constituído por uma câmara cilíndrica em alvenaria onde ocorre a digestão anaeróbia da matéria orgânica com um teto abobadado, impermeável que é destinado ao armazenamento do biogás. Esse modelo trabalha com base no conceito de pressão hidráulica, ou seja, quando há acúmulo de biogás o composto gasoso irá exercer uma pressão para o seu interior de forma que a matéria que está em fermentação irá exercer uma força no sentido da caixa de saída, tendo como consequência a saída do efluente já tratado que será o biofertilizante (JORGE; OMENA, 2012). Na Figura 4 está apresentada a estrutura de um biodigestor modelo chinês.

Figura 4. Estrutura de um biodigestor modelo chinês.



Fonte: Deganutti et al. (2002).

Em que:

D - é o diâmetro do corpo cilíndrico;

H - é a altura do corpo cilíndrico;

Hg - é a altura da calota do gasômetro;

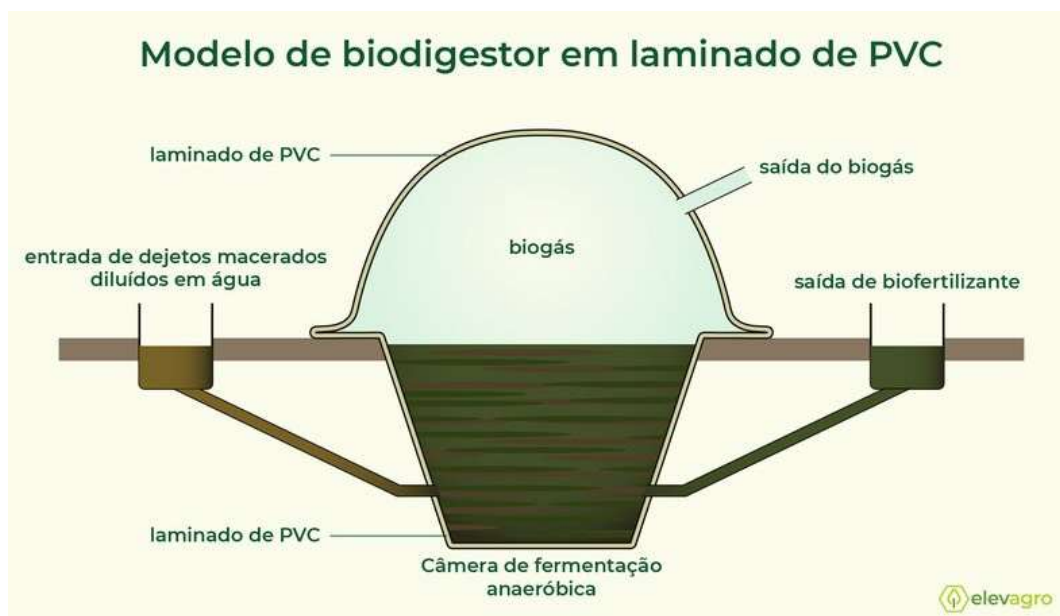
- hf** - é a altura da calota do fundo;
- Of** - é o centro da calota esférica do fundo;
- Og** - é o centro da calota esférica do gasômetro;
- he** - é a altura da caixa de entrada;
- De** - é o diâmetro da caixa de entrada;
- hs** - é a altura da caixa de saída;
- Ds** - é o diâmetro da caixa de saída;
- A** - é o afundamento do gasômetro.

O biodigestor chinês tem a peculiaridade de não possuir uma campânula, isso implica dizer que todo o biogás produzido fica armazenado no interior do próprio reator. Esse modelo também é conhecido por ser construído totalmente abaixo do nível do solo. Além disso, por não possuir gasômetro a construção desse modelo se torna mais barato (NISHIMURA, 2009). Neste modelo possa ser necessário que uma parcela do biogás formado pelo biodigestor tenha que ser liberado para a atmosfera para reduzir parcialmente a pressão interna promovida pelo composto gasoso, por esse motivo não é recomendado a construção desse tipo de biodigestor para instalações de grande porte (TARRENTO; MARTINEZ, 2006).

2.4.3 MODELO CANADENSE

O biodigestor tipo canadense é conhecido como sendo modelo tipo horizontal, possui uma caixa de carga feita de alvenaria e possui a largura maior que a profundidade, com isso esse biodigestor possui uma área maior de exposição ao sol (CASTANHO; ARRUDA, 2008). Também constituído por uma câmara subterrânea de fermentação revestida com uma lona plástica, uma manta na parte superior para armazenar o biogás produzido que irá funcionar como uma campânula, uma caixa de saída para a extração do material tratado, um registro para a saída do biogás e um queimador para auxiliar caso tenha que liberar quantidade de gás para diminuir a pressão interna (PEREIRA; DEMARCHI; BUDIÑO, 2009).

Dentre os três modelos já apresentados o biodigestor canadense é considerado o modelo que possui a tecnologia mais moderna (ELEVAGRO, 2022). Segundo Oliver (2008), esse biodigestor pode ser abastecido tanto de forma contínua quanto de forma batelada. Na Figura 5 consta a estrutura de biodigestor modelo canadense.

FIGURA 5. Estrutura de um biodigestor modelo canadense.

Fonte: Elevagro (2022).

A Tabela 13 mostra que o biodigestor canadense apresenta o menor valor de custo de construção e implantação para maiores valores capacidades de biogás, em contrapartida o modelo indiano apresenta maiores valores quando comparados para uma mesma capacidade (CALZA et al., 2015).

Os estudos feitos por Calza et al. (2015) apontaram que o modelo canadense é o modelo mais indicado, pois para 100 bovinos o volume de biodigestor calculado é de 105,0 m³. De acordo com a Tabela 13, a capacidade de biodigestor que se enquadra é de 120 m³ com um custo de construção e implantação de aproximadamente R\$ 7.266,00.

Tabela 13. Custo de construção e de implantação de biodigestores modelos Indiano, Chinês e Canadense para diferentes capacidades.

Capacidade do biodigestor (m ³)	Custo total por modelo de biodigestor (R\$)		
	Indiano	Chinês	Canadense
20	5.065,70	4.052,50	2.104,00
40	7.099,30	5.679,40	3.162,00
60	9.440,20	7.552,10	4.188,00
80	11.470,90	9.176,70	5.214,00
100	12.486,30	10.801,40	6.240,00
120	14.178,60	12.426,00	7.266,00

Fonte: Calza et al. (2015).

2.5 LEGISLAÇÃO APLICADA AO USO DE BIOFERTILIZANTES NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.

O biofertilizante é um subproduto da digestão anaeróbia produzidos em biodigestores que pode ser uma alternativa interessante para o agricultor uma vez que a matéria prima é constituída por resíduos orgânicos que podem ser dejetos de animais ou resíduos de culturas (CHICONATO et al., 2013).

O biofertilizante além de ser rico em nutrientes para as culturas, também tem a capacidade de corrigir o pH do solo, pois o pH médio do biofertilizante é ligeiramente alcalino com cerca de 7,5 (BARREIRA, 2011).

A Tabela 14 apresenta o anexo VI da instrução normativa nº 17/2014 que demonstra valores máximos de referência utilizados como limites de contaminantes quanto ao biofertilizante proveniente da biodigestão dos resíduos orgânicos ocorrida nos biodigestores. (BRASIL, 2014)

Tabela 14. Anexo VI da instrução normativa nº 17/2014.

Elementos	Valor máximo permitido
1. Arsênio	20 mg/kg
2. Cádmio	0,7 mg/kg
3. Cobre	70 mg/kg
4. Níquel	25 mg/kg
5. Chumbo	45 mg/kg
6. Zinco	200 mg/kg
7. Mercúrio	0,4 mg/kg
8. Cromo (VI)	0,0 mg/kg
9. Cromo (total)	70 mg/kg
10. Selênio	80 mg/kg
11. Coliformes Termotolerantes (número mais provável por grama de matéria seca - NMP/g de MS)	1.000 NMP /g de MS
12. Ovos viáveis de helmintos (número por quatro gramas de sólidos totais - n em 4g ST)	1 ovos/4g de ST
13. Salmonella spp	Ausência / 10g de MS

Fonte: Brasil (2014).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 LOCAL DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DO PROJETO

O dimensionamento foi realizado com informações obtidas no Assentamento PA Dom Expedito Eduardo de Oliveira Santa Teresinha – PB que possui 50 residências, o local de provável instalação dos biodigestores se apresenta nas coordenadas geográficas 7° 8' 26,91" de latitude sul e 37°26' 35,48" de longitude oeste. O projeto irá ocupar uma área 400 m² e será constituído de dois biodigestores modelo canadense, também será contabilizado a quantidade de biogás produzido e assim indicar opções de aproveitamento dessa fonte de energia. A Figura 6 apresenta o provável local exato de construção do projeto, nesse local encontram-se as instalações para o manejo dos bovinos.

Figura 6. Local de manejo do rebanho bovino, construção e operação do biodigestor.



Fonte: Google (2023).

A Figura 7 mostra o local onde ocorre o manejo dos bovinos, é nesse local que irá ser coletado os dejetos dos animais que serão levados até o biodigestor para tratamento, também está ilustrado o local onde ocorrerá a construção dos biodigestores.

Figura 7. As imagens (A), (B), (C) e (D) demonstram o estábulo onde ocorre o manejo do rebanho bovino; e (E) será onde irão ser construídos os biodigestores.

A



B



C



D



E



Fonte: Autoria própria (2023).

Para fins de cálculo foi feita uma visita ao Assentamento para contabilizar o rebanho bovino e suas faixas etárias, essa visita foi realizada no dia 27 de fevereiro de 2023 e foi levantada a quantidade de animais que eram tratados no curral, onde também fosse possível a coleta dos dejetos. Ao total foram contabilizados 67 animais sendo 18 vacas leiteiras, 18 bezerros, 15 vacas solteiras, 15 garrotes e 1 touro.

3.2 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO

Dentre os modelos de biodigestor apresentados anteriormente o escolhido foi o modelo canadense, além de apresentar um menor custo de implantação de acordo com Castanho e Arruda (2008), o fato desse modelo canadense possuir uma grande área de exposição ao sol possibilita uma maior produção de biogás e evita entupimento. De acordo com Oliver (2008), o modelo canadense pode ser instalado para grandes volumes ou pequenos.

Nesta configuração o método de cálculo adotado para o dimensionamento do biodigestor modelo canadense foi o método de Oliver proposto em 2008, neste método o dimensionamento é feito pelo preenchimento de tabelas.

3.3 MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO

Na Tabela 15 calcula-se o volume de carga diária e se faz necessário conhecer a massa de dejetos produzida. Na Tabela 15 proposta por Oliver (2008) consta a carga de volume de dejetos a serem tratados.

Tabela 15. Planilha de carga de volume de dejetos a serem tratados.

Espécie animal	Esterco por animal (kg/dia)	Quantidade de animal	Total de esterco (kg/dia)	Relação esterco água	Volume de água (L/dia)	Volume de carga (L/dia)
	A	B	C = A . B	D	E = C . D	F = C +E
Caprino/ovino	0,5	—	—	1:4 a 5	—	—
Vaca	7,0	15	105	1:1	105	210
Vaca leiteira	25	18	450	1:1	450	900
Bezerro	2,0	18	36	1:1	36	72
Boi	15	16	240	1:1	240	480
Suíno	4,0	—	—	1:1 a 3	—	—
Total		67	831			1662

Fonte: Oliver (2008).

O valor obtido na Tabela 15 foi de 1662 L/dia, ou seja 1,662 m³/dia, esse valor é referente ao volume de substrato gerado pelo rebanho diariamente. Para encontrar o volume do

biodigestor deve-se multiplicar esse valor pelo tempo de contenção, também conhecido como tempo de retenção hidráulica (TRH). Segundo Oliver (2008), para o esterco bovino o TRH é de 35 dias. A equação 1 proposta por Oliver (2008).

$$V_b = V \cdot \text{TRH} \quad 1$$

$$V_b = 1,662 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot 35 \text{ dias} \therefore V_b = 58,17 \text{ m}^3$$

Em que:

V - Volume de substrato, m^3/dia ;

V_b - Volume do biodigestor, m^3 ; e

TRH - Tempo de retenção hidráulica, dias.

Diante do volume calculado para o biodigestor as tabelas de Oliver (2008) nos apontam que para esse volume gerado será necessário a construção de dois biodigestores tipo canadense. Na Tabela 16 estão apresentadas as dimensões do biodigestor canadense com base no volume de dejetos a ser tratado.

Tabela 16. Dimensionamento do biodigestor de acordo com o volume

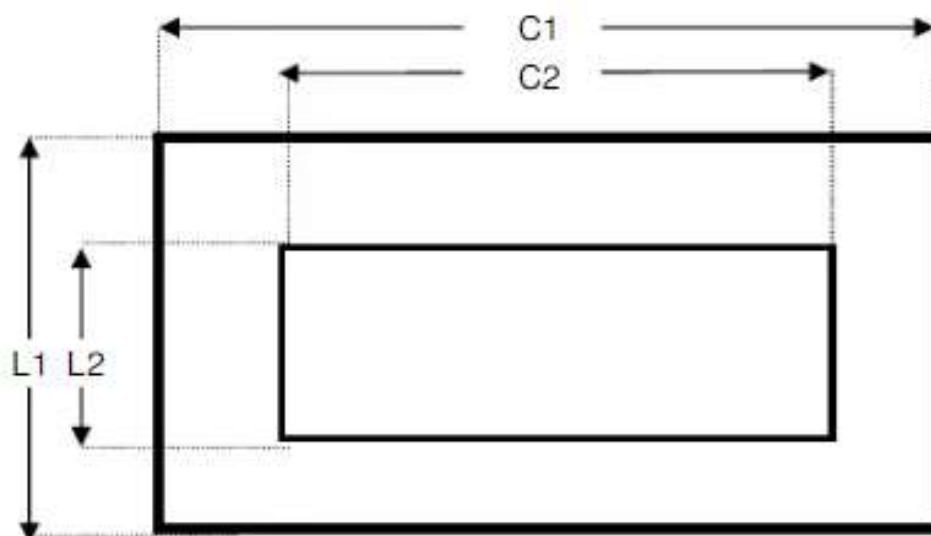
Volume (m^3)	Profundidade (m)	Comprimento maior C1 (m)	Largura maior L1 (m)	Comprimento menor C2 (m)	Largura menor L2 (m)
3,0	1,0	3,5	1,2	3,0	0,7
7,0	1,0	6,0	2,0	4,8	0,8
15	1,4	7,0	2,5	5,5	1,0
20	1,4	8,0	3,0	6,0	1,0
30	1,5	10,0	3,5	8,0	1,5

Fonte: Oliver (2008).

De acordo com o volume obtido na equação 1, a Tabela 16 mostra que são necessários dois biodigestores com carga de 30 m^3 cada e com profundidade de 1,5 m, C1 = 10 m, L1 = 3,5 m, C2 = 8,0 m e L2 = 1,5 m.

A Figura 8 especifica as cotas de acordo com a Tabela 16 em função do volume adquirido na equação 1. Na Tabela 17 os valores de área total da manta de PVC flexível.

Figura 8. Planta de topo da escavação e dimensionamento da manta.



Fonte: Oliver (2008).

Tabela 17. Área total da manta de laminado de PVC flexível.

Volume (m³)	Área total da manta (m²)
3,0	43,0
7,0	68,0
15,0	99,0
20,0	127,0
30,0	161,0

Fonte: Oliver (2008).

Com o volume calculado e as medidas da Tabela 16 foi obtida a área total da manta para os dois biodigestores consultando a Tabela 17, ou seja, uma área total de manta para os dois biodigestores de 322 m².

A Tabela 18 apresenta o potencial de produção de biogás de acordo com os dejetos de cada espécie. Com os dados obtidos no assentamento rural o rebanho possui tanto vacas leiteiras como bovino de corte; assim para fins de cálculo adotou-se um valor médio de 0,045 m³ de biogás/kg de esterco.

Tabela 18. Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais.

Espécie	m³ de biogás/ kg esterco	m³ de biogás/ 100kg esterco
Caprino/ovino	0,040 -0,061	4,0 – 6,1
Bovino de leite	0,040 – 0,049	4,0 – 4,9
Bovino de corte	0,040	4,0
Suínos	0,075 – 0,089	7,5 – 8,9
Frangos de corte	0,090	9,0
Poedeiras	0,100	10,0
Codornas	0,049	4,9

Fonte: Oliver (2008).

A Tabela 19 foi utilizada com o auxílio da Tabela 18 para calcular o volume de biogás produzido de acordo com o volume de esterco adquirido na Tabela 15. Assim, com base nos cálculos propostos por Oliver (2008), na Tabela 19, obtém-se o biogás produzido que será cerca de 1122 m³/ mês que será equivalente a 34 botijões/ mês. Caso a fonte de energia seja direcionada para a geração de energia elétrica será possível obter cerca de 6171 kwh/mês.

Tabela 19. Cálculo de produção de biogás.

Linha	Item	Operação	Unidade	Valor
1	Total de esterco/dia	Valor obtido na tabela 15 C	Kg	831
2	Total de biogás/dia	Valor da linha 1 multiplicado pelo valor da tabela 18	m ³ /dia	37,40
3	Total de biogás/mês	Valor da linha 2 multiplicado por 30	m ³ /mês	1122
4	Equivalência em botijão de 13 kg de GLP	Dividir o valor da linha 3 por 33 (33 m ³ de biogás = 1 botijão de gás GLP)	Botijão/mês	34
5	Equivalente em energia elétrica (kwh)	Multiplicar o valor da linha 3 por 5,5 (1 m ³ de biogás = 5,5 kwh)	Kwh/mês	6171

Fonte: Oliver (2008).

Com o intuito de verificar se a demanda energética da comunidade poderá ser atendida, foram escolhidas cinco casas ao acaso e foram levantadas as potências dos aparelhos

eletrodomésticos que consomem energia elétrica. A Tabela 20 demonstra os aparelhos, suas quantidades e a média de uso diário e respectivas potências.

Tabela 20. Aparelhos presentes nas casas do assentamento.

Aparelho	Quantidade	Potência (w)	Uso médio (horas/dia)
Lâmpadas	10	20	5
Geladeira	1	250	24
Televisão	1	85	6
Liquidificador	1	550	0,05
Ventilador	1	100	8

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2019) e ANEEL (2011).

A equação 2 proposta por pereira et al (2019) nos permite calcular o valor do consumo de energia em kwh/mês de uma residência.

$$c = \frac{Q \cdot p \cdot t \cdot 30}{1000} \quad 2$$

Em que:

c – Consumo, kwh/mês;

P – Potência, w;

Q - Quantidade de aparelhos, adimensional; e

T - Tempo de utilização, horas/dia.

Lâmpadas

$$c_l = \frac{10 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 30}{1000} \therefore c_l = 30 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}$$

Geladeira

$$c_g = \frac{1 \cdot 250 \cdot 24 \cdot 30}{1000} \therefore c_g = 180 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}$$

Televisão

$$c_t = \frac{1.85.6.30}{1000} \therefore c_t = 15,3 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}$$

Liquidificador

$$c_{lq} = \frac{1.550.0,05.30}{1000} \therefore c_{lq} = 0,852 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}$$

Ventilador

$$c_v = \frac{1.100.8.30}{1000} \therefore c_v = 24 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}$$

Com a equação 3 tem-se o somatório do consumo de energia elétrica pelos eletrodomésticos.

$$c_T = c_l + c_g + c_t + c_{lq} + c_v \quad 3$$

$$c_T = 30 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} + 180 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} + 15,3 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} + 0,83 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} + 24 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} \therefore c_T = \frac{250.13 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}}{\text{residência}}$$

Em que:

C_T - Consumo total médio por residência, kwh/mês/residência;

C_l - Consumo total médio do ventilador kwh/mês;

C_g - Consumo total médio da geladeira, kwh/mês;

C_t - Consumo total médio da televisão, kwh/mês;

C_{lq} - Consumo total médio do liquidificador, kwh/mês; e

C_v - Consumo total médio do ventilador.

O número de residências atendidas no assentamento pela energia elétrica gerada no biodigestor é obtido pela equação 4.

$$Q_r = \frac{E_{ee}}{C_T} \quad 4$$

$$Q_r = \frac{6171 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}}{\frac{250,13 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}}}{\text{residencia}}} \therefore Q_r = 24,7 \cong 25 \text{ residencias}$$

Em que:

Q_r - Quantidade de residências; e

E_{ee} - Equivalente em energia elétrica, kwh/mês.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível dimensionar dois biodigestores canadenses com capacidade de 30 m³ de substrato cada, visando o aproveitamento energético e nutricional dos dejetos da bovinocultura do assentamento. O desenvolvimento desse trabalho mostrou duas possíveis formas de utilização do biogás, ser utilizado como gás de cozinha, onde produção é equivalente a 34 botijões de gás GLP por mês. A outra opção é a utilização do biogás na geração de energia elétrica para as residências do assentamento sendo que o biogás gerado depois de convertido é equivalente a aproximadamente 6171 kwh/mês, que supre a demanda energética de aproximadamente 25 casas do assentamento.

O outro subproduto gerado é o biofertilizante, que de acordo com os cálculos presentes, é de aproximadamente 1662 L/dia, apesar de não ser uma quantidade tão expressiva é rica em nutrientes e poderá ajudar na reposição de nutrientes para o desenvolvimento do pasto para o rebanho bovino, tendo economia nos gastos com adução mineral.

Ressalta-se a importância desse projeto no que se refere a questão ambiental, pois os dejetos se não tratados passam a ser uma fonte poluidora e quando passam pelo tratamento nos biodigestores além de se tornar uma energia limpa, também se torna um biofertilizante.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Elton Eduardo Novais; INOUE, Keles Regina Antony; BORGES, Alisson Carraro. Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 2., 2010, Viçosa. **Anais...** Universidade Federal de Viçosa–Viçosa/mg, p. 6-6, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Elton-Alves3/publication/262565096_Biodigestores_construcao_operacao_e_usos_do_biogas_e_do_biofertilizante_visando_a_sustentabilidade_das_propriedades_rurais/links/00b7d53814569478ee000000/Biodigestores-construcao-operacao-e-usos-do-biogas-e-do-biofertilizante-visando-a-sustentabilidade-das-propriedades-rurais.pdf. Acesso em: 24 mar. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4101&id_ar. Acesso em: 27 abr 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Portaria nº 128, de 28 de Agosto de 2001**. Regulamento Técnico ANP nº 3/2001 que estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importado, a ser comercializado no País. PANP 128/2001.
- ANTUNES, Maurício Zanon. **Viabilidade da produção de biogás a partir de dejetos animais**. 2019. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, 2019.
- GERON, Vera Lucia. O uso do biogás no âmbito rural como proposta de desenvolvimento sustentável. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 140-149, 2014.
- AUGUSTO, Karolina Von Zuben. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2007. 131 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia produção animal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Jaboticabal, 2007.
- BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3. Ed. São Paulo: Ícone, 2011. 106p.
- BARROS, Regina M. et al. Estudo da produção de biogás da digestão anaeróbia de esterco bovino em um biodigestor. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, n. 2, p. 95-116, 2009.
- BERNDT, Alexandre. **Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa**. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 7., 2010, Viçosa. **Anais...** Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1015950/1/PRODI2010.00331.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023.
- BEZERRA, V. R. et al. Biodigestores: viabilidades técnicas de implantação, utilização, vantagens e desvantagens. In: ENCONTRO NACIONAL DE AGROINDÚSTRIA, 4., 2018,

Bananeiras. **Anais...** Disponível em: [file:///C:/Users/Mateus%20Oliveira/Downloads/galoa-proceedings--IV%20ENAG--98003%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Mateus%20Oliveira/Downloads/galoa-proceedings--IV%20ENAG--98003%20(2).pdf). Acesso em: 03 abr. 2023.

BNDES. **Biogás: a próxima fronteira da energia renovável**. 26 de julho de 2018. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/biogas#:~:text=O%20biog%C3%A1s%20especificamente%20pelo%20fato,da%20intermit%C3%A2ncia%20dessas%20outras%20fontes>. Acesso em: 11 mar. 2023.

BORGES NETO, Manuel Rangel; CARVALHO, Paulo César Marques de. **Geração de Energia Elétrica – Fundamentos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. 161 p. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518572/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BRASIL. Instrução Normativa nº 17 de 18 de junho de 2014. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, 20 de jun. 2014. Disponível: <file:///C:/Users/Justec/Downloads/instrucao-normativa-no-17-de-18-de-junho-de-2014.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Projeção do MAPA: em uma década, produção de carne de frango pode crescer perto de 4% ao ano**. 2021 Disponível em: <https://www.avisite.com.br/projecao-do-mapa-em-uma-decada-producao-de-carne-de-frango-pode-crescer-perto-de-4-ao-ano/#:~:text=Patrocinador,Proje%C3%A7%C3%A3o%20do%20MAPA%3A%20em%20uma%20d%C3%A9cada%20%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20carne%20de,perto%20de%204%25%20ao%20ano&text=Partindo%20de%20um%20volume%20estimado,carne%20de%20frango%20at%C3%A9%202031>. Acesso em: 06 abr. 2023.

CALZA, Lana F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 990-997, 2015.

CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA, Heder Jobbins de. Biodigestores. In: SEMANA DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 4., 2008, Ponta Grossa. **Anais...** Disponível: <https://docplayer.com.br/8911085-Vi-semana-de-tecnologia-em-alimentos.html>. Acesso em: 06 abr. 2023.

CAVALEIRO, A. J., ALVES, M. M. Digestão anaeróbia, **Revista Ciência Elementar**, v.8, n.1, p. 1-6, 2020.

CHICONATO, Denise Aparecida et al. Resposta da alfaca à aplicação de biofertilizante sob dois níveis de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 392-399, 2013.

COELHO, Suani Teixeira et al. A conversão da fonte renovável biogás em energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5., 2006, Brasília. **Anais...** Available from: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Suani-Coelho/publication/228452829_A_conversao_da_fonte_renovavel_biogas_em_energia/links/54d4bfdf0cf2970e4e639342/A-conversao-da-fonte-renovavel-biogas-em-energia.pdf>. Access on: 07 May. 2023.

COLATTO, Luciulla; LANGER, Marcelo. Biodigestor–resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unesc & Ciência–ACET**, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

COMASTRI FILHO, José Anibal. **Biogás independência energética do pantanal mato-grossense**. Corumbá: EMBRAPA-UEPAE Corumba, 1981. 53p. (Circular técnica, n.9).

DEGANUTTI, Roberto et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Proceedings online...** Available from: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=en&nrm=abn. Access on: 27 mar. 2023.

DOTTO, Rodrigo Bragança; WOLFF, Delmira Beatriz. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Revista Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

ELEVAGRO. **Pecuária leiteira sustentável?** Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/materiais-tecnicos/pecuaria-leiteira-sustentavel>. Acesso em: 29 mar. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Estatísticas-mundo-suínos**. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/mundo>. Acesso em: 04 maio 2023.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: Prosab/Finep 1999, 89 p. Disponível em: file:///C:/Users/Mateus%20Oliveira/Downloads/Livro_Compostagem.pdf. Acesso em: 08 abr. 2023.

FERREIRA, Magna MM et al. Influência das adubações nitrogenada e orgânica no tomateiro sobre os teores de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 233-239, 2003.

FONTES, Guilherme E. F. **Desenvolvimento e análise socioambiental da implantação de um biodigestor em uma propriedade rural**. 2019. 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme et al. **Utilização de biogestores 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 (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GENOVESE, Alex Leão, UDAETA, Miguel Edgar Morales and GALVAO, Luiz Cláudio Ribeiro. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings online...** Available from: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn. Access on: 07 May. 2023.

GOOGLE. GoogleEarthwebsite.<http://earth.google.com/>, 2023.

HENN, Alan. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condição de partida**. 2005. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rebanho de bovinos (bois e vacas)**. 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>. Acesso em: 31 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rebanho de ovinos (ovelhas e carneiros)**. 2021b. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28160/1/2019_JoaoMateusDaAbadiaVieira_tcc.pdf. Acesso em: 31 mar. 2023.

JORGE, Lucia Helena de Araújo; OMENA, Elizabeth. **Biodigestor**. Manaus:Senai, 2012. 26p

KARLSSON, Tommy et al. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Univates, 2014. 70 p. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf. Acesso em: 25 mar. 2023.

KUNZ, Airton; HIGARASHI, Martha Mayumi; OLIVEIRA, Paulo Armando Victoria. Tecnologias para o tratamento de resíduos de animais: biodigestão e compostagem. In: PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília: EMBRAPA, Cap.6, 2014. p.235-284.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do (Eds). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2. ed. Concórdia: EMBRAPA, 2022. 211p

LUCAS, Max Antonio Ramos; MATOS, Gabriel Arthur Casemiro. Construção de um biodigestor para fins de estudo e aplicação em pequeno porte, **Brazilian Journal of Development**. v.8, n5, p. 51890-51899, 2021.

MARANHÃO, Romero A. Análise da viabilidade técnica e econômica para o uso de biodigestores em organização militar criadora de equinos levando em consideração os créditos de carbono. In: SIMPÓSIO DE EXCELENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 12., 2015, Porta Alegre. **Anais...**. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/29122328.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

MENDONÇA, Henrique Vieira de et al. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 9, n. 4, p. 973-987, 2016.

MILANEZ, Arthur; MAIA, Guilherme; GUIMARÃES, Diego. **Biogás: Evolução recente de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil**. BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, 2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20801/1/PR_Biogas_215276_P_BD.pdf. Acesso em: 11 mar. 2023

MILANEZ, Artur Yabe et al. **Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro: BNDES, Setorial 47, p. 221-276, 2018.

NISHIMURA, Rafael. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

OLIVA, Flávio Alberto; SOUZA, Adriele Aparecida Camargo de. Utilização da esterqueira para reutilização de dejetos Bovinos. **Revista Alomorfia**, v. 6, n. 4, p. 580-589, 2022.

OLIVEIRA, Paulo Armando V. de et al. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. EMBRAPA-CNPASA. Documento, 27, 1993. 188 p.

OLIVEIRA, Paulo Armando V. de. Produção e manejo de dejetos de suínos. **A Produção Animal na Visão dos Brasileiros. Piracicaba: FEALQ**, p. 164-177, 2001.

OLIVEIRA, Paulo; HIGARASHI, Martha. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia SC, 2006. 42 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/856124/1/doc115.pdf>. Acesso em: 12 mar.2023.

OLIVER, André de Paula Moniz et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Instituto de Estudos Del Hambre. v. 23, 2008. 23p.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. Influência da relação volumoso: concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 386-394, 2010.

ORRICO, Ana C.A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de; ORRICO JÚNIOR, Marco A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 639-647, 2007.

PERECIN, Danilo. **Comparação entre as estratégias de aproveitamento energético do biogás**: geração de energia elétrica versus produção de biometano. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. 164 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-22122017-150732/>. Acesso em: 11 mar. 2023.

PEREIRA, Allan Viktor da Silva et al. Dimensionamento de biodigestor para resíduos bovinos de uma pequena unidade rural do município de angicos/RN. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2019, Palmas. **Anais...** Disponível em: [file:///C:/Users/Mateus%20Oliveira/Downloads/DIMENSIONAMENTO%20DE%20BIODIGESTOR%20PARA%20RESIDUOS%20BOVINOS%20DE%20UMA%20PEQUENA%20UNIDADE%20RURAL%20DO%20MUNICIPIO%20DE%20ANGICOS-RN%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Mateus%20Oliveira/Downloads/DIMENSIONAMENTO%20DE%20BIODIGESTOR%20PARA%20RESIDUOS%20BOVINOS%20DE%20UMA%20PEQUENA%20UNIDADE%20RURAL%20DO%20MUNICIPIO%20DE%20ANGICOS-RN%20(2).pdf). Acesso em: 27 abr 2023.

PEREIRA, Edilaine Regina; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, Fábio Enrique Lemos. **Biodigestores-tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. São Paulo: Instituto de Zootecnia de São Paulo, 9p. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1255981651.pdf>. Acesso em: 29 MAR. 2023. 2009.

PEREIRA, Murilo Sagrillo et al. Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. **Revista Eletrônica em Gestão, educação e Tecnologia ambiental**, v. 19, n. 3. p. 239-247, 2015.

PONTES, Patrícia. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. 2003. 198 f. Tese (Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2003.

QUADROS, Danilo G. de et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 326-332, 2010.

SALES FILHO, Ivanildo de Oliveira. **Avaliação da toxicidade e remoção de matéria orgânica de efluente de biodigestor de resíduos sólidos orgânicos tratado em wetlands**. 2014. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2014.

SANTOS, Vanessa Laura. **Estudo da produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos de um restaurante universitário com biodigestor anaeróbio doméstico**. 2017. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

SILVA, José Antonio Ramos et al. Tratamento de dejetos no Brasil: comparativo entre as técnicas de compostagem e biodigestores anaeróbios. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 797-817, 2020.

SIQUEIRA, Laura Maria. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SOARES, Márcia Toffani Simão et al. Caracterização físico-química de efluentes líquidos de granjas suínas tratados em biodigestor. In: SIMÓRIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 5., 2010, Corumbá. **Anais...** Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/868199/1/sp17245.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2023.

SOUZA, José de et al. **Planta para compressão e tratamento de biometano**. 2012 Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=7&ano=_terceiro#:~:text=No%20processo%20de%20purifica%C3%A7%C3%A3o%20do,utilizado%20nos%20mesmos%20usos%20finais. Acesso em: 03 abr. 2023.

SOUZA, Letícia B.; PECCI, Lorene. **Projeto de implantação de um biodigestor modelo fluxo tubular para a produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos do**

restaurante universitário da UTFPR– campus ponta grossa. 2021. 82 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

STEIL, Lara. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** 2001. 127 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TARRENTO, Gilson Eduardo; MARTINEZ, José Carlos. Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13. 2006. Bauru. **Anais...** Disponível: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/486.pdf. Acesso em: 03 abr. 2023.

VIEIRA, Cícero Fernandes A. et al. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. **Revista Tecnologia**, v. 29, n. 1, p. 72-82, 2008.

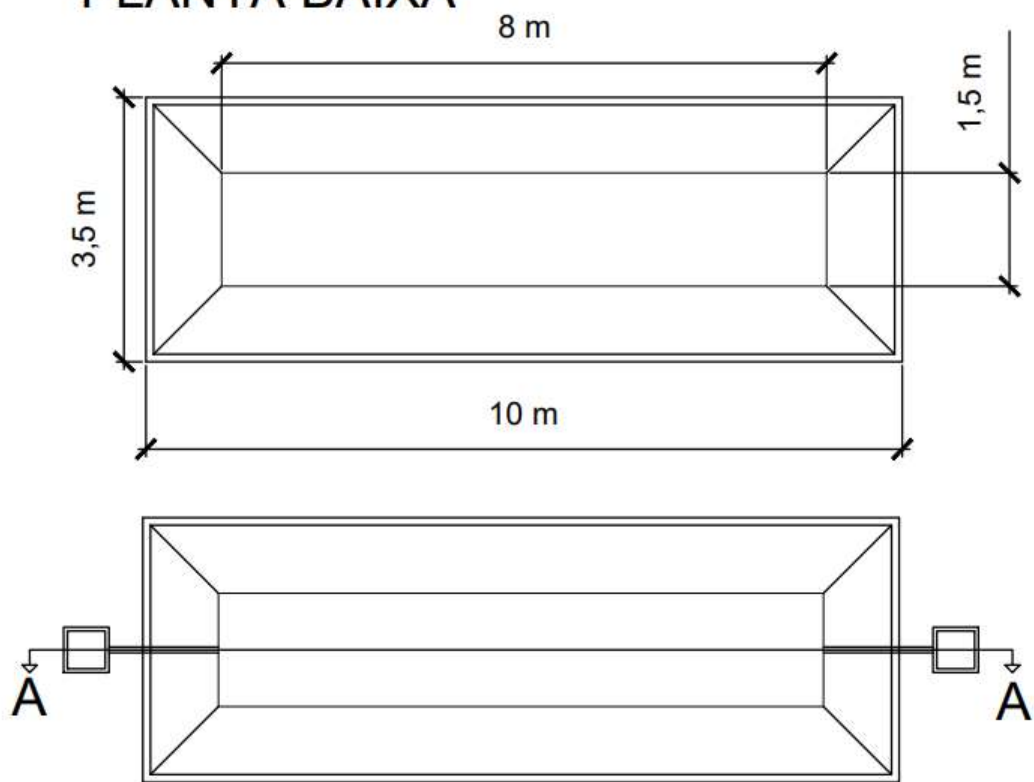
VIEIRA, João Mateus da Abadia. **Produção de biogás a partir do uso de esterco ovino com adição de diferentes frações de inóculo.** 2019. 32 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** 2009. 105 f. Dissertação (mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

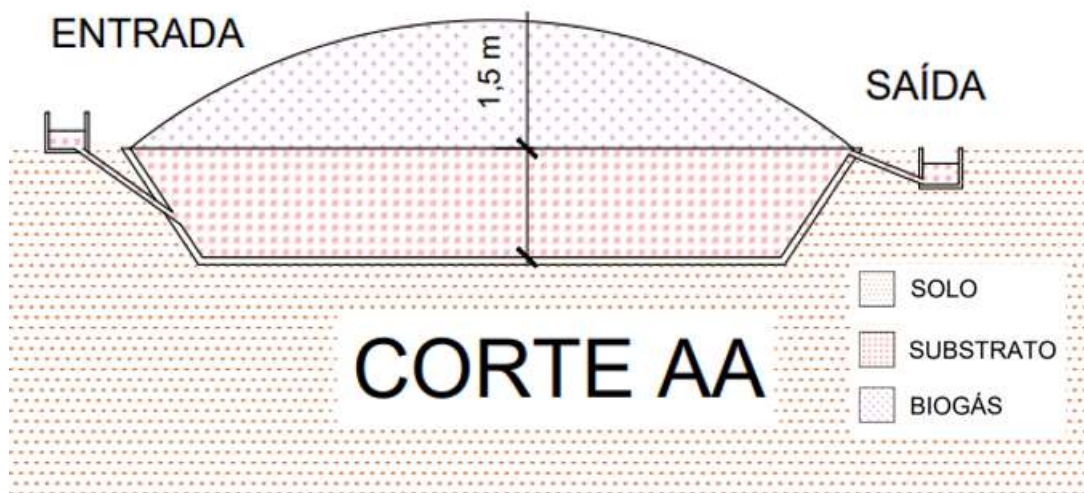
APENDICE

A

PLANTA BAIXA



B



FONTE: Autoria própria, (2023).