

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E HUMANAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ZOOTECNIA

VALKERSON LEMES ZACARKIM

**BENEFÍCIOS DE BIODIGESTORES TIPO BATELADA PARA AGRICULTORES
FAMILIARES**

PONTES E LACERDA-MT
NOVEMBRO/2018

VALKERSON LEMES ZACARKIM

**BENEFÍCIOS DE BIODIGESTORES TIPO BATELADA PARA AGRICULTORES
FAMILIARES**

"Trabalho de conclusão de curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ZOOTECNIA”.

Orientador: Prof. Dr. Edson Sadayuki Eguchi
Co-orientador: Prof. Dr. Samuel Laudelino
Silva

PONTES E LACERDA-MT
NOVEMBRO/2018

VALKERSON LEMES ZACARKIM

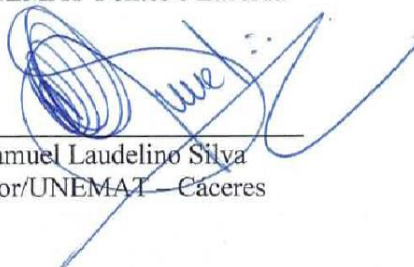
**BENEFÍCIOS DE BIODIGESTORES TIPO BATELADA PARA
AGRICULTORES FAMILIARES**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado a Coordenação do Curso de
Graduação em Zootecnia da Universidade do
Estado de Mato Grosso, como parte das
exigências para obtenção do título de
Bacharel em Zootecnia

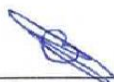
APROVADO EM: 26/11/2018



Prof.a. Dr. Edson Sadayuki Eguchi
Orientador/UNEMAT-Pontes e Lacerda



Prof. Dr. Samuel Laudelino Silva
Co-Orientador/UNEMAT – Cáceres



Prof. Dr. Cristiano da Cruz
UNEMAT – Pontes e Lacerda

A todos que lerem e usarem como referência esse trabalho;

Dedico-lhes de coração.

AGRADECIMENTOS

A UNEMAT, por ser uma instituição e não uma pessoa, e me aguentar por 7 anos de curso.

A todas as mulheres da UNEMAT, sem exceção, que embelezam os dias tristes e angustiantes de provas e seminários, distribuindo afetividade com seus trejeitos, doçura e simpatia, fazendo com que nos motive diante da sua força feminina.

Ao meu orientador Edson Sadayuki Eguchi, pela sinceridade, clareza e companheirismo comigo, me ajudando desde o princípio com todo o projeto.

Aos professores que fugiram do protocolo e deram mais que apenas a disciplina, que nos fizeram pensar com suas filosofias e suas referências bibliográficas como O Pequeno Príncipe e A Vida Secreta das Plantas, que nos desconstrói do padrão seguido pela maioria e reconstrói em um padrão próprio, pessoal e mais humano, equilibrando meio a meio a proporção entre desenvolvimento-envolvimento.

As pessoas que foram parceiras neste projeto: Prof. Edson Sadayuki Eguchi, Prof. (a) Maria Aparecida Pierangelli, Prof. Oswaldo, Prof. Edson Júnior, Prof. Juliano Geron, Prof. Botini, Prof. Rafael Kill, Prof Samuel Laudelino, Isaias Martin, José Dener, Jean Marcos, Jhonatan Barbosa, Hector Augusto Moresco, Emílio Catosso, Douglas Nishida, senhor Auro, senhor Josias.

Aos cajus, jacas, mangas e tamarindos que nos supriram diante da fome de nervosismo em alguma pré-prova.

Aos amigos que fiz antes durante e depois, diretos e indiretos da universidade, que participaram dessa ideia e contribuíram de alguma forma para a minha formação/construção pessoal e profissional. AMO VOCÊS!

Aos meus pais e irmãos, que diante de vários erros, escolhas malfeitas, desmotivação e intolerância de minha parte, tiveram paciência e não desistiram de mim, acreditando e me fazendo acreditar que tudo daria certo. AMO VOCÊS!

Aos erros, que através deles, nos fazem crescer, melhorar e acertar.

A pessoas como Jesus, Aristóteles, Chico Xavier, Madre Teresa, Gandhi, Dalai Lama, Martin Luther King, Chico Mendes, Dorothy Stang, Nina Simone, Padre Fábio de Melo entre outras várias, que lutaram no passado e lutam para termos uma vida melhor, com liberdade, mais dignidade e AMOR. Espero ser alguém minimamente próximo a vocês!

“Trabalhamos cuidando do campo, valorizando o produtor e sua produção, lado a lado com a tecnologia, sempre a par da evolução, atuamos no manejo, na genética ou nutrição, respeitando nossa terra, honrando costumes e tradição, levamos o campo na essência e a ZOOTECNIA no Coração!”

(Anônimo)

RESUMO

Frente à crise energética, o aquecimento global, a poluição de rios, degradação do meio ambiente e buscando uma tecnologia alternativa para a produção de biogás e biofertilizante. Objetivou-se neste trabalho analisar os benefícios do biodigestor tipo batelada para pequenos produtores rurais. É um modelo de biodigestor de baixo custo, com viabilidade em sua construção e operacionalização, trazendo retornos econômicos, sociais e ambientais e contribuindo para o futuro da humanidade, mesmo de forma simples e pequena. O trabalho foi realizado na Universidade do Estado de Mato Grosso, no Campus de Pontes e Lacerda, fixado no setor de ordenha. É um biodigestor tipo batelada de 200L, em quadrado latino com três tratamentos com esterco de bovino de leite, resto orgânicos de cozinha e grama e duas repetições. Cada biomassa teve um tempo de retenção hidráulica de 30 dias, sendo amostrado o volume de biogás produzido, temperatura ambiente e a pressão interna do biodigestor diariamente, e posteriormente a qualidade bromatológica do biofertilizante. Apenas o tratamento com esterco, da primeira repetição produziu biogás, embora não sendo em quantidade expressiva, a produção de biogás é viável economicamente para o produtor usá-lo para cocção em relação ao seu gasto inicial com o biodigestor, tendo também o biofertilizante, rico em minerais para uso em hortas e pequenas plantações ou até mesmo para comercialização do produto. Concluimos que o biodigestor tipo batelada pode ser muito eficiente para produtores que não apresentam limitações de substrato dentro período de produção de biogás. Outro importante fator é a sua vedação, e seu manejo para poder abrir, abastecer com substratos e fechar a sua tampa que podem colocar em risco o processo de anaerobiose, causando a ineficiência na produção do biogás. Apesar da produção ser limitada, nada impede de ampliar e unir biodigestores tipo batelada com encanamentos, aumentando a sua produtividade.

Palavras-chave: Biofertilizante. Biogás. Energia. Resíduo Animal.

ABSTRACT

Facing the energy crisis, global warming, pollution of rivers, degradation of the environment and seeking an alternative technology for the production of biogas and biofertilizer. The objective of this work was to analyze the benefits of the batch type biodigester for small rural producers. It is a low cost biodigester model with feasibility in its construction and operationalization, bringing economic, social and environmental returns and contributing to the future of humankind, even in a simple and small way. The work was carried out in the University of the State of Mato Grosso, in Campus of Pontes e Lacerda, fixed in the milking sector. It is a 200L batch type biodigester, in Latin square with three treatments with cattle manure of milk, organic rest of kitchen and grass and two repetitions. Each biomass had a hydraulic retention time of 30 days, being sampled the volume of biogas produced, ambient temperature and internal pressure of the biodigester daily, and later the bromatological quality of the biofertilizer. Only the treatment with manure of the first repetition produced biogas, although not in expressive quantity, the production of biogas is economically viable for the producer to use it for cooking in relation to its initial expense with the biodigester, also having the biofertilizer, rich in minerals for use in vegetable gardens and small plantations or even for commercialization of the product. It is concluded that the batch type biodigester can be very efficient for producers who do not present substrate limitations within the biogas production period. Another important factor is its fence, and it is handling to be able to open, to supply with substrates and to close its cover that can put at risk the anaerobiosis process, causing the inefficiency in the biogas production. Although production is limited, there is nothing to prevent it from expanding and joining batch type biodigesters with pipelines, increasing their productivity.

Keywords: Animal Residue. Biofertilizer. Biogas. Energy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 BIODIGESTOR.....	13
2.1.1 Modelo Indiano.....	15
2.1.2 Modelo Chinês	16
2.1.3 Modelo Batelada ou “Batch”	16
2.1.4 Processos de fermentação	17
2.1.5.1 Hidrólise	17
2.1.5.2 Acidogênese	18
2.1.5.3 Acetogênese	18
2.1.5.4 Metanogênese	19
2.2 BIOGÁS	20
2.2.1 Metano	22
2.3 BIOFERTILIZANTE	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37
ANEXO A - Conta de energia elétrica referente ao mês de agosto/2018 da UNEMAT...	42

1 INTRODUÇÃO

Segundo Walisiewicz (2008 apud MAFACIOLLI, 2012), até cerca de 250 anos, os seres humanos dependiam quase que inteiramente das fontes naturais de energia, os animais puxavam os arados e moinhos de vento trituravam os grãos. Atualmente, a força humana contribui com menos de 1% do trabalho realizado nos países desenvolvidos, fazendo com que as atividades de produção de bens e serviços dependam cada vez mais do uso de recursos não renováveis como petróleo, gás natural e carvão mineral.

O aumento na utilização de combustíveis fósseis, observado desde o início da era industrial, já causou um incremento em torno de 30% da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, e como consequências, o aumento da temperatura global e o risco de falta de energia. Este consumo insustentável reforça a necessidade de um equilíbrio entre a demanda de energia e o seu consumo, o que pode ser alcançado com a utilização de energias alternativas (HINRICHS et al., 2010).

Existe maior reconhecimento, tanto nos países industrializados como em desenvolvimento, da necessidade da eficiência técnica e econômica na exploração dos recursos. Os sistemas para a recuperação e utilização dos resíduos estão em lugar de destaque na comunidade mundial. Atualmente, emerge uma nova consciência ambiental, que chama a atenção dos responsáveis políticos e do público em geral (CARREAS, 2013).

Problemas decorrentes da expansão dos desertos, da perda de florestas, da erosão dos solos, da criação industrializada de animais, da destruição dos equilíbrios ecológicos e da acumulação de resíduos resultaram na aplicação de novas políticas necessárias para enfrentar estes novos desafios frente ao crescimento das populações humanas. No mundo cada dia mais complexo e economicamente interdependente, os interesses econômicos e de segurança dos países em desenvolvimento devem ser entendidos em um contexto global mais amplo (CARREAS, 2013).

Recentemente chegamos à marca de 7 bilhões de habitantes em todo o globo. Segundo projeções da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), em 2050 a população mundial ultrapassará 9 bilhões de pessoas. Dentre os desafios visualizados pela FAO, o mais importante será produzir alimentos suficientes e seguros para atender a demanda (FAO, 2012).

Nos países em desenvolvimento o uso descuidado e excessivo dos recursos naturais, com mais impacto acumulado nos países pobres do que nos ricos. Existe uma consciência maior

de que as preocupações ambientais são essenciais para a continuação do desenvolvimento econômico a longo prazo. São necessários objetivos globais para conseguir benefícios econômicos e ambientais através de projetos sustentáveis para a recuperação e utilização de recursos e programas para os países em desenvolvimento (CARREAS, 2013).

As produções de animais têm sofrido grandes modificações nas últimas décadas, passando por um sistema de criação extensivo para um modelo intensivo de confinamento. O sistema de produção de animais confinados visa principalmente reduzir os custos de produção e aumentar a eficiência do processo. No entanto, os problemas ambientais também têm se intensificado, em função da alta produção de dejetos, criando a necessidade de alternativas que permitam minimizar ou mesmo agregar algum valor aos resíduos (PEDERIVA et al., 2012).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional referente ao ano de 2004, as principais fontes de energia para o consumo no segmento agropecuário foram óleo diesel (58%), lenha (26%), energia elétrica (15%) e outros (1%) (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2005). No triênio 2002-2004, dados oficiais disponíveis mostraram elevação dos preços pagos pela energia, devido os preços do óleo diesel que aumentaram 41%, da lenha com aumento de 52% e da energia elétrica de 36%, em média, nesse período (BONTURI; VAN DIJK, 2012).

Uma opção para reduzir os custos dos biocombustíveis é utilizar os subprodutos agropecuários como uma potencial fonte de energia em vez de tratá-los como resíduos de produção (KOLEŠÁROVÁ et al., 2010). Neste contexto, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas com o objetivo de resolver ou pelo menos amenizar essa contaminação ambiental, buscando a utilização de energias abundantes, baratas e limpas (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás para a conversão em energia nos processos de cozimento, iluminação e como biofertilizante é muito popular nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia (KUNZ; OLIVEIRA, 2006).

O biodigestor é uma tecnologia já existente de grande potencial na proteção ao meio ambiente como fonte alternativa de produção de energia. Sendo um equipamento capaz de criar o ambiente propício para a ação de bactérias metanogênicas, que realizam um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos cujos produtos resultantes são biofertilizantes e biogás (FARRET, 1999 e NOGUEIRA, 1986 apud PEDERIVA et al., 2012).

Como o biodigestor, além de produzir gás, limpa os resíduos não aproveitáveis de uma propriedade agrícola e gera biofertilizante, é considerado por alguns como um poço de petróleo, uma fábrica de fertilizantes e uma usina de saneamento, unidos em um mesmo equipamento.

Trabalha com qualquer tipo de material que se decomponha biologicamente sob ação das bactérias anaeróbias, praticamente todo resto de animal ou vegetal é biomassa capaz de fornecer biogás através do biodigestor. Os resíduos animais são o melhor alimento para os biodigestores, pelo fato de já saírem dos seus intestinos carregados de bactérias anaeróbicas (BONTURI; VAN DIJK, 2012).

Objetivou-se neste trabalho qualificar, quantificar e comparar, posteriormente, os produtos finais (biogás e biofertilizante) gerados através de um biodigestor tipo batelada, com três substratos distintos: esterco bovino, esterco bovino mais restos orgânicos de cozinha e esterco bovino mais grama, ambos tendo tempo de retenção hidráulico de 30 dias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O grande desenvolvimento conseguido pela humanidade notadamente no último século e a consequente necessidade de atender, em quantidade e qualidade, as crescentes demandas de água, alimentos e energia, tem exigido a sua mudança no desenvolvimento a qualquer custo, que leva à exaustão dos recursos naturais, a geração e disposição inadequada de resíduos que causam sérios danos ambientais e o desperdício que são insustentáveis (ANDRADE et al., 2002).

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) realizadas no Brasil estão: co-geração de energia com biomassa; tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e aproveitamento de biogás em aterros sanitários; substituição de combustíveis e/ou aumento de eficiência energética em processos industriais; instalação de biodigestores para captação de metano em granjas de confinamento (particularmente suinocultura); implantação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e os projetos de reflorestamento (CENAMO, 2005).

O Brasil possui dimensões continentais, com a maior parte de seu território localizado entre o equador e o trópico de capricórnio, oferecendo condições climáticas propícias para a utilização da tecnologia da digestão anaeróbia (ANDRADE et al., 2002).

2.1 BIODIGESTOR

Os biodigestores rurais são importantes para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a redução da carga orgânica (convertendo o carbono presente na matéria orgânica em CH_4 que é utilizado como combustível), redução dos sólidos e também a redução de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes. Além de estimularem a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, possibilitam a higienização das instalações para criação de animais, promovendo o tratamento de seus dejetos, proporcionando diminuição de moscas e odores (ANDRADE et al., 2002).

Há mais de dois séculos já se tem conhecimento sobre o biodigestor, onde responde bem ao aproveitamento e tratamento de resíduos, geração de energia e produção de biofertilizantes (FERREIRA; SILVA, 2009).

A Índia foi o primeiro país a instalar biodigestores para a produção de biogás, de maneira sistemática (Figura 1). A primeira unidade foi construída por volta de 1908, e seu programa de implantação começou em 1951 e em 1992 com já existiam cerca de 160 mil unidades instaladas. A China, iniciou seu programa de implantação de biodigestores na década de cinquenta e contava até 1972 com cerca de 7,2 milhões de unidades (BAUMANN; KARPE, 1980).

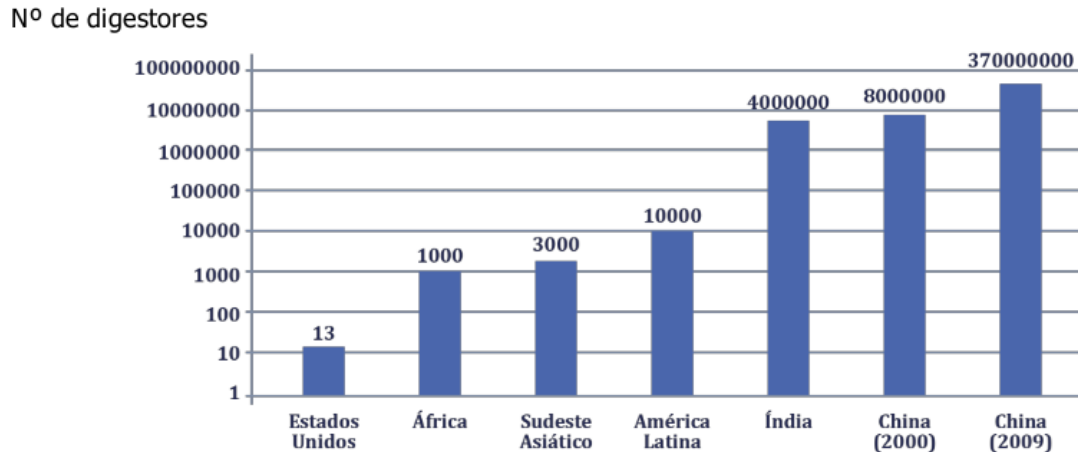


Figura 1. Digestores de pequena escala instalados no mundo.

Fonte: Burns (2009), apud Carreas (2013)

Segundo Comastri Filho (1981), um biodigestor ou simplesmente digestor, pode ser definido como uma câmara de fermentação, onde a biomassa sofre a digestão pelas bactérias anaeróbicas, produzindo biogás. Trata-se de um recipiente fechado, construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, onde é colocado o material a ser digerido.

Esta estrutura pode ser cilíndrica, vertical e superficial, ou seja, acima do solo, acompanhada de uma campânula onde se acumula o gás que é desprendido da digestão da biomassa chamado de gasômetro (PINTO, 2008).

A realização e eficiência da biodigestão dependem de diversos fatores, como tipo de substrato usado no processo, pH, acidez, alcalinidade, temperatura e concentração de sólidos. Dentre estes, a temperatura influencia diretamente na atividade microbiana e velocidades das reações bioquímicas de suma importância nos sistemas biológicos (CASTRO; CORTEZ, 1998; MIRANDA et al., 2006).

Para Souza (1984), um valor de alcalinidade bicarbonato de 2500 a 5 mil $\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$ e pH entre 6,7 a 6,8, é desejável, pois confere um bom tamponamento ao meio em digestão.

As vantagens que se tem na utilização de biodigestores podem ser levados em consideração o baixo custo operacional e implantação, a sua simplicidade de operação, manutenção e controle, a eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes, baixos requisitos de área, pode se aplicar em pequena escala com pouca dependência da existência de grandes interceptores, uma elevada vida útil e a possibilidade de recuperação de subprodutos úteis como o biofertilizante e o biogás (SAMULAK et al., 2010).

A classificação dos biodigestores é realizada quanto à forma de abastecimento que podem ser em batelada e contínuos. Os biodigestores do modelo batelada recebem o carregamento da matéria orgânica onde só será realizada sua substituição após o período adequado à digestão de todo o lote. Nos modelos contínuos os biodigestores são construídos para que sejam abastecidos diariamente, fazendo com que tenha a entrada de substrato orgânico para ser processado e a saída do material já tratado (OLIVER, 2008).

2.1.1 Modelo Indiano

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação (DEGANUTTI, 2002).

O modelo indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume, portanto, mantendo a pressão no interior constante. O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água reduz as perdas durante o processo de produção do gás (JORGE; OMENA, 2012).

Considera-se aqui que o modelo de biodigestor indiano é o mais apropriado para o sistema de alimentação contínua, de acordo com a disponibilidade dos resíduos dos pequenos produtores rurais. E sugere-se que sistemas de agitação, aquecimento, pré-fermentação, etc., sejam associados a estes biodigestores, porém atenta-se que os custos de construção e de equipamentos assim como a disponibilidade de assistência técnica, sejam analisados com rigor (ANDRADE et al., 2002).

2.1.2 Modelo Chinês

O modelo Chinês de biodigestor é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (PEDERIVA et al., 2012).

Para Deganutti (2002), neste tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte.

O modelo chinês apresenta baixo custo de construção, não possui partes móveis, não possui partes metálicas que podem ser oxidadas e, portanto, são mais duráveis (ANDRADE et al., 2002).

2.1.3 Modelo Batelada ou “Batch”

Os biodigestores operados em batelada caracterizam-se por serem alimentados de uma só vez; são de construção mais simples em relação a outros biodigestores; podem ser recomendados para dejetos que contenham restos de palhas e areia, e podem ser úteis para a obtenção de parâmetros de dimensionamento (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional, sendo um dos modelos mais simples de biodigestores. Este sistema é composto de uma única câmara de fermentação, normalmente feita em alvenaria, e por um gasômetro móvel, construído com chapas metálicas. Este sistema requer baixa operacionalidade e pode ser alimentado tanto com desejos diluídos em água quanto resíduos vegetais sólidos, sendo usado, principalmente, para matérias orgânicas de decomposição lenta (NOGUEIRA, 1986 apud JORGE; OMENA, 2012).

2.1.4 Processos de fermentação

Para Xavier e Lucas Júnior (2010), um dos processos de conversão energética da biomassa é a biodigestão anaeróbia que é um processo natural de fermentação no qual microrganismos anaeróbios produzem o biogás, utilizável como fonte de energia diretamente em queimadores ou motores geradores.

O processo de digestão anaeróbia ocorre pela ação de quatro tipos de microorganismos: hidrolíticos, acidogênicos, acetogênicos e metanogênicos (Figura 2) (VEEKEN; HAMELERS, 1999 apud PINTO, 2008).

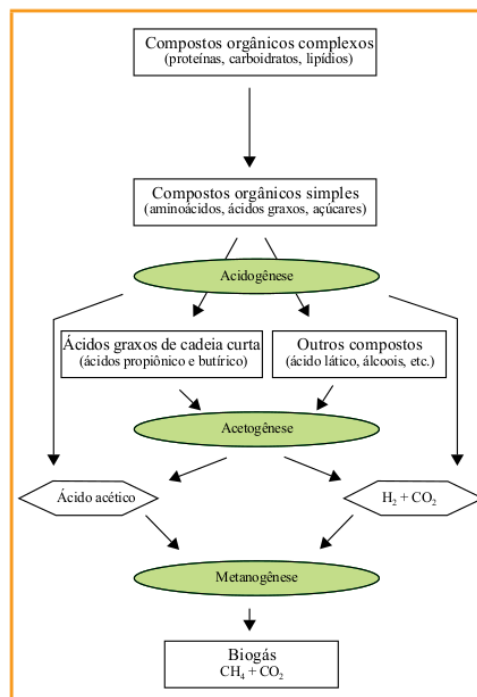


Figura 2. Esquema da decomposição anaeróbia.

Fonte: Rohstoffe (2010)

2.1.5.1 Hidrólise

O primeiro estágio é a hidrólise, em que compostos orgânicos complexos, tais como carboidratos, proteínas e lipídios, são decompostos em substâncias menos complexas como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. No processo atuam bactérias hidrolíticas, cujas enzimas liberadas decompõem o material por meio de reações bioquímicas (ROHSTOFFE, 2010).

A velocidade de degradação dos materiais lignocelulósicos compostos principalmente por lignina, celulose e hemicelulose é tão lenta que costuma ser a etapa limitante do processo de hidrólise. Isto se deve pela lignina é muito resistente à degradação por parte dos microrganismos anaeróbicos, afetando também à biodegradabilidade da celulose, da hemicelulose e de outros hidratos de carbono. A taxa de hidrólise geralmente aumenta com a temperatura e depende, também, do tamanho das partículas, devido principalmente à disponibilidade da superfície para a absorção das enzimas hidrolíticas. Os pré-tratamentos físico-químicos, cujo principal efeito é a redução do tamanho das partículas, produzem um aumento da taxa de hidrólise, e se esta fase é a limitante do processo anaeróbico, representa um benefício para o processo geral, produzindo menores tempos de retenção e reatores menores (CARREAS, 2013).

2.1.5.2 Acidogênese

Durante a acidogênese, as bactérias metabolizam na forma intracelular os produtos solúveis resultantes da hidrólise, que são convertidos em compostos orgânicos simples com o auxílio e endoenzimas no interior das células bacterianas. Os principais produtos formados nessa etapa são ácido propiônico, butírico, valérico, isovalérico, capróico, acético, láctico, dióxido de carbono, ácido sulfídrico, hidrogênio, além de novas células bacterianas. Esse estágio é denominado de fase ácida devido à grande quantidade de ácidos formados (PONTES, 2003).

A cinética do processo é relativamente rápida, as bactérias produtoras de ácido são de crescimento rápido, já que tem um tempo mínimo de duplicação de 30 minutos (CARREAS, 2013).

2.1.5.3 Acetogênese

Na acetogênese, que compreende o processo de formação de ácido acético, esses compostos são convertidos por bactérias acetogênicas em precursores do biogás (ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono). Nesse ponto, a pressão parcial do hidrogênio é decisiva. Por

razões de cunho energético, uma concentração de hidrogênio muito elevada impede a conversão dos compostos intermediários da acidogênese. A consequência é o acúmulo de ácidos orgânicos que inibem a metanogênese, tais como o ácido propiônico, ácido isobutírico, ácido isovalérico e ácido capróico. Por essa razão, as bactérias acetogênicas (produtoras de hidrogênio) têm de estar estreitamente associadas às arqueas metanogênicas. Durante a formação do metano, as arqueas consomem hidrogênio e dióxido de carbono (transferência interespecífica de hidrogênio), garantindo o meio propício para as bactérias acetogênicas (ROHSTOFFE, 2010).

2.1.5.4 Metanogênese

Na fase Metagênica as bactérias metanogênicas atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono transformando-os em CH_4 (metano). Esta fase limita a velocidade da cadeia de reações devida principalmente à formação de microbolhas de CH_4 e CO_2 em torno da bactéria metanogênica isolando-a do contato direto com a mistura (BONTURI; VAN DIJK, 2012), e segundo Pontes (2003), o metano formado nessa etapa é insolúvel em água, sendo liberado para a fase gasosa, diferente do dióxido de carbono, por ser relativamente solúvel em água, é liberado apenas parcialmente para a fase gasosa.

Para Souza (1984), as bactérias metanogênicas são estritamente anaeróbias, e por isto, em culturas puras, qualquer traço de oxigênio molecular pode lhes ser extremamente prejudicial.

Quando a população de microrganismos metanogênicos se encontra presente em quantidade adequada, os ácidos são degradados à medida que são formados, não se acumulando além da capacidade neutralizadora do meio e o pH permanece na faixa favorável para as arqueas metanogênicas (PONTES, 2003).

O processo pode ocorrer nas faixas mesofílica (15 a 45°C) ou termofílica (50 a 65°C) de temperatura. Muito mais importante do que operar na temperatura ótima, é operar sem variações significativas na temperatura, uma vez que as bactérias metanogênicas são bastante sensíveis a variações, embora a velocidade de digestão é maior a temperaturas termofílicas, em relação às mesofílicas (SOUZA, 1984).

2.2 BIOGÁS

O biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica e sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos (Figura 3), composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis (PECORA, 2006).

A produção de biogás, obtida a partir de dejetos animais, depende de muitas variáveis, como a quantidade de dejetos produzidos, a composição dos mesmos e o tipo de alimentação dos animais, além de fatores externos como o clima, tipo de confinamento e a eficiência do biodigestor (BLOG BGS, 2013).

A produção do metano, a partir da biomassa, começa a se processar depois de 20 dias, vai aumentando até chegar ao máximo na terceira semana quando começa a decrescer lentamente durante o período de fermentação de cerca de 90 dias (BONTURI; VAN DIJK, 2012).

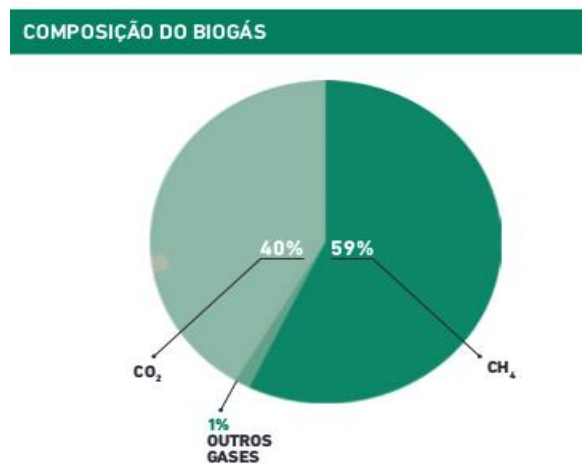


Figura 3. Composição do biogás.

Fonte: Bley Jr (2015)

Esse processo é muito comum na natureza e ocorre, por exemplo, em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e no rúmen de animais ruminantes. Por meio de diversos microrganismos, a matéria orgânica é convertida em biogás quase por completo. Além disso, são produzidas certas quantidades de energia (calor) e nova biomassa (ROHSTOFFE, 2010).

Estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar a produção de biogás por outros métodos. A adição de inóculo é um deles e consiste em utilizar parte do material que já passou pelo processo, capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos típicos da biodigestão anaeróbia (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Embora tenha praticamente a mesma composição química do gás natural, difere-se completamente deste por ter origem em processos de saneamento ambiental e não em jazidas petrolíferas. Esse conceito é particularmente interessante porque pode evitar o maior equívoco que se poderia cometer em relação à difusão do uso do biogás, induzindo a concentração de escala, para a sua exploração. Na realidade, o biogás é uma fonte estratégica de energia ligada à sustentabilidade dos próprios processos industriais, agropecuários e de saneamento que o produzem (BLEY JUNIOR, 2015).

O biogás, ao contrário do álcool da cana-de-açúcar e de óleos extraídos de outras culturas, não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis. Afinal, ele pode ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos de animais e das pessoas (OLIVER, 2008).

O biogás, contudo, só se torna combustível eficiente quando o teor de metano for superior ao de CO₂. É uma fonte de energia de múltipla utilização em aquecedor de água, geladeiras, fogão, calefação, iluminação, veículos de grande e pequeno porte, grupos geradores e embarcações. Sua eficiência é economicamente viável em um veículo de 70HP roda cerca de 15 Km com 1m³ de Biogás, e uma família de cinco pessoas fazendo três refeições por dia consome o mesmo volume (BONTURI; VAN DIJK, 2012). Em termos práticos, cada m³ de gás metano equivale a 1,5 Kg de lenha ou 1,5 litro de gasolina comum (PINTO, 2008).

A Tabela 1 apresenta para vários animais a produção média de dejetos por dia, o potencial de geração de biogás, o equivalente do biogás em gás de cozinha (GLP) e o equivalente em energia elétrica (kWh).

A produção média de dejetos para suínos e bovinos de leite apresentados na Tabela 1 (itens linha 1 a 3), devido aos modelos de confinamento destes animais existentes no Brasil, considera a produção de dejetos mais a produção de urina, ambos sendo utilizados para a produção de biogás. Para os demais animais, a produção de dejetos se refere apenas à parte sólida. Neste caso, o potencial de produção de biogás é determinado considerando que os dejetos serão obrigatoriamente misturados com água (BLOG BGS, 2013).

Tabela 1. Índices de produção de biogás, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e kWh

Animal	Dejeto (kg dia-1)	Biogás (m ³ dia-1/animal)	GLP (kg dia-1)	Energia (kWh dia-1)
Suínos – terminação ¹	7*	0,08	0,03	0,08
Suínos – matrizes ¹	16*	0,19	0,08	0,19
Bovinos de leite ²	45*	0,54	0,22	0,54
Bubalinos ³	25	0,60	0,24	0,60
Caprinos/ Ovinos ⁴	2,8	0,07	0,03	0,07
Equinos ⁵	10	0,36	0,14	0,36
Galinha ⁶	0,09	0,01	0,00	0,01
Cachorros ⁶	0,33	0,03	0,01	0,03
Elefante ⁶	90,6	6,43	2,57	6,43
Humano ^{6/7}	0,25	0,01	0,00	0,01

* Fezes + urina.

Fonte: <http://bgsequipamentos.com.br/blog/calculo-de-producao-de-biogas-2/>

2.2.1 Metano

O gás metano (CH₄) é um dos responsáveis pelo efeito estufa, apresentando maior potencial de aquecimento global do que o gás carbônico (CO₂) (SILVA et al., 2013).

É um gás incolor, inodoro e insípido. Sua massa específica é inferior à do ar, isso é, de 0,717 diante de 1,29, com um Pci de 35,0 MJ m⁻³. É altamente explosivo, seus limites, inferior e superior, de explosividade no ar são, respetivamente, 5% e 15%. Sua solubilidade na água é de cerca de 60 mg l⁻¹. O metano não é um gás tóxico, mas pode causar o deslocamento do oxigênio na atmosfera do solo e criar um risco de asfixia. É um gás que incide de forma importante no efeito estufa, absorve a radiação infravermelha terrestre (calor) que, de outro modo, escaparia ao espaço, característica dos gases de efeito estufa (GEE). É um GEE 21 vezes mais potente do que o CO₂. O metano é mais abundante na atmosfera agora do que em os últimos 400.000 anos, e 150% mais alto do que no ano 1750. A degradação da matéria orgânica mal gerida contribui significativamente (pelo menos em 5%) com as emissões de metano no mundo (CARREAS, 2013).

2.3 BIOFERTILIZANTE

Após a digestão anaeróbica no interior do biodigestor, o material se transforma em biofertilizante, que apresenta alta qualidade para uso agrícola, com teores médios de 1,5 a 2,0%

de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1,0% de potássio (K). Trata-se de um adubo orgânico, isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas e contribui de forma extraordinária no reestabelecimento do teor de húmus do solo, funcionando como melhorador de suas propriedades químicas, físicas e biológicas, que tem importante papel na sua estruturação e fixação de nitrogênio atmosférico (OLIVER, 2008).

Os resíduos da biodigestão apresentam alta qualidade para o uso como fertilizante agrícola, pois há o aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes em consequência da perda de carbono para o biogás, o que melhora as condições do material para fins agrícolas, maior facilidade de imobilização do biofertilizante pelos micro-organismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição, o que aumenta a sua eficiência e solubilização parcial de alguns nutrientes, diminuindo o custo do pequeno produtor com fertilizantes químicos (BONTURI; VAN DIJK, 2012).

Segundo Oliver (2008), o biofertilizante apresenta características peculiares que o torna interessante para uso agrícola:

- pH (potencial de hidrogênio) em torno de 7,5: o biofertilizante funciona como corretivo de acidez, liberando o fósforo e outros nutrientes para solução do solo. Além disso, o aumento do pH dificulta a multiplicação de fungos patogênicos às culturas;
- O biofertilizante tem grande aproveitamento na nutrição das plantas, pois apresentam os nutrientes em formas facilmente absorvíveis;
- Melhora a estrutura do solo, deixando-o mais fácil de ser trabalhado e facilita a penetração das raízes que alcança camadas mais profundas e proporciona maior tolerância das plantas a períodos secos;
- Melhora a agregação das partículas do solo, resistindo mais à ação desagregadora da água, absorvendo-a mais rapidamente, evitando a erosão.
- A estrutura mais porosa do solo adubado com biofertilizante, permite maior penetração do ar, na zona explorada pelas raízes, facilitando sua respiração, obtendo melhores condições de desenvolvimento da planta.
- O biofertilizante também favorece multiplicação das bactérias, dando vida a solos já degradados;
- Aumenta a produtividade das lavouras;
- E o biodigestor for operado corretamente, o biofertilizante está completamente estabilizado na caixa de saída, ou seja, não tem mais o perigo de fermentar, logo não

possui odor desagradável, não é poluente e não promove condições de proliferação de moscas e outros insetos.

- Diminui o poder germinativo de sementes de plantas daninhas com a fermentação do material no biodigestor, não havendo perigo de disseminação nas lavouras;
- Reduz a presença de coliformes fecais dos dejetos e elimina a presença e viabilidade dos ovos dos principais vermes que parasitam o rebanho.

Segundo Pereira Neto (2007), cerca de 60% do lixo domiciliar produzido no país é constituído de matéria orgânica. Toda essa massa heterogênea de resíduo pode ser tratada (estabilizada) e transformada em adubo orgânico (humidificada) para uso agrícola, eliminando, assim, os vários problemas ambientais e sanitários a eles associados, contribuindo decisivamente para a melhoria da qualidade de vida da população.

A Tabela 2 mostra a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos gerados no Brasil, sendo a matéria orgânica com maior porcentagem.

Tabela 2. Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos gerados no Brasil

Material/Amostra	Porcentagem (%)
Matéria Orgânica	64,00
Papelão	5,00
Papel	8,50
Plástico rígido	2,00
Plástico maleável	2,70
Metais	1,50
Vidros	1,50
Outros	14,80
TOTAL	100

Fonte: Pereira Neto (2007), apud Alcantara; Pierangeli (2010)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade do Estado de Mato Grosso, campus de Pontes e Lacerda-MT, situado a 15km da cidade e localizada ao oeste do Estado de Mato Grosso. Com clima tropical o local tem uma pluviosidade e temperatura média anual de 1527 mm e 24,5 C°, respectivamente.

O experimento foi realizado entre os períodos 01/03/2018 à 15/11/2018, no Departamento de Zootecnia setor de bovinocultura de leite, com duas repetições com ciclo de biodigestão de 30 dias cada com três resíduos orgânicos, sendo esterco de bovinos de leite (E), esterco + resto orgânica de cozinha (E + ROC) e esterco + grama (E + G).

Os materiais utilizados para a montagem do biodigestor estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Materiais utilizados e valores (R\$) para construção do biodigestor

Quantidade	Materiais	Valor (R\$)
1	Tambor 200L com tampa rosqueável	150,00
1	Adaptador ½"	20,00
2	Conector ½"	12,00
2	Registro ½"	30,00
4	Espigão macho fêmea ¼" x ½"	30,00
5 metros	Mangueira de pressão ¼"	10,00
5	Abraçadeiras 13mm x 10mm	10,00
1	Vasilhame de vidro com tampa rosqueável	0
1	Bicos de pneu sem núcleo	5,00
1	Medidor/Relógio de gás	350,00
1	Adaptador T ½"	6,00
1	Câmara de ar 900libras	25,00
2	Adaptador com registro 50mm x 1.1/2"	70,00
3	Fita veda rosca	10,00
3	Cola	9,00
1	Manômetro	60,00
10	Tubos de silicone incolor	50,00
	Total	847,00

Foi colocado no tambor, 100 kg de três substratos distintos com mais 30 litros de água, onde a tampa foi vedada com veda calha e cola para não ocorrer vazamento de gás.

As proporções usadas para cada tratamento foram: 100 Kg de esterco + 30 litros de água; 90 Kg de esterco + 10 Kg de grama + 30 litros de água; 90 Kg de esterco + 10 Kg de ROC + 30 litros de água, sendo um total de 130 Kg por tratamento. O tempo de retenção hidráulico (TRH) foi de 30 dias, havendo a troca do substrato posteriormente.

Foi realizado um furo na tampa do tambor para encaixar o adaptador $\frac{1}{2}$ ", posteriormente usará o conector $\frac{1}{2}$ " para a junção do registro. A mangueira será conectada no espigão e levada até o filtro de cano PVC com Bombril, posteriormente, para o vasilhame de vidro, que terá dois bicos de pneu sem núcleo para o encaixe da mesma, sendo uma de entrada e outra de saída (vedado) com objetivo de filtrar impurezas (H_2S ; CO_2).

Uma mangueira foi conectada em um medidor de gás residencial GLP/GN - marca LAO-G 0,6 - 50 kPa e $2,0 \text{ kg h}^{-1}$, para quantificar (m^3) a quantidade de gás produzido. A mangueira seguiu até o adaptador T que na parte horizontal levou até a câmara (gasômetro). Na parte vertical do T, uma mangueira foi conectada em um registro de gás com manômetro e/ou bico de Bunsen.

No fundo do tambor, foi feito um furo para o encaixe do adaptador com registro 50 mm x 1.1/2", para a retirada do biofertilizante.

O estrume foi coletado fresco, com fezes, urina e água, após a lavagem da sala de ordenha, 3 vezes por dia, em um sistema de produção semi-intensivo.

A grama foi coletada no Campus universitário de Pontes e Lacerda, em um estado de pós corte (verde e fresca).

Os ROC foram coletados no restaurante Espetaria, localizado na cidade de Pontes e Lacerda. Dentre os ROC, apresenta grande quantidade de arroz, feijão, mandioca, tomate, alface, cenoura, rúcula, beterraba, batata e outros ingredientes que sobram diariamente no restaurante e é jogado fora.

Registrou diariamente a temperatura ambiente e a quantidade de biogás produzida, marcado pelo medidor, fixamente às 08:30 horas da manhã.

Os dados obtidos do volume de biogás produzido, temperatura ambiente, pressão interna do biodigestor e a quantidade e qualidade bromatológica do biofertilizante, foram submetidos à análise descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás entre os dois ciclos, não obteve resultados expressivos, apenas no primeiro ciclo com o tratamento de esterco obteve uma produção de 35 cm³ (em média 3,8 cm³.dia⁻¹), tendo início de produção no 10º dia, com temperatura média de 25°C e pouca variação durante os 30 dias (Figura 4).

Galbiatti et al. (2010), com um tratamento de esterco bovino sem bagaço de cana, obteve uma produção de 900,4 m³ e outro de esterco bovino com 50% de bagaço seco de cana-de-açúcar produziu 679,2 m³, em um período de 250 dias, tendo produções máximas entre 45 e 120 dias após o enchimento dos biodigestores, sendo o material com maior teor de metano no biogás até 99 dias, após o enchimento do mesmo.

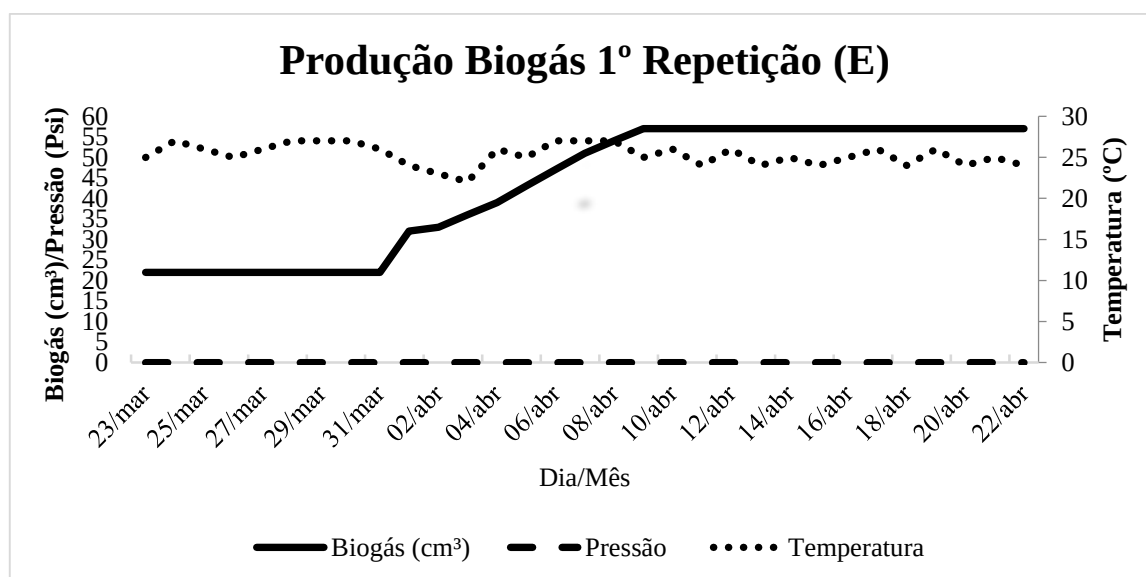


Figura 4. Produção de biogás com esterco bovino (E), conforme variação de temperatura e pressão no mês de março/abril de 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor

No 10º dia após o início da produção, houve uma estabilização na produção por conta de um entupimento no filtro de H₂S.

As hipóteses levantadas para a não contabilização/produção do biogás foram três: a proporção entre substrato e água foi baixa, aumentando o período para iniciar os processos fermentativos (TRH), principalmente a hidrólise, que para Carreas (2013), esta fase é a limitante do processo anaeróbico, representa um malefício para o processo geral, produzindo maiores tempos de retenção. Outra hipótese pode ter havido a corrosão interna do relógio LAO, uma

vez que o fabricante informou que o relógio não é antioxidante, e um dos gases produzidos no processo é o H_2S , altamente corrosivo.

A hipótese de vazamento e mal vedação é a mais relevante para a não contabilização do biogás, uma vez que houve produção de biogás no primeiro tratamento, e havia o filtro para filtragem de impurezas, sendo uma delas o H_2S (Figura 5).



Figura 5. Filtro para impurezas (H_2S)

Fonte: Arquivo pessoal

A pressão interna do biodigestor não teve manifestação, uma vez que o manômetro (figura 6) usado foi de 50 psi mínimo, e internamente, a pressão neste modelo de biodigestor, pode ser inferior a essa quantia.



Figura 6. Manômetro (medidor de pressão)

Fonte: Arquivo pessoal

Com 130 kg de mistura (esterco + água), produzimos 35 cm³ em 9 dias ou 3,8 cm³ dia⁻¹, em um sistema de batelada, sendo que para o BLOG BGS (2013), um bovino leiteiro 100% confinado produz 45 kg dia⁻¹ de dejetos (fezes + urina), 54 cm³ de biogás dia⁻¹, que equivale a 0,22 kg dia⁻¹ de GLP e 0,54 kWh dia⁻¹ de energia, ou seja, 3,8 cm³ equivaleria a 0,015 kg dia⁻¹ de GLP e 0,038 kWh dia⁻¹ de energia.

$$\text{GLP: } 54 \text{ cm}^3 \text{-----} 0,22 \text{ kg dia}^{-1}$$

$$3,8 \text{ cm}^3 \text{----} x = 0,015 \text{ kg dia}^{-1}.$$

$$\text{Energia: } 54 \text{ cm}^3 \text{-----} 0,54 \text{ kWh dia}^{-1}$$

$$3,8 \text{ cm}^3 \text{-----} x = 0,038 \text{ kWh dia}^{-1}.$$

Se comparada A UNEMAT no mês de agosto, gastou 7.134 kWh de energia, sendo um gasto de 230.12 kWh dia⁻¹, totalizando no mês uma despesa de R\$ 4730,49 com energia elétrica (Anexo A).

Com uma produção de 23,012 cm³ de biogás dia, equivalente a 426 animais (bovinos de leite 100% confinados), supriria as necessidades de biogás para gerar energia elétrica, tendo apenas o investimento inicial nos equipamentos para a transformação do biogás em energia elétrica e os equipamentos necessários para o bom funcionamento do sistema.

$$\text{Energia UNEMAT: } 54 \text{ cm}^3 \text{-----} 0,54 \text{ kWh dia}^{-1}$$

$$x = 23,012 \text{ cm}^3 \text{-----} 230,12 \text{ kWh dia}^{-1}$$

Segundo Arruda et al. (2002), 3m³ de biogás é suficiente para abastecer uma cozinha (dependendo do queimador) pôr 4 horas, visto que ele gasta de 0,32 a 0,63 m³ h⁻¹, ou lâmpadas do tipo “camisinha” (1), que consome 0,08 m³ h⁻¹ pôr aproximadamente 37,5 horas. Um veículo de 70 HP rodaria 45 Km com esses mesmos 3 m³

O tratamento com esterco e grama não obteve produção de biogás. Neste tratamento, a relação substrato/água estava alta, tornando o conteúdo muito sólido que, segundo Kretzer et al. (2016) diminui a eficiência da biodigestão quando não se adequa a proporção de água e sólidos totais na mistura dos resíduos, aumentando o tempo para o início de produção de biogás.

Segundo Karlsson et al. (2014), afirma que diversos materiais orgânicos (como forragem ensilada), podem ser decompostas em um biodigestor, contudo, há fatores que precisa-se ser levado em consideração como quantidade de substrato, temperatura, o tempo de retenção hidráulica, que podem influenciar no pré-tratamento ao qual o material foi submetido na geração de biogás.

A justificativa para não produção do biogás, foi consequência de possíveis vazamento antes de passar pelo medidor de gás, que segundo Cassini (2003), o sistema deve ser completamente impermeabilizado, pelo fato das bactérias metanogênicas serem estritamente anaeróbias.

A temperatura média durante o período deste tratamento foi de 24,6°C, sendo uma temperatura adequada para a produção de biogás e não houve manifesto da pressão interna (Figura 7).

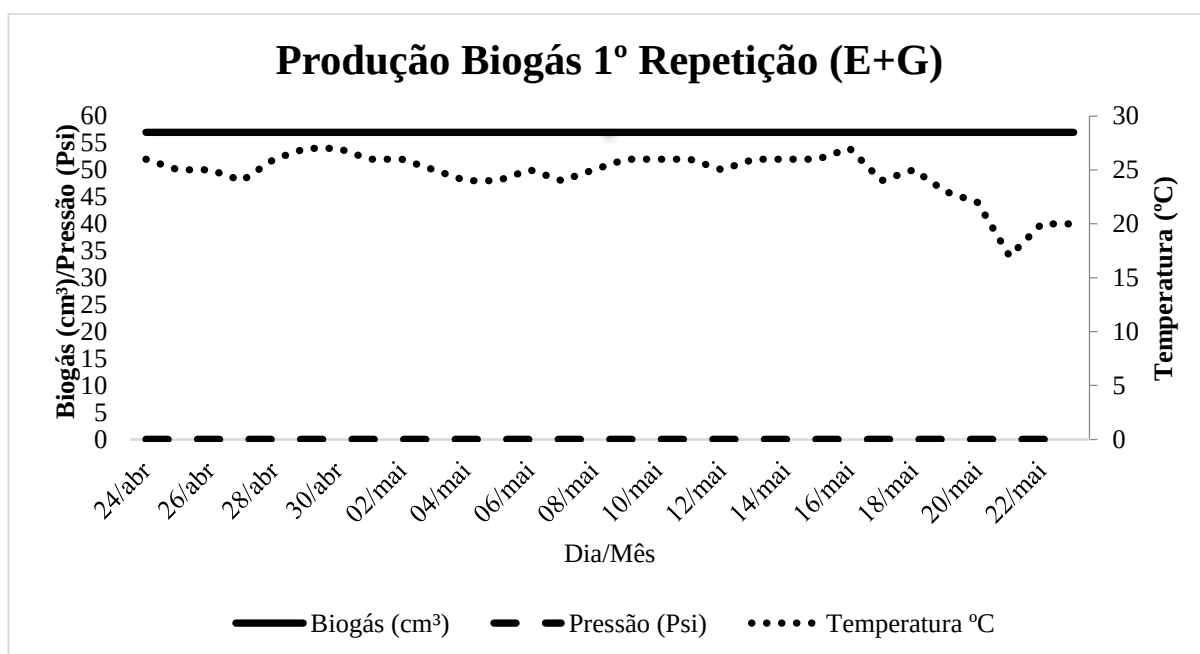


Figura 7- Produção de biogás com esterco bovino e grama, conforme variação de temperatura e pressão no mês de abril/maio de 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com tratamento de esterco + ROC, não obteve produção de biogás. Mesmo tendo uma temperatura média menor (23°C) comparada com as outras, durante o período do tratamento, está adequada para a produção de biogás, sendo possível vazamentos antes de passar pelo medidor de gás.

Segundo Kretzer et al. (2016), em 4 tratamentos distintos (T1= arroz, T2= beterraba + alface, T3= feijão e T4= arroz + beterraba + alface + feijão), com um TRH de 43 dias, variou-se o período inicial de produção de biogás entre 6º dia para o tratamento com arroz e 14º dia para o tratamento com feijão. Indústrias de conservas de frutas e legumes possuem águas residuais da lavagem das matérias primas e de seu processamento. Costuma-se gerar grandes vazões, já que os consumos destas indústrias são elevados (tomates, ervilhas, espinafre,

beterraba, pêssgo, damasco) (CARREAS, 2013). Não houve manifestação da pressão (Figura 8).

A utilização de biofertilizante na forma de fermentados tem forte influência nos quantitativos dos elementos, na diversidade dos nutrientes minerais e em sua disponibilização pela atividade biológica (ALVES et al, 2009).

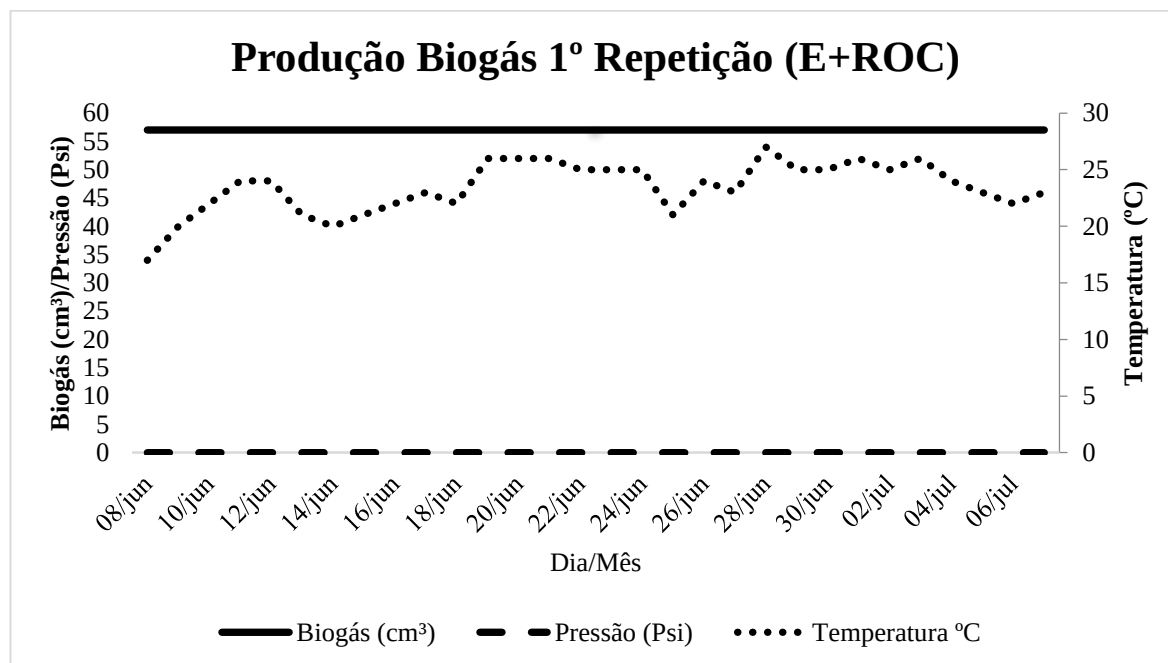


Figura 8. Produção de biogás com esterco bovino e resto orgânica de cozinha, conforme variação de temperatura e pressão no mês de junho/julho de 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor

O biofertilizante, após o ciclo de 30 dias de cada tratamento, da primeira repetição (Tabela 3), mostraram índices bromatológicos relevantes, que segundo Karlsson et al. (2014), a relação C:N ideal em um processo de geração de biogás varia entre 20-30:1 no início do tratamento e entre 10-13:1 ao fim do tratamento.

As análises bromatológicas foram realizadas pela Empresa Mato Grossense de Pesquisa Assistência e Extensão Rural (EMPAER), em Cuiabá.

As quantidades de carbono e relação C/N na primeira repetição em cada tratamento se diferenciaram-se, sendo o tratamento com resto orgânico de comida com menor índice, de 1,07% de C e uma relação C/N de 0,64. O tratamento de esterco obteve 47,64% de C e 39,01 na relação C/N, e o tratamento com grama obteve 23,09% de C e uma relação C/N de 18,36 que, conforme Oliveira (2010), quando a matéria orgânica apresenta alta relação C/N, é demandado longo período de tempo para a bioestabilização do nutriente. No caso de uma relação C/N de 60/1, são necessários até sessenta dias para a bioestabilização, e a imobilização

do nitrogênio presente na matéria orgânica vai se suceder nos primeiros trinta dias. Nos 15 a trinta dias posteriores, não ocorre imobilização e mineralização do elemento em questão. A partir daí, com a relação de C/N abaixo de 17/1, observa-se a mineralização do nitrogênio e, posteriormente, do húmus.

Tabela 3.- Índices bromatológicos do biofertilizante primeira repetição.

ÍNDICES/TRATAMENTOS	E	E + G	E + ROC
MS (%)	14,70	15,5	16,3
N (%)	1,22	1,25	1,67
P (%)	1,89	1,89	1,15
K (%)	2,00	0,17	0,43
Ca (%)	0,03	0,49	0,52
Umidade (%)	87,22	58,44	70,29
M.O (%)	85,76	41,56	1,93
C/N (%)	39,01	18,36	0,64
C (%)	47,64	23,09	1,07

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tratamentos: esterco (E); esterco + grama (E+G); esterco + resto orgânico de cozinha (E + ROC)

Os índices bromatológicos de NPK na primeira repetição dos três tratamentos tiveram proximidades entre nitrogênio e fósforo, sendo superior apenas no tratamento com resto orgânico de comida para nitrogênio e inferior para fósforo. Para potássio, os índices dos três tratamentos foram diferentes, sendo superior no tratamento de esterco.

Segundo Oliver (2008), biofertilizantes com teores médios de 1,5 a 2,0% de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1,0% de potássio (K) apresentam alta qualidade para uso agrícola.

Para cálcio, os tratamentos de grama e resto orgânico de comida se aproximaram, 0,49% e 0,52% respectivamente, e diferenciaram-se do tratamento de esterco, com 0,03%, não obedecendo assim o mínimo necessário estabelecido pelo Decreto nº 4.954, que é de 1¹⁶%.

Durante os dois ciclos, a variação de temperatura ambiente diária não teve alterações expressivas, desconsiderando as mudanças de estações (Figura 9), que, segundo Avaci (2012), muitos autores concordam que acima de 10°C dentro do biodigestor já tem atuação de bactérias metanogênicas.

A temperatura média no período do tratamento de esterco bovino da segunda repetição foi de 21,4°C, tendo máxima de 26°C e mínima de 15°C.

A produção de biogás e a pressão não obtiveram resultados sem alterações nos medidores.

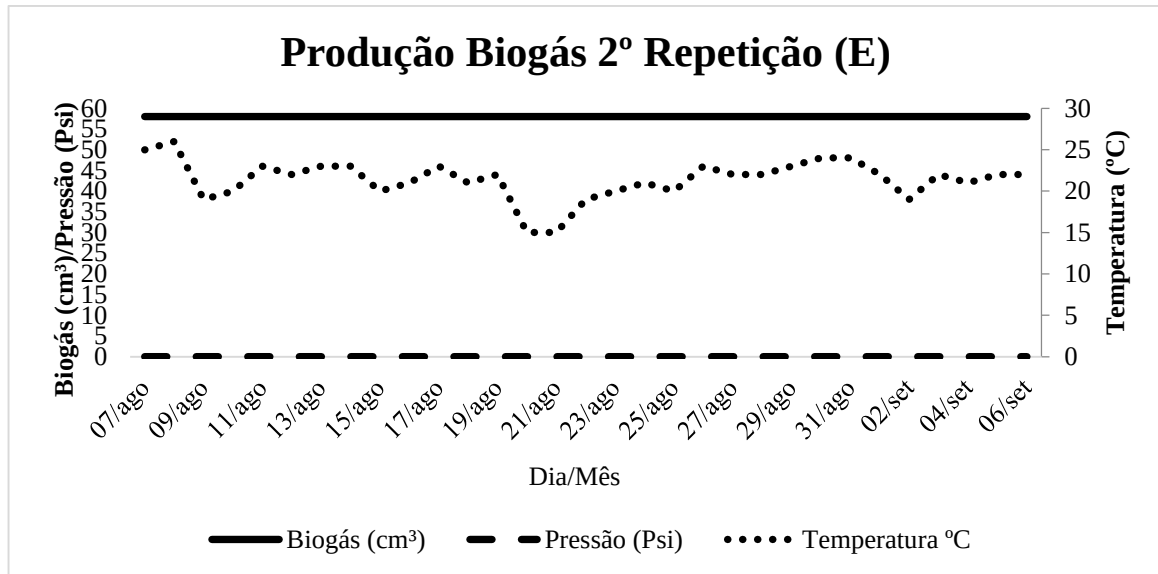


Figura 9- Produção de biogás com esterco bovino, conforme variação de temperatura e pressão no mês de agosto/setembro de 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor

A temperatura média no tratamento de esterco e grama da segunda repetição foi de 24,9°C, tendo uma máxima de 26°C e mínima de 23°C (Figura 10).

Não obteve produção de biogás e variação na pressão nesse tratamento.

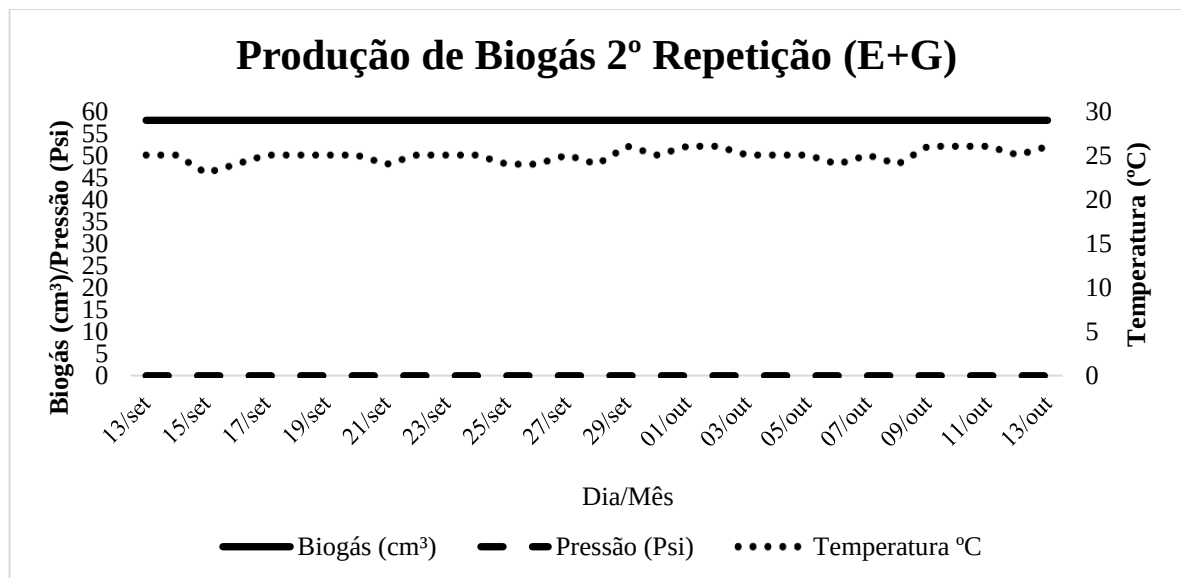


Figura 10- Produção de biogás com esterco bovino e grama, conforme variação de temperatura e pressão no mês de setembro/outubro de 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor

A temperatura média do tratamento de esterco e resto orgânico de comida foi de 25,3°C, tendo máxima de 27°C e mínima de 23°C (Figura 11).

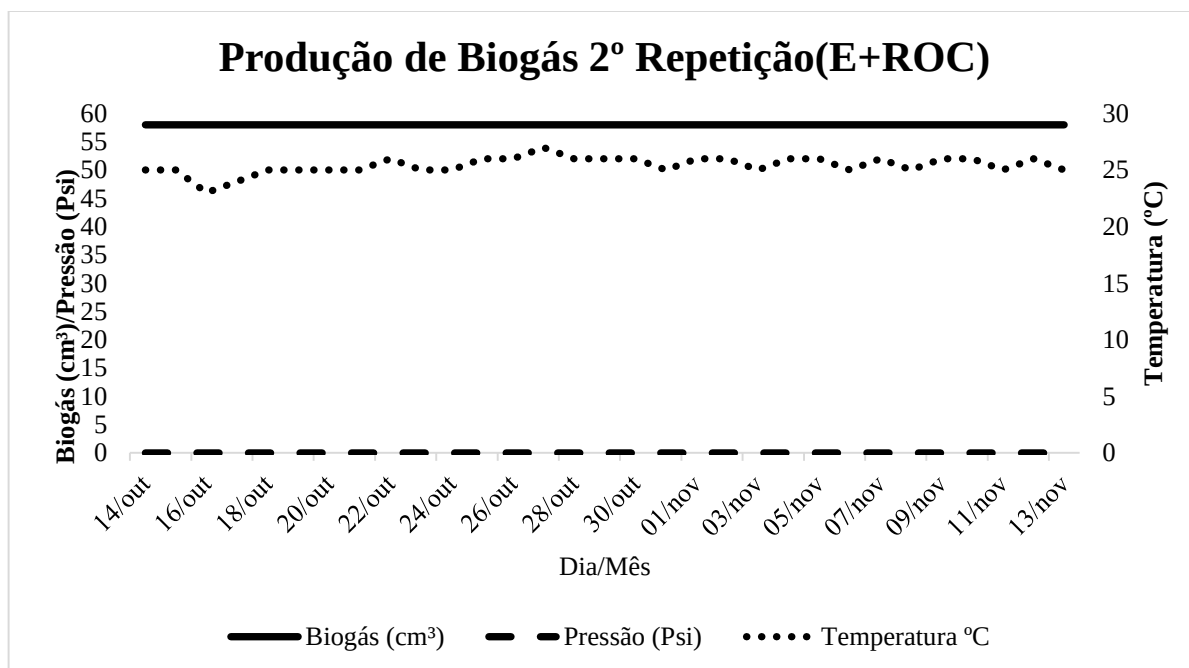


Figura 11- Produção de biogás com esterco bovino e resto orgânico de comida, conforme variação de temperatura e pressão no mês de outubro/novembro de 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Não obteve produção de biogás e variação na pressão neste tratamento.

Os biofertilizantes do segundo ciclo (segunda repetição) (Tabela 4), tiveram índices melhores em elementos como Ca, M.O e C, comparados ao primeiro ciclo.

Tabela 4.- Índices bromatológicos do biofertilizante segunda repetição.

ÍNDICES/TRATAMENTOS	E	E + G	E + ROC
MS (%)	15,30	16,78	15,90
N (%)	1,47	1,20	1,81
P (%)	0,26	1,86	1,22
K (%)	1,66	1,75	0,71
Ca (%)	0,96	4,56	0,88
Umidade (%)	84,28	83,22	84,10
M.O (%)	1,81	2,21	1,66
C/N (%)	0,68	1,02	0,69
C (%)	1,00	1,22	1,24

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tratamentos: esterco (E); esterco + grama (E+G); esterco + resto orgânico de cozinha (E + ROC)

O maior índice determinado de C/N entre os tratamentos, foi o de E + G, com 1,02, seguido do E + ROC, com 0,69 e por último o de E, com 0,68.

As relações de C/N tiveram diferenças discrepantes quando comparadas aos tratamentos da primeira repetição, tendo proximidade apenas no tratamento de E + ROC.

O tratamento com maior índice de nitrogênio foi o de E + ROC com 1,81%, seguido o de E com 1,47% e por último o de E + G com 1,20%, não tendo diferenças tão discrepantes quando comparadas com os índices de N do primeiro ciclo.

Para P, o tratamento com maior índice foi o de E + G com 1,86%, E + ROC posteriormente com 1,22% e E com 0,26%, sendo E o tratamento de índice com maior diferença quando comparado com o primeiro ciclo (Tabela 3).

O tratamento de E + G apresentou maior índice de K com 1,75%, seguido pelo tratamento de E com 1,66% e o tratamento de E + ROC com 0,71%. Quando comparado com a primeira repetição, o tratamento de E + G teve diferenças discrepantes nos índices de K.

O maior índice de Ca foi observado no tratamento de E + G, com 4,56%, seguido o tratamento de E, com 0,96% e por último o tratamento de E + ROC, com 0,88%. Em comparações com a primeira repetição, os tratamentos de E e E + G tiveram diferenças discrepantes nos índices de Ca, sendo muito maiores que na primeira repetição.

Para fins comparativos, foi realizado uma análise em uma amostra de esterco bovino com 90 dias de fermentação (Tabela 5), que determina as diferenças nos índices de M.O e da relação C/N com as outras duas repetições, que tiveram o ciclo de 30 dias, mostrando que quanto maior o tempo de fermentação, menor a M.O, que consequentemente diminui a relação C/N, aumentando a quantidade de elementos, como o N, K e Ca, neste trabalho.

Tabela 5.- Índices bromatológicos do biofertilizante de esterco, dos dois ciclos de 30 dias de fermentação e um com 90 dias de fermentação

ÍNDICES/TRATAMENTOS	E1	E2	E90
MS (%)	14,70	15,30	9,72
N (%)	1,22	1,47	1,57
P (%)	1,89	0,26	1,19
K (%)	2,00	1,66	2,96
Ca (%)	0,03	0,96	1,69
Umidade (%)	87,22	84,28	90,28
M.O (%)	85,76	1,81	0,71
C/N (%)	39,01	0,68	0,25
C (%)	47,64	1,00	0,39

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tratamentos: esterco primeira repetição (E1); esterco segunda repetição (E2); esterco com 90 dias de fermentação (E90)

O tempo de preparo do biofertilizante está relacionado com o fim do processo fermentativo. Para regiões onde a temperatura ambiente é mais elevada, como a região Semiárida, esse período dura em torno de 15 a 30 dias, e para temperaturas mais baixas o tempo aumenta para 45 dias (RODRIGUES, 2014).

5 CONCLUSÃO

O biodigestor tipo batelada no tambor de 200 L é limitado para produção em larga escala de biogás, e um dos fatores principais para o seu máximo potencial, é a vedação/impermeabilização.

Por ser um biodigestor de baixo custo (tambor + mangueiras + abraçadeiras + cola), é viável economicamente interligar as mangueiras, para aumentar a produção de biogás e suprir as necessidades diárias, utilizando direto no fogão para cocção.

A relação entre água e o substrato é primordial para acelerar o processo de produção de biogás, fazendo com que a mistura fique mais líquida e a hidrólise aconteça de forma mais eficiente e rápida.

O biofertilizante para uso agrícola em pequena escala é eficiente e rico em minerais, economizando gastos com fertilizantes químicos e diminuindo o impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, A. J. O.; PIERANGELI, M. A. P. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT**. 2010. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2010.

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision** Rome: FAO: ESA Working paper. 2012. 154 p. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/Global_perspectives/world_ag_2030_50_2012_rev.pdf>. Acesso em: 19 Ago.2018.

ALVES, G. S.; SANTOS, D; SILVA, J. A.; NASCIMENTO, J. A. M; CAVALCANTE, L.F.; DANTAS, 264 T.A.G. **Estado nutricional do pimentão cultivado em solo tratado com diferentes tipos 265 de Biofertilizantes**. Maringá. 2009. 5 p. Disponível: <www.scielo.br/pdf/asagr/v31n4/a17v31n4.pdf>. Acesso em: 19 Ago.2018.

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. S., ELIAS, M. J. **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental**. Florianópolis. 2002. Disponível em: <www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/030.pdf> Acesso em: 20 ago. 2018.

ARRUDA, H. M.; AMARAL, P. L.; PIRES, J. P. O.; BARUFI, V. R. C. Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n.2, p. 1-8, 2002.

AVACI, A. B. Cenário Econômico e Energético da Micro geração de Energia Elétrica Proveniente do Biogás da Suinocultura. Dissertação de Mestrado em Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.456–462, 2013.

BAUMANN, W.; KARPE, H. J. **Wastewater Treatment and Excreta Disposal in Developing Countries**. Dortmund: INFU. 1980. 188p.

BONTURI, G.D.L.; VAN DIJK, M. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 8. n.2, p. 88-95, 2012.

BLEY, C. Biogás: a energia invisível. **Revista Ampliada**, n.2, p.1-231, 2015.

BLOG BGS. **Cálculo de produção de biogás**. 2013. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/blog/calculo-de-producao-de-biogas-2/>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. 2005. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006_Cap01.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CARREAS, N. **O Biogás**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. América Latina. ONUDI. 2013. 157p.

CASSINI, T. S. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 97-102. 1998.

CENAMO, M. C. **O mercado de carbono e as oportunidades para o agronegócio brasileiro**. Piracicaba, 2005. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/economiaambiental>> Acesso em: 19 ago. 2018.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás: Independência energética do pantanal mato-grossense**. Corumbá-MS: Embrapa Pantanal-UEPAE, 1981. 53p (Circular Técnica no. 09).

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS C. D. **Biodigestores rurais: Modelo indiano, chinês e batelada**. Bauru, 2002. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositório/Biodigestores_000g76qbzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf> Acesso em: 21 ago. 2018

FERREIRA, J. C. B.; SILVA, J. N. **Biodigestor: aplicações e potencialidades**. Bambuí, 2009. Disponível em : <www.bambui.ifmg.edu.br/jornada_cientifica/sct/trabalhos/Recursos%20Naturais/178-PT-1.pdf> Acesso em : 20 ago. 2018.

GALBIATTI, A. J.; CARMELHO, D. A.; SILVA, G. F.; GERARDI, B. A. E.; CHICONATO, A. D. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.4, p.432–437, 2010

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

HINRICHS R.; KLEINBACH M, REIS L. **Energia e Meio Ambiente**. 4 ed. São Paulo: LF Flávio Maron Vichi, Trad.) Cengage Learning, 2010. 20 p.

JORGE, L. H. A.; OMENA, E. **Biodigestor**. Dossiê Técnico. Manaus. 2012. Disponível em: <www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjEwNw==>. Acesso em: 20 agos. 2018.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N.; MARDER, M.; CASARIL, C.; KOCH, F.; PEDROSO, A. 2014. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Univates. 2014. 69p.

KOLESAROVA N.; HUTŇAN M.; ŠPALKOVÁ V.; LAZOR M. Biodiesel by-products as potential substrates for biogas production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SLOVAK SOCIETY OF CHEMICAL ENGINEERING, 37, Tatranské Matliare, Slovakia, 2010. **Proceedings...** Slovakia, 2010. p. 1126-1139.

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

KRETZER, G. S.; NAGAOKA, K. A.; MOREIRA, E. T.; MORAES, G. R. L. I.; BAUER, C. F. Produção de biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante universitário. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.4, p.551-565, 2016.

MAFACIOLLI, D. **Produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta**. 2012. 73 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Centro Universitário UNIVATES, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, Lajeado, 2012.

MIRANDA, A. P.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Influência da temperatura na biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10, 2006, Universidade do Vale do Paraíba. **Anais...** Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2006. p. 2928-2931.

OLIVEIRA, J. V. **Aspectos técnicos-econômicos da cadeia de fertilizantes organominerais no Brasil**. 2015. 180 p Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Centro de Tecnologia e Processos Químicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

OLIVER, A. D. P. M.; NETO, A. D. A. S.; QUADROS, D. G. D.; VALLADARES, R. E. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Manual: Instituto de Estudos Del Hambre Salvador, Bahia, 2008. 23 p.

PECORA, V.; FIGUEIREDO, N.J.V.; COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G. **Potencial de geração de energia elétrica e iluminação a gás por meio do aproveitamento de biogás proveniente de aterro sanitário**. 2008. Disponível em: < <http://143.107.4.241/download/publicacoes/aterroagrener06jun2008.pdf> >. Acesso em: 21 ago. 2018.

PEDERIVA, A. C.; SPILLARI, T. R.; DAL MOLIN, A.; POLACINSKI, É. Gestão Ambiental: Análise de viabilidade e dimensionamento de um biodigestor para geração de energia elétrica e biofertilizante. In: SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR-SIEF, 2, 2012, **Anais...** Horizontina-RS. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/271795583/2012-3> >. Acesso em: 21 ago. 2018.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa-MG: UFV. 2007. 81 p.

PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. 2008. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

PONTES, P. P. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. 2003. 198 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

RODRIGUES, J. S. **Frequência e doses de biofertilizante na fertirrigação da cultura do milho (*Zea mays* L.) no Vale do São Francisco**. 2014. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA. 2014.

ROHSTOFFE, F. N. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. Guia Prático. Alemanha: Projeto Brasil Alemanha de Fomento do Biogás, 2010. 236 p.

SAMULAK, R.; BITTENCOURT, J. V. M.; PILATTI, L. A.; KOVALESKI, J. L. Biodigestor como opção para tratamento de resíduos agroindustriais. In: ENCONTRO PARANAENSE DE

EMPREENDEDORISMO E GESTÃO EMPRESARIAL, 1, 2010. Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. p.10 2010.

SILVA, T.N.; DE FREITAS, F.S.N.; CANDIANI, G. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 95-104, 2013.

SOUZA, M.E.D., Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, São Paulo, v. 44, n.137, p. 88-94, 1984.

XAVIER, C. D. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. D. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 30, n. 2, p. 212-223, 2010.

ANEXO A - Conta de energia elétrica referente ao mês de agosto/2018 da UNEMAT

Domicílio de Entrega:
UNEMAT - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MT
 AVE PRES TANCREDO NEVES, 1095 - CEP: 78200-000
 CACERES MT (AG: 69)

Endereço da Unidade Consumidora:
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO C
 RODOVIA BR 174, S/N - ROD BR 174 KM 298 - UNEMAT
 RURAL
 PONTES E LACERDA (AG: 69)



ENERGISA
 LIGADA NA SUA ENERGIA

ENERGISA MATO GROSSO - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.
 Rua Vereador João Barbosa Calamuni, 11
 Cuiabá/MT - CEP 78010-9
 CNPJ 03.487.321/0001-99 - Insc. Est. 13.020.425
 Nota Fiscal/Conta de Energia Elétrica
 Série B - NF: 001.941.12

Classe/Subcl. PPU MTC B3-85201/PODER PÚBLICO-POD. PÚBL. ESTADUAL
Roteiro: 002 - 0069 - 900 - 0070
Nº do Medidor: 00001651642
MATRÍCULA: 0000001114-2018-08-1
DOM. ENT: 9992407037

LIGAÇÃO: TRIFÁSICO
DOM. BANC.:
CNPJ: 01.367.770/0001-30
Insc. Est.: ISENTA

Atendimento ao Cliente ENERGISA
 Ao ligar, tenha sempre em mãos a conta.

0800 646 4196 ligação gratuita

Acesse: www.energisa.com.br

Emissão: 07/08/2018

Identificador para Débito Automático: 0000001114-8

DEMONSTRATIVO

CCI	Descrição	Quantidade	Tarifa s/ Tributos	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R\$)	Base Calc. ICMS (R\$)	Aliq. ICMS	ICMS (R\$)	Base Calc. PIS/COFINS (R\$)	PIS (R\$) (1,6845%)	COFINS (R\$) (4,9959%)
0601	Consumo em kWh	7.134,000	0,566250	0,505030	4.316,32	0,00	0	0,00	4.316,32	46,81	215,62
0501	Adic. B. Vermelha				379,79	0,00	0	0,00	379,79	4,11	18,97
	LANÇAMENTOS E SERVIÇOS										
0807	Contrib de Ilum Pub				34,38	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total:					4.730,49	0,00	0,00	0,00	4.696,11	50,92	234,59

COMPOSIÇÃO DO CONSUMO

DISCRIMINAÇÃO	VALOR (R\$)	%
SERVIÇO DISTRIBUIÇÃO ENERGISA/MT	1.592,42	26,44
CONSUMO DE ENERGIA	2.483,95	52,50
SERVIÇO DE TRANSMISSÃO	119,53	2,53
ENCARGOS SETORIAIS	415,94	8,77
IMPOSTOS DIRETOS E ENCARGOS	319,99	6,76
OUTROS SERVIÇOS	8,06	0,00
TOTAL	4.730,49	100,00

VENCIMENTO

28/09/2018

TOTAL A PAGAR

R\$ 4.730,49

Reservado ao Fisco

Fonte: Elaborada pelo Autor