



UNIVERSIDADE JOSÉ DO ROSÁRIO VELLANO

ISMAR BATISTA TELES

**BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE DEJETOS DE SUÍNOS E AVES ASSOCIADOS
AO USO DE INOCULANTES**

Alfenas - MG

2019

ISMAR BATISTA TELES

**BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE DEJETOS DE SUÍNOS E AVES ASSOCIADOS
AO USO DE INOCULANTES**

Dissertação apresentada à Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, como parte das exigências do Mestrado Profissional em Sistema de Produção na Agropecuária, para a obtenção do título de Mestre Profissional.

Orientadora: Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Coorientadora: Dra. Luciana de Paula Naves

Coorientador: Dr. Pedro Ivo Sodré Amaral

Alfenas - MG

2019

Dados internacionais de catalogação-na-publicação

Biblioteca Central da UNIFENAS

Teles, Ismar Batista

Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos e aves associados ao uso de inoculantes.. — Ismar Batista Teles. —Alfenas, 2019.
58 f.

Orientadora: Profª Dra Ligiane Aparecida Florentino
Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-graduação
em Sistemas de Produção na Agropecuária -Universidade José do
Rosário Vellano, Alfenas, 2019.

1. Biomassa 2. Biodigestor 3. Biogás 4. Inóculo I. Universidade
José do Rosário Vellano II. Título

CDU : 628.35(043)

Zélia Fernandes Ferreira Miranda

Bibliotecária CRB6 1486

Certificado de Aprovação

TÍTULO: "BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE DEJETOS DE SUÍNOS E AVES ASSOCIADO AO USO DE INOCULANTES"

AUTOR: Ismar Batista Teles

ORIENTADOR: Profa. Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestre Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária** pela Comissão Examinadora.



Profa. Dra. Ligiane Aparecida Florentino
Orientadora

Profa. Dra. Luciana de Paula Naves



Prof. Dr. Pedro Ivo Sodré Amaral

Alfenas, 12 de abril de 2019.



Profa. Dra. Laura Helena Orfão
Diretora de Pesquisa e Pós-graduação
UNIFENAS

A Deus, pela realização de mais um objetivo. A toda minha família, em especial à minha mãe Da. Lindalvinha, que partiu durante o meu mestrado, que sempre me incentivou, me apoiou e com certeza continua me iluminar “lá de cima”.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença em minha vida, me dando saúde e guiando meus passos pra seguir meu caminho.

A minha mãe (em memória), aos meus filhos Tiago e Breno, a minha esposa Rita, aos meus irmãos e toda a minha família pelo amor, incentivo neste trabalho e em todos os acontecimentos da minha vida.

A Universidade José Rosário Vellano – UNIFENAS, ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção na Agropecuária.

Ao IFSULDEMINAS – Campus Machado, pelo apoio financeiro concedido através do Programa de Incentivo à Qualificação – PIQ e pelas horas para dedicação aos estudos.

A professora Dra. Ligiane Aparecida Florentino, pela orientação e conselhos que contribuíram para a realização deste projeto.

A professora Dra. Luciana de Paula Naves e ao professor Dr. Pedro Ivo Sodré Amaral, pela disponibilidade, confiança depositada e apoio durante este trabalho.

A todos os professores do Mestrado Profissional em Sistema de Produção na Agropecuária, pelos muitos ensinamentos transmitidos.

Aos meus colegas de pós-graduação, pelas experiências compartilhadas, troca de conhecimento e amizade que construímos ao longo desses dois anos.

A Carla Pantano, pela amizade e ajuda que foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao Sr. Raimundo, ao Tailson, a Lara e a Júlia pela valiosa ajuda no experimento.

Aos meus colegas de trabalho do IFSULDEMINAS, em especial ao professor José Antônio e ao Sérgio Santana.

A todos, MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Vários estudos têm sido realizados visando o aumento e o rendimento do biogás, sendo a associação de substratos um método muito pesquisado. Contudo, é importante agregar processos que visem à otimização da biodigestão. Assim sendo, a adição de microrganismos visa acelerar o início da fermentação, reduzindo o período de colonização bacteriana. Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa analisar a dinâmica e a eficiência da biodigestão anaeróbica, utilizando dois substratos, dejetos de suínos e co-substrato de excretas de galinhas em fase de postura, associados a diferentes inoculantes, sob a ótica da redução de sólidos, coliformes e produção de biogás. O experimento foi conduzido no período de novembro a dezembro de 2018, no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Machado, na cidade de Machado – MG. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial (2 substratos x 3 inoculantes), efetuando-se quatro repetições por tratamento, totalizando assim 24 biodigestores de bancada. A biodigestão foi realizada durante 40 dias à temperatura ambiente média, 23 °C. A eficiência do processo de biodigestão foi avaliada pelas reduções de sólidos totais, sólidos voláteis, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, número mais provável de coliformes totais e fecais, além das produções e dos potenciais de produção de biogás e metano. A utilização de co-substrato de ave poedeira com o dejetos de suíno promoveu uma maior produção inicial de biogás quando submetidos à biodigestão anaeróbica, mas apresentou reduções menos eficientes dos teores de sólidos e no potencial de produção de biogás por kg de sólidos totais. Os teores de metano gerados a partir de dejetos de suíno+ave e de suíno foram de 69% e 72%, respectivamente. Não foram observadas alterações na produção de biogás em função da adição de microrganismos.

Palavras-chave: Biomassa, Biodigestor, Biogás, Inóculo

ABSTRACT

Several studies have been carried out aiming at the increase and production of biogas, being the association of substrates a very researched method. However, it is important to aggregate processes to optimize biodigestion. Thus, the addition of microorganisms aims to accelerate the onset of fermentation, reducing the period of bacterial colonization. Faced with this, it was objectified with this research was to analyze the dynamics and efficiency of anaerobic biodigestion, using two substrates, swine manure and co-substrate of excreta from laying hens associated to different inoculants, under the perspective of reduction of solids, coliforms and production of biogas. The experiment was conducted from November to December 2018, at the Federal Institute of Science and Technology Education of the South of Minas Gerais - Campus Machado, in the city of Machado – MG. The experimental design was a randomized block design, in a factorial scheme (2 substrates x 3 inoculants), with four replicates per treatment, thus totaling 24 bench biodigesters. Biodigestion was performed for 40 days at the average ambient temperature, 23°C. The efficiency of the biodigestion process was evaluated by reductions of total solids, volatile solids, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, most probable number of total and fecal coliforms, as well as production and biogas and methane production potentials. The use of co-substrate of laying hens with swine manure promoted a higher initial biogas production when submitted to anaerobic biodigestion, but presented less efficient reductions in solids contents and in biogas production potential per kg of total solids. The levels of methane generated from swine + poultry and swine were 69% and 72%, respectively. No change was observed in the production of biogas due to the addition of microorganisms.

Key words: Biomass, Biodigester, Biogas, Inoculum

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz elétrica brasileira de 2015/2014.....	16
Figura 2. Participação das renováveis 2015/2014	16
Figura 3. Fases do processo bioquímico da biodigestão anaeróbica	19
Figura 4. Biodigestor tipo indiano.....	21
Figura 5. Biodigestor tipo chinês.....	22
Figura 6. Biodigestor tipo fluxo tubular	22
Figura 7. Biodigestor tipo batelada.....	23
Figura 8. Fases de produção de suínos	27
Figura 9. Sistema convencional de alojamento de galinhas poedeiras.....	29
Figura 10. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada...41	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição físico-química média dos dejetos suínos.	28
Tabela 2. Valores de conversão energética para diferentes tipos de efluentes.....	31
Tabela 3. Caracterização dos afluentes utilizados no experimento ERRO! NÃO DEFINIDO.	INDICADOR
Tabela 4. Redução (%) de ST, SV, DQO E DBO em substratos de dejetos de suínos e de suíno+ave.....	42
Tabela 5. Produções parciais de biogás, para os períodos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 dias, em substratos de dejetos de suínos e de suíno+ave.....	44
Tabela 6. Potenciais médios de produção de biogás e metano, em substratos preparados a partir dos dejetos de suínos e de suíno+ave.....	45
Tabela 7. Números mais prováveis (NMP mL ⁻¹) de coliformes totais e fecais, em substratos preparados a partir dos dejetos de suínos e de suíno+ave associados a diferentes inoculantes	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
C	Carbono
CH ₃ COOH	Ácido Acético ou Ácido Etanóico
CH ₃ CH ₂ COOH	Ácido Propiônico ou Ácido Propanóico
CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	Ácido Butanóico, Ácido Butírico
CH ₄	Metano
C/N	Carbono/Nitrogênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
°C	Temperatura em Graus Celsius
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Gás Sulfídrico ou Sulfeto de Hidrogênio
IF	Instituto Federal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Kg	Quilograma
L	Litro
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
M ³	Metro Cúbico
Mg	Miligrama
mL	Mililitro
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NH ₃	Amônia ou Amoníaco
NMP	Número Mais Provável
PEAD	Polietileno de alta densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppmV	Partes por Milhão em Volume
PVC	Policloreto de Vinila
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis

CAPÍTULO I	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Contexto energético	15
2.2 O biogás	17
2.2.1 Processo microbiológico	17
2.2.2 Formação do biogás.....	19
2.3 Biodigestor.....	20
2.3.1 Tipos de biodigestores	20
2.3.1.1 Biodigestores do tipo contínuo.....	20
2.3.1.2 Biodigestores do tipo descontínuo ou batelada	22
2.4 Fatores que influenciam a biodigestão.....	23
2.4.1 Temperatura	23
2.4.2 Carga orgânica.....	24
2.4.3 Tempo de retenção hidráulica	24
2.4.4 Homogeneidade do substrato	25
2.4.5 pH e alcalinidade	25
2.5 Substratos	25
2.5.1 Dejetos da suinocultura.....	26
2.5.2 Dejetos da avicultura de postura.....	28
2.6 Cálculo de conversão energética de substratos	30
2.7 Inoculação de microrganismos	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPÍTULO II	36
Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos e aves associado ao uso de inoculantes.....	37
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
CONCLUSÃO.....	48

LITERATURA CITADA.....	49
ANEXO A.....	52
ANEXO B.....	57

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias eficientes para a exploração de fontes de energia renováveis é determinante para redução dos impactos ambientais e na quantidade de resíduos secundários, garantindo sustentabilidade do fornecimento de energia atual e futuras demandas econômicas e sociais. Uma das conversões que resultam em fontes de energias renováveis é a biomassa (REIS & REIS, 2017), resultante das atividades produtivas nas zonas rurais, formada por resíduos vegetais e animais. Os resíduos da pecuária são constituídos por estercos e outros produtos da atividade biológica da bovinocultura, suinocultura, avicultura e outros.

Por ser formada por matéria orgânica rica em nutrientes, a biomassa residual animal é comumente utilizada pelos proprietários rurais como adubo orgânico. Entretanto, a disposição desse material em solos agrícolas resulta em sérios danos ambientais (QUADROS et al., 2010), como a contaminação do solo por incremento do teor e lixiviação de nutrientes, eutrofização de rios e lagos e emissão de gases do efeito estufa, produzidos durante a decomposição da biomassa (FRIGO et al., 2015).

Diante desse cenário, a biodigestão anaeróbica de resíduos tornou-se um dos mais atrativos caminhos de energia renovável (SCARLAT et al., 2018), que combina a produção de biocombustíveis com o gerenciamento sustentável de resíduos (ACHINAS et al., 2017). Dessa forma, o produtor aproveita a energia gerada pelo biogás (energia térmica e ou elétrica), tornando-se menos dependente de fatores externos, promovendo o saneamento ambiental e agregando valor através dos subprodutos (biogás e o biofertilizante).

A avaliação dos diversos constituintes dos dejetos na produção de biogás se faz necessária, pois cada resíduo apresenta taxa de degradação diferente, acelerando a produção de biogás, quando de rápida degradação ou retardando, quando de difícil degradação (ORRICO JÚNIOR et al., 2010). Além disso, a co-digestão anaeróbica com vários substratos aumenta o rendimento de biogás e a produção de energia, melhora o valor do biofertilizante e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (SCARLAT et al., 2018).

Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar a produção de biogás, sendo a adição de inóculo um dos métodos utilizados (XAVIER et al., 2010). Com a inoculação, há a possibilidade de eliminar o período de adaptação da comunidade microbiana pela adição de microrganismos selecionados (KOVÁCS et al., 2015), otimizando as produções de biogás e reduzindo o período de arranque do biodigestor.

Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa analisar a dinâmica e a eficiência da biodigestão anaeróbica, utilizando dois substratos: dejetos de suínos e co-substrato de excretas

de galinhas em fase de postura, associados a diferentes inoculantes, sob a ótica da redução de sólidos, coliformes e produção de biogás.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto energético

A sociedade contemporânea estabeleceu o seu desenvolvimento econômico baseado na utilização intensiva de fontes energéticas de origem fóssil e hoje se defronta com a necessidade de alterar substancialmente a matriz energética intensificando o investimento e o uso em energia a partir de fontes alternativas, preferencialmente, renováveis e sustentáveis, do ponto vista social, econômico e ambiental (ACHINAS et al., 2017).

Os aumentos dos preços do petróleo, a possível instabilidade de suprimento, dado que as maiores reservas estão em áreas de conflito, o risco das alterações climáticas derivadas da liberação excessiva de gases de efeito estufa (GEEs) pelo elevado consumo de combustíveis fósseis, recomendam a busca de alternativas energéticas menos poluentes e com perspectivas de renovação continuada (AVACI et al., 2013).

Nas próximas décadas, os resíduos agrícolas serão a fonte de energia mais significativa como alternativa aos combustíveis fósseis (ACHINAS & EUVERINK, 2016).

Nesse contexto, o esforço mundial e brasileiro, na busca de suprir as demandas energéticas, com base em processos mais sustentáveis, revela um importante espaço para o desenvolvimento da energia da biomassa. Por outro lado, o Brasil tem sua matriz energética concentrada na hidroeletricidade. Atualmente, as usinas hidrelétricas fornecem cerca de 64% da eletricidade consumida no país (EPE, 2016), conforme Figura 1. Na sequência, Figura 2, a participação das energias renováveis.

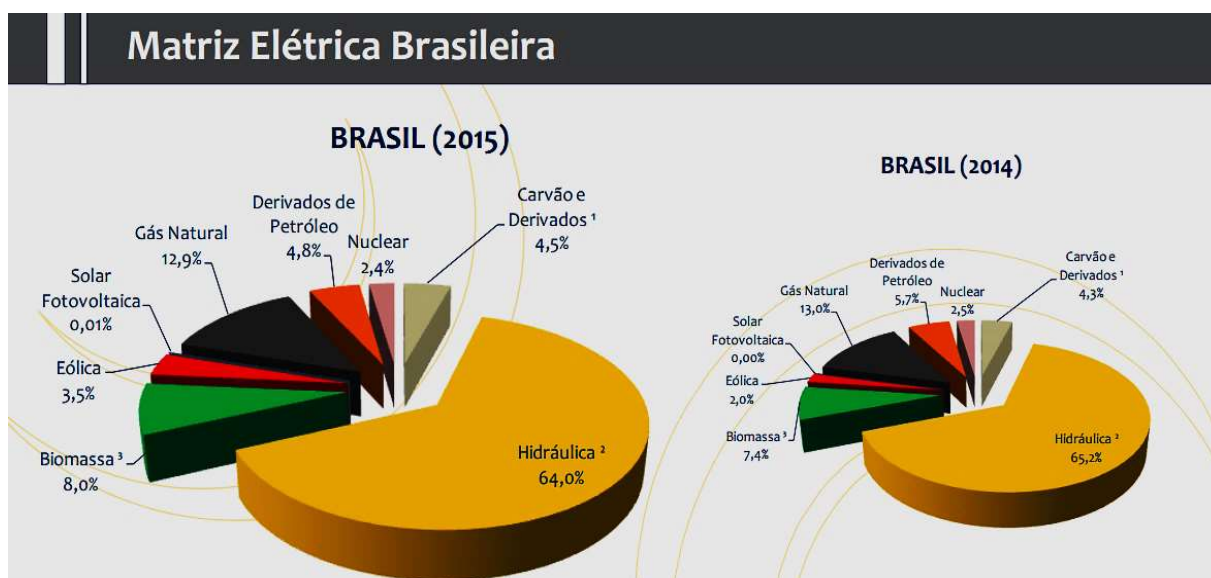


Figura 1. Matriz elétrica brasileira de 2015/2014. Fonte: EPE (2016)

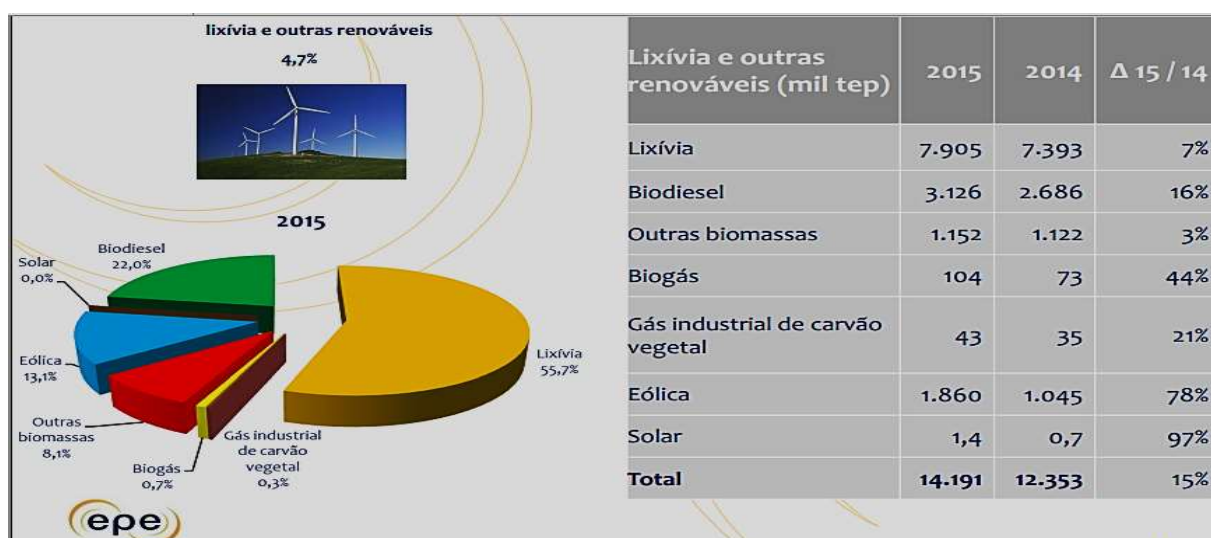


Figura 2. Participação das renováveis 2015/2014. Fonte: EPE (2016)

A recente crise hídrica expôs a vulnerabilidade de se focar nessa matriz, uma vez que grande parte da energia hidrelétrica é gerada a partir de reservatórios de acumulação de água, o que mostra sua dependência direta do regime e intensidade da precipitação pluviométrica na respectiva bacia de contribuição, além das questões ambientais como a interferência sobre o fluxo dos rios, e sociais como a relocação da população atingida (PEREIRA et al., 2012).

Levando-se em consideração o quadro de mudanças climáticas e a alteração do regime de chuvas, é preciso rever a matriz energética, de forma a reduzir a elevada participação da

hidroeletricidade, avaliando-se regionalmente as opções mais economicamente atrativas, socialmente desejáveis e ambientalmente sustentáveis (REIS & REIS, 2017).

Faz-se necessária a busca de outros modelos para matriz elétrica brasileira, que possuam condições edafoclimáticas, potencial de produção e que sejam autossustentáveis, como a energia proveniente da biomassa.

O Brasil, por suas características de país tropical, com elevada incidência de radiação solar, extenso território e uma agroindústria em expansão, apresenta condições para ocupar um importante papel no segmento da energia da biomassa (FRIGO et al., 2015).

A biomassa para produção de energia é composta por quatro grandes grupos: etanol e cogeração de energia provenientes da cana-de-açúcar; biodiesel de fontes lipídicas (animais e vegetais); biomassa florestal e de resíduos: dejetos agropecuários e da agroindústria (MAPA, 2006).

Por sua vez, os resíduos da pecuária são constituídos por esterco e outros produtos resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético.

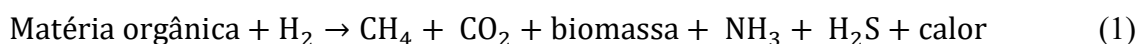
2.2 O biogás

O biogás é um combustível gasoso com conteúdo energético elevado, semelhante ao gás natural, composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear (MAPA, 2006). É resultante da fermentação anaeróbica de resíduos vegetais e dejetos de animais, isto é, da degradação da matéria orgânica (SOUZA et al., 2008), composto basicamente de metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio (AVACI et al., 2013).

O biogás é uma fonte multilateral de energia renovável que pode substituir os combustíveis convencionais, para produzir calor e energia (ACHINAS et al., 2017).

2.2.1 Processo microbiológico

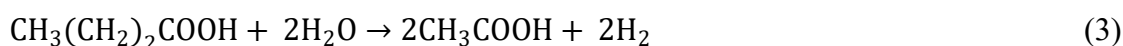
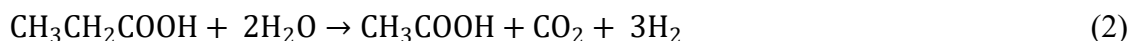
O processo de biodigestão anaeróbica envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano (CH_4), produtos inorgânicos (CO_2) e biofertilizantes (matéria orgânica estabilizada). A representação da biodigestão anaeróbica pode ser feita pela Eq.1 (KELLEHER et al., 2002).



A relação sintrófica, muitas vezes obrigatória, se estabelece e permite a bioconversão anaeróbica de polímeros por bactérias hidrolíticas fermentativas e/ou eucariontes, como fungos celulolíticos, cujos produtos da hidrólise e fermentação compõem os substratos para outros organismos fermentadores (acetogênicos) eficientes na geração do hidrogênio e do acetato que, por sua vez, podem ser utilizados na produção do metano. Essas reações sequenciais formam uma cadeia alimentar extremamente bem coordenada que, invariavelmente, conduz a produtos gasosos como o metano, o dióxido de carbono e o sulfeto de hidrogênio (MELO, 2008).

Na etapa da acidogênese, as substâncias resultantes da hidrólise são transformadas por bactérias fermentativas em diversos compostos mais simples, tais como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e gás sulfídrico.

Na acetogênese, há a produção de acetato e hidrogênio através do metabolismo das substâncias produzidas pelas bactérias hidrolíticas fermentativas, Eqs. 2 e 3. Nessa etapa, alguns produtos da fase anterior como o etanol, propionato, butirato, valerato e lactato, em baixa pressão do gás hidrogênio, são oxidados a acetato, havendo a formação de dióxido de carbono e hidrogênio (METCALF & EDDY, 2003).



As arqueas metanogênicas atuam sobre o dióxido de carbono, hidrogênio e acetato, transformando-os em metano (FERGUSON et al., 2016).

De acordo com o substrato que utilizam como fonte de energia, essas arqueas são divididas em dois subgrupos, as hidrogenotróficas e as acetoclásticas. As hidrogenotróficas utilizam o hidrogênio (doador de elétrons) e o carbono proveniente do gás carbônico (aceptor de elétrons) para formarem o gás metano, Eq. 4. Já as acetoclásticas utilizam o acetato para a produção de metano, Eq. 5 (METCALF & EDDY, 2003).



A Figura 3 apresenta o esquema simplificado das reações químicas durante a fermentação.

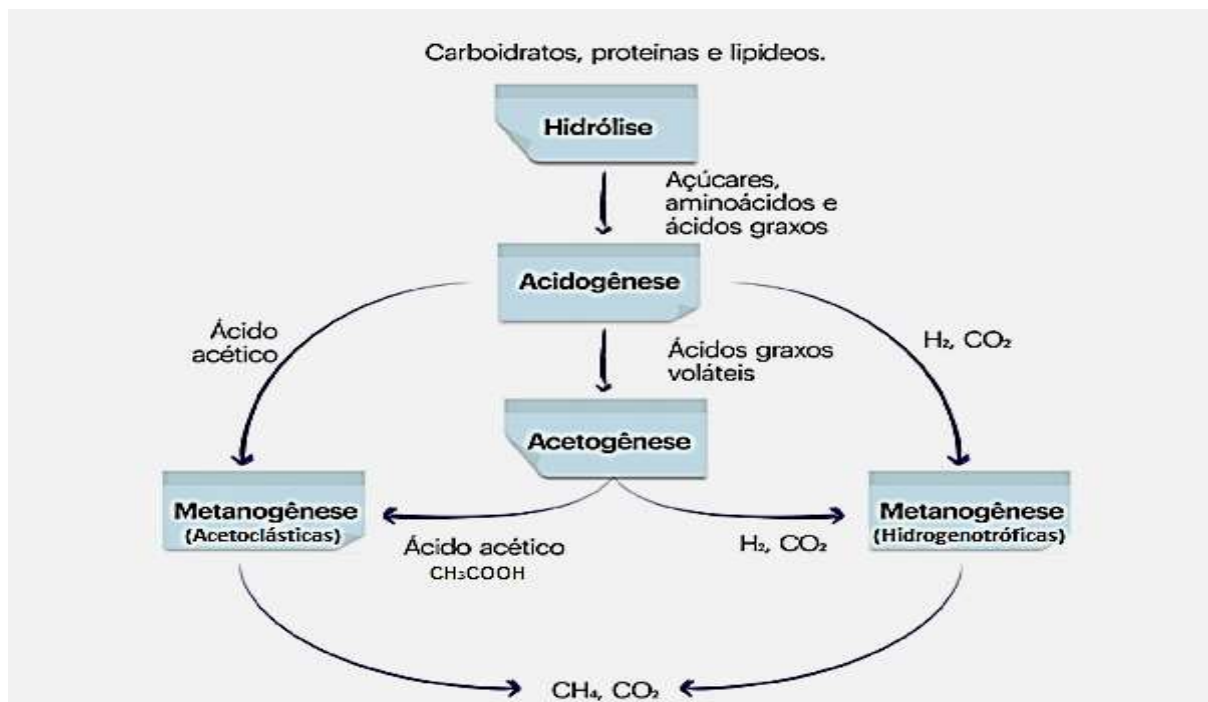


Figura 3. Fases do processo bioquímico da biodigestão anaeróbica. Fonte: Adaptado de Li et al. (2011)

2.2.2 Formação do biogás

O biogás é formado principalmente por metano, dióxido de carbono, amônia, sulfeto de hidrogênio e nitrogênio (SOUZA et al., 2005), mas os principais componentes são o metano (CH_4), que geralmente corresponde cerca de 70%, e o dióxido de carbono (CO_2), que corresponde a cerca de 30% da mistura.

Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano (OKONKWO et al., 2018; GALBIATTI et al., 2010). O metano é o combustível por excelência e o biogás é tanto mais puro quanto maior o teor de metano (SOUZA et al., 2008).

Em geral, a produção de H_2S em sistemas anaeróbios de tratamento de dejetos é um processo considerado indesejado, visto que sua produção causa uma série de problemas como toxicidade, corrosão, emissão de compostos odorantes, aumento da DQO no efluente líquido, bem como reduz a qualidade e a quantidade de biogás (MACHADO et al., 2015).

A emissão de amônia (NH_3) gera odores indesejáveis, além do que, a mesma contribui para a acidificação do solo, sendo tóxica para os organismos clorofilados (SOUZA et al., 2005).

O amoníaco é solúvel em água e está em equilíbrio com os microrganismos de forma inofensiva. A medida que a temperatura se desloca, maior quantidade de amoníaco gasoso é gerada (KARLSSON et al., 2018).

2.3 Biodigestor

Um reator de biodigestão anaeróbica normalmente consiste de um volume para líquido-sólido e um espaço livre de gás, selado à pressão atmosférica, sendo o gás removido a jusante para a utilização (ACHINAS & EUVERINK, 2016).

Os biodigestores são sistemas destinados a conter a biomassa residual que entrará em contato com bactérias, em condições de total ausência de oxigênio, onde sofrerá a fermentação (OKONKWO et al., 2018). A biomassa passa naturalmente do estado sólido para o gasoso por meio da ação de microrganismos que decompõem a matéria orgânica em um ambiente anaeróbico (ANEEL, 2010) e resultará na produção do biogás e do biofertilizante.

A utilização de biodigestores contribui para a integração das atividades agropecuárias, aproveitando o esterco ao qual, normalmente, é dado pouco ou nenhum valor comercial, convertendo-o em duas bases para o desenvolvimento sustentável: em energia renovável e em fertilizante orgânico (GALBIATTI et al., 2010).

2.3.1 Tipos de biodigestores

O sistema de funcionamento dos biodigestores depende do tipo e da forma na qual será fornecida a biomassa, sendo que, há dois sistemas básicos de funcionamento: contínuo e descontínuo (batelada).

2.3.1.1 Biodigestores do tipo contínuo

No reator de processo contínuo, o material é bombeado de forma contínua para seu interior, o que permite que haja fluxo de matéria-prima ao longo do dia e, portanto, constante produção de biogás (KARLSSON et al., 2018). Os modelos são: indiano, chinês e fluxo tubular.

O modelo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula flutuante como gasômetro, fazendo dele um biodigestor de pressão constante, uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras e faz com que o material circule por todo o interior da câmara.

Para que o gás não escape, na parte superior do cilindro há uma campânula que flutua sobre o próprio substrato ou sobre um selo d'água. Assim, este mecanismo permite que a pressão no interior do biodigestor permaneça constante, mesmo com a variação do volume (LUCAS JÚNIOR, 2006).

Na Figura 4, é mostrada a vista em corte do biodigestor modelo indiano.

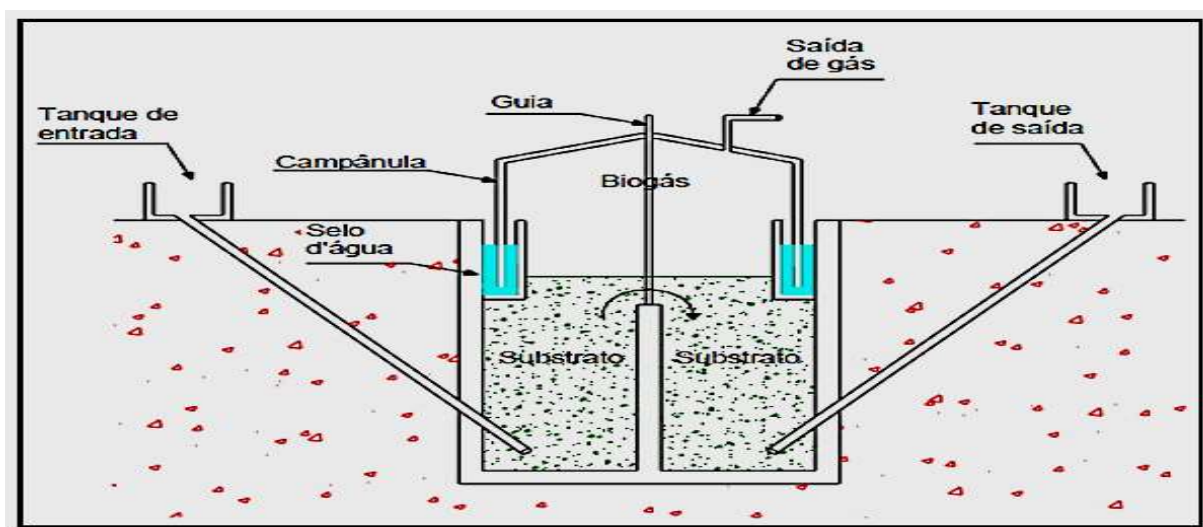


Figura 4. Biodigestor tipo indiano. Fonte: Adaptado Lucas Júnior (2006)

O tipo chinês é diferente do modelo indiano, o biodigestor chinês não dispõe de um gasômetro e, em decorrência disso, produz gás a uma pressão variável. Contudo, podem ocorrer problemas com vazamento de biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor, uma parcela de gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás (LUCAS JÚNIOR, 2006).

A forma de construção do biodigestor tipo chinês, conforme a Figura 5.

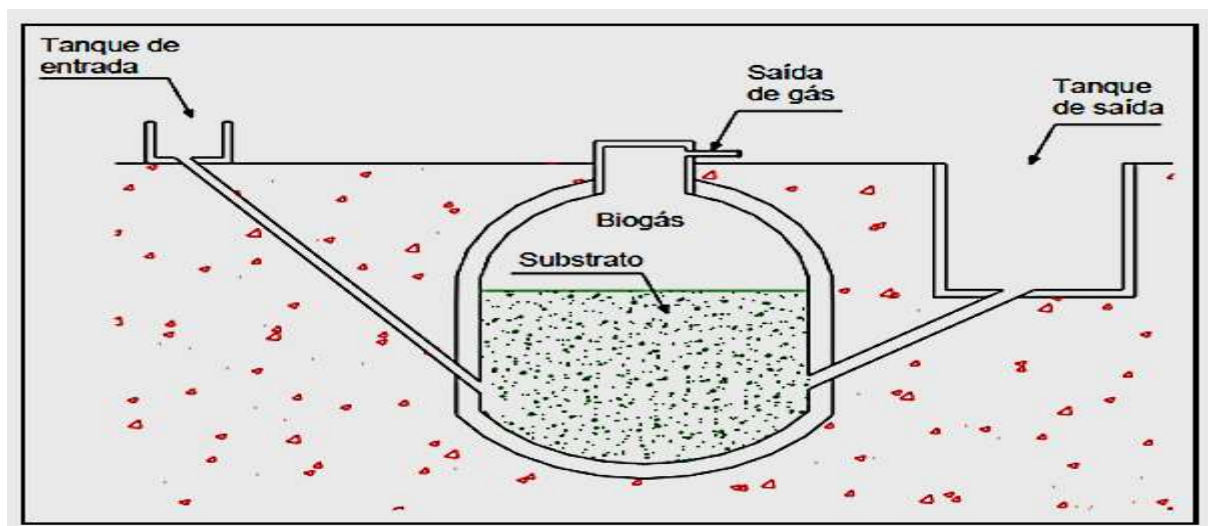


Figura 5. Biodigestor tipo chinês. Fonte: Adaptado Lucas Júnior (2006)

O biodigestor de fluxo tubular é um biodigestor do tipo horizontal com câmara de biodigestão escavada no solo, revestida com geomembranas (PEAD) e com gasômetro do tipo inflável, feito com o mesmo material.

O abastecimento é realizado colocando-se o material diluído na caixa de carga. Após a fermentação, o material sólido em suspensão é retirado pela caixa de descarga. O biogás produzido fica acumulado na parte superior (gasômetro) embaixo da manta de cobertura (LUCAS JÚNIOR, 2006), como mostrado na Figura 6.

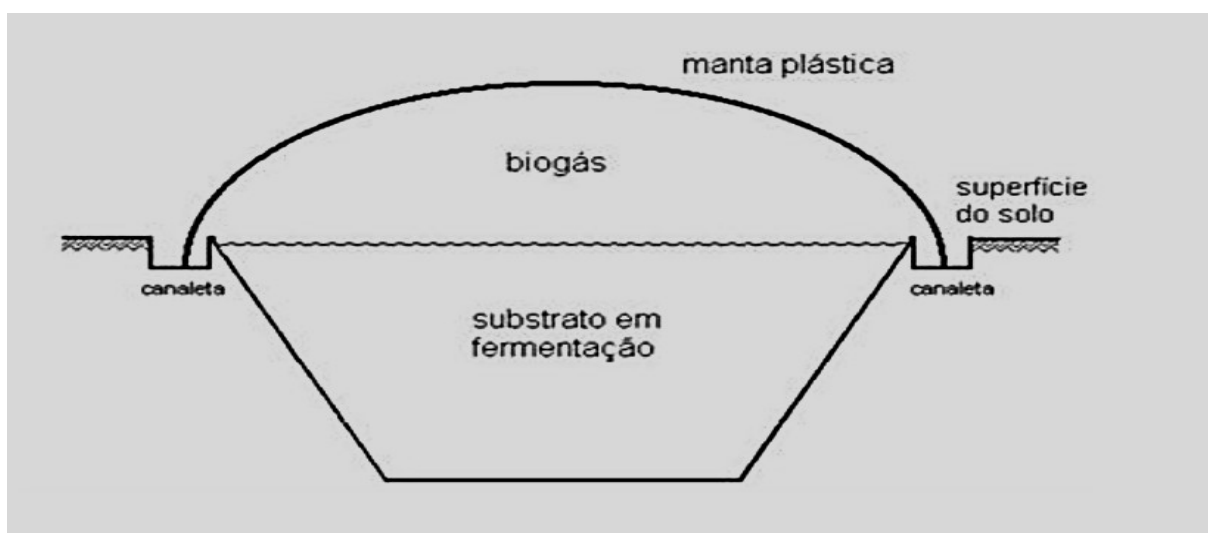


Figura 6. Biodigestor tipo fluxo tubular. Fonte: Adaptado Lucas Júnior (2006)

2.3.1.2 Biodigestores do tipo descontínuo ou batelada

São biodigestores em que a câmaras são abastecidas de uma só vez, durante um período de tempo conveniente para a fermentação e degradação da matéria orgânica. Após este período, as câmaras são desabastecidas de uma única vez. A este sistema não é adicionado novo material e a produção de metano geralmente é mais elevada no início e diminui com o tempo (KARLSSON et al., 2018).

Neste tipo de digestor, a matéria-prima a ser fermentada é colocada no seu interior e logo após é feito o isolamento da entrada de ar para que seja realizada a biodigestão. O gás produzido é armazenado no próprio recipiente, que serve de digestor ou em um gasômetro acoplado a este. Uma vez cessada a produção de gás, o digestor é aberto e retiram-se os resíduos (LUCAS JÚNIOR, 2006), como apresentado na Figura 7.

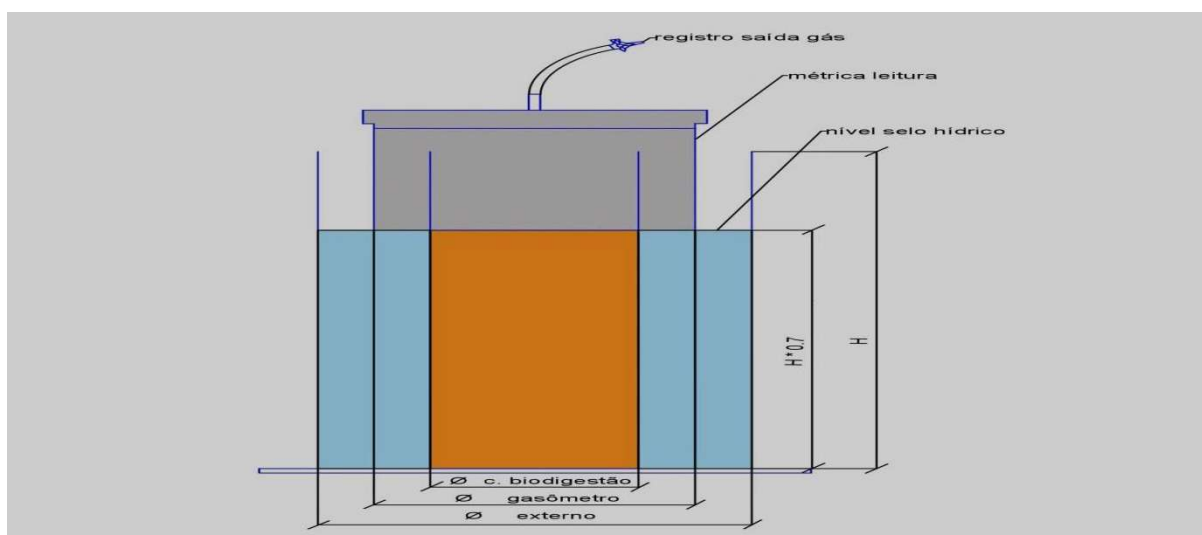


Figura 7. Biodigestor tipo batelada. Ø : diâmetro; H: altura total; $H*0,7$ = altura útil. Fonte: Autor

2.4 Fatores que influenciam a biodigestão

2.4.1 Temperatura

A temperatura do substrato exerce influência sobre a velocidade do processo de biodigestão anaeróbica, atuando diretamente na taxa de crescimento dos microrganismos (SOUZA et al., 2008). Sendo o processo fermentativo, as bactérias participantes devem ser então adaptadas ao meio e quanto às faixas de temperatura e são classificadas como psicrófila, mesófilica, e termófilica.

A faixa de temperatura em que atuam bactérias mesofílicas é entre 25 °C e 40 °C, porém o processo de geração de biogás tem maior rendimento acima de 32 °C, pois a temperatura ideal para a formação de metano é entre 35 °C e 37 °C. Já a faixa de temperatura em que atuam os microrganismos termofílicos é entre 50 °C e 60 °C, sendo a temperatura de funcionamento das plantas de biogás geralmente entre 50 °C e 55 °C. O calor faz com que os microrganismos tenham uma atividade entre 25% e 50% mais elevada do que a biodigestão mesofílica. (KARLSSON et al., 2018). Para as bactérias psicofílica, a faixa de temperatura é abaixo de 20 °C.

2.4.2 Carga orgânica

É importante saber o teor de sólidos totais (ST) e de sólidos voláteis (SV) contidos no substrato, a fim de fornecer a carga orgânica ideal para o processo de biogás. ST é o material que resta quando há a evaporação da água do substrato e SV especifica a parte orgânica da matéria seca.

Para que a produção de metano ocorra de forma satisfatória é necessário que a concentração de sólidos totais seja de 6% a 8%, isto é, a cada 100,0 litros de biomassa deve haver uma média de 7,0 kg de ST (SOUSA et al., 2017; ORRICO JÚNIOR et al., 2010; SOUZA et al., 2008).

Os SV são fermentados para produzir o biogás, daí a importância e necessidade de saber qual a sua concentração. Quanto maior a concentração de SV na biomassa, maior será a produção de gás (KARLSSON et al., 2018).

2.4.3 Tempo de retenção hidráulica

O tempo de retenção hidráulica (TRH) é o tempo que cada tipo de dejetos necessita para que seja fermentado, dentro da câmara de biodigestão. O TRH é determinado, num processo contínuo, pela relação entre volume do digestor e o volume diário de carga introduzida, isto é, de matéria orgânica adicionada (SOUZA et al., 2008; LUCAS JÚNIOR, 2006).

O tempo de retenção com a finalidade de produzir biogás é de 10 a 20 dias, para produção de biogás e biofertilizante é de 30 dias e somente para produção de biofertilizante é de 50 a 60 dias (LUCAS JÚNIOR, 2006).

A eficiência da degradação é indicada pela percentagem de material orgânico degradado e convertido em biogás, durante determinado tempo. Substratos biodegradáveis não podem ter

taxa de degradação maior que 90%, assim como substratos com alto teor de fibras não apresentam degradação superior a 60% (KARLSSON et al., 2018).

2.4.4 Homogeneidade do substrato

A homogeneização do substrato no biodigestor é outro fator importante, porque mantém um contato total e permanente das bactérias com o substrato, evitando que isso ocorra apenas no ponto de entrada da mistura no digestor, quando a operação está em carga contínua (SOUZA et al., 2008).

É particularmente importante que os microrganismos hidrolíticos tenham contato com as várias moléculas que são rompidas no processo de biodigestão, de modo que suas enzimas possam ser disseminadas a uma grande superfície de contato do substrato (KARLSSON et al., 2018).

2.4.5 pH e alcalinidade

A faixa considerada ideal de pH para a decomposição adequada dos dejetos de animais, especialmente durante a biodigestão anaeróbica, é de pH, 6,0 a 8,0, tendo como ponto ideal pH 7,0 (SOUZA et al., 2017).

Quanto maior for a alcalinidade, maior será a capacidade tampão do processo que, por sua vez, promove um pH estável.

A alcalinidade é composta principalmente por íons de bicarbonato, os quais estão em equilíbrio com o dióxido de carbono. Embora o dióxido de carbono e íons de carbonato contribuam para a alcalinidade, a degradação dos substratos ricos em nitrogênio com altas proporções de proteínas e aminoácidos aumentam a alcalinidade, devido à liberação de amoníaco, que reage com o dióxido de carbono, dissolvido para a formação de bicarbonato de amônio (KARLSSON et al., 2018).

2.5 Substratos

Diferentes tipos de materiais orgânicos podem ser utilizados para a produção de biogás como, resíduos de frigoríficos, de indústria de alimentos, resíduos sólidos urbanos, lodos de estação de tratamento de esgoto e resíduos provenientes do setor agrícola, entre outros.

O substrato deve conter vários componentes que são necessários para a atividade dos microrganismos nos processos enzimáticos, tais como oligoelementos e vitaminas (KARLSSON et al., 2018).

Na produção de biogás um fator de extrema importância a ser levado em conta é a relação (C/N), carbono: nitrogênio (OKONKWO et al., 2018). É importante que essa relação não esteja muito baixa e que a proporção de nitrogênio seja inferior a de carbono. O processo pode ser afetado em razão da inibição das bactérias causada pela liberação de amônia, ocorrendo a deficiência de nitrogênio no processo.

A proporção ideal de carbono e nitrogênio é de 30:1. As bactérias responsáveis pelo processo anaeróbio exigem ambos os elementos, assim como todos os organismos vivos, mas consomem carbono aproximadamente 30 vezes mais rápido que o nitrogênio (OKONKWO et al., 2018). O ajuste na proporção de carbono para nitrogênio evitará a perda de gás metano.

Estudos recentes demonstram que existe relação direta entre a qualidade dos dejetos gerados pelos animais e a produção de biogás, evidenciando que somente a quantidade de fração volátil (ou orgânica) não se mostra suficiente para determinar a qualidade dos substratos (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

A composição da matéria orgânica nos substratos tem forte impacto no desempenho da biodigestão anaeróbica, mostrando a existência de uma relação entre a quantidade de metano produzida e a matéria orgânica utilizada, não apenas a fração biodegradável, mas também a fração não biodegradável (NIELFA et al., 2015).

Geralmente, a co-digestão de diferentes materiais apresenta melhor resultado, pois gera maior quantidade de biogás do que se for adicionado ao biodigestor apenas um tipo de substrato. A explicação para isso é que quando os substratos são misturados, há maior chance de conter todos os componentes que são importantes para o crescimento microbiano. A mistura pode, por exemplo, proporcionar melhor relação C/N. Além disso, se o substrato é complexo, promove o crescimento de vários tipos de microrganismos no biodigestor (KARLSSON et al., 2018).

Nesse contexto, o estudo de substratos como dejetos de suínos e do co-substrato de galinha poedeira é importante para se conhecer a composição orgânica destes e na determinação do potencial de metano.

2.5.1 Dejetos da suinocultura

A adoção de sistemas confinados de produção de suínos, juntamente com o emprego de tecnologia para aprimorar esses sistemas, tem levado a um aumento considerável do plantel e,

consequentemente, à produção cada vez maior de dejetos, os quais constituem o resíduo proveniente da atividade suinícola (SOUZA et al., 2008).

A quantidade total de dejetos produzidos por um suíno, em determinada fase do seu desenvolvimento, é um dado fundamental para o planejamento das instalações de coleta, estocagem e o tratamento dos dejetos, visto seu alto potencial poluidor.

Na suinocultura, a quantidade de resíduos produzida depende muito do peso e da idade dos animais. As características do resíduo também são afetadas por fatores como a fisiologia do animal e a composição das rações. (SOUZA et al., 2008).

As Figuras 8A, B, C e D, ilustram as fases de produção dos suínos.



Figura 8. Fases de produção de suínos: A. maternidade; B. creche; C. produção de leitão; D. terminação.

Fonte: autor

A suinocultura caracteriza-se como uma atividade que acarreta sérios prejuízos ambientais, devido à elevada capacidade poluente dos dejetos, principalmente, pelas concentrações de matéria orgânica, coliformes totais e termotolerantes e significativas quantidades de N e P (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

Para o esgoto doméstico, a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) é de cerca de 200 mg.L⁻¹, a DBO dos dejetos suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg.L⁻¹, ou seja, em torno de 260 vezes superior; além disso, um suíno produz cerca de 2,5 vezes mais dejetos que um ser humano (GALBIATTI et al., 2010).

O aproveitamento dos resíduos orgânicos, oriundos das suinoculturas, tem aumentado devido ao interesse de reciclagem de nutrientes no próprio local, de saneamento e pelo valor energético do biogás.

O dejetos líquido dos suínos contém matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais (EMBRAPA, 2002).

Tabela 1 — Composição físico-química média dos dejetos suínos.

VARIÁVEL	MÍNIMO (mg L ⁻¹)	MÁXIMO (mg L ⁻¹)	MÉDIA (mg L ⁻¹)
DQO	11.530,2	38.448,0	25.542,9
Sólidos totais	12.697,0	49.432,0	22.399,0
Sólidos voláteis	8.429,0	39.024,0	16.388,8
Sólidos fixos	4.268,0	10.408,0	6.010,2
Sólidos Sedimentáveis	220,0	850,0	428,9
Nitrogênio total	1.660,0	3.710,0	2.374,3
Fósforo total	320,0	1.180,0	577,8
Potássio total	260,0	1.140,0	535,7

Fonte: Adaptado da Embrapa, 2002

2.5.2 Dejetos da avicultura de postura

A necessidade do produtor por uma maior produtividade leva a um aumento do número de aves por área e, conseqüentemente, à redução dos custos. Esse aumento na densidade

acarreta no crescimento da produção de dejetos que, quando não tratados de maneira correta, podem levar a graves problemas ambientais (FARIAS et al., 2012).

As produções de dejetos de aves variam conforme a atividade, as galinhas poedeiras, por exemplo, produzem em torno de 12 kg, em matéria seca, de dejetos por cabeça, por ano (FRIGO et al, 2015).

Os dejetos de poedeiras são constituídos por substratos complexos contendo matéria orgânica particulada e dissolvida como polissacarídeos, lipídios, proteínas, ácidos graxos voláteis, elevado número de patogênicos, todos de interesse na questão ambiental (STEIL et al. , 2002).

Verifica-se, por meio da Figura 9, o sistema de produção convencional de instalação de aves poedeiras, onde os dejetos permanecem por longos períodos sob as gaiolas até que sejam retirados.



Figura 9. Sistema convencional de alojamento de galinhas poedeiras. Fonte: autor

A composição e as características do esterco indicam que este material possui potencial para a utilização como fertilizante orgânico (KARLSSON et al., 2018), pois possui elementos químicos que podem constituir em nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Porém, por causa do alto potencial biogênico dos dejetos, não é aconselhado o uso no solo sem tratamento (EMBRAPA, 2011).

Dessa forma, a produção de dejetos deve ser gerenciada como parte importante dentro do processo produtivo e nunca ser negligenciada, pois poderá se tornar um grande passivo do empreendimento (EMBRAPA, 2011).

Uma das técnicas utilizadas no tratamento dessa biomassa é a biodigestão anaeróbica que promove a gestão dos resíduos e a produção de energia e biofertilizantes, que podem ser aproveitados dentro das propriedades rurais.

Em propriedades com diferentes atividades pecuárias, pode-se recomendar a mistura de outros tipos de dejetos aos dejetos de poedeiras para o abastecimento dos biodigestores (EMBRAPA, 2011). A quantidade e a disponibilidade de certos nutrientes são essenciais para garantir crescimento microbiano e, dessa forma, maximizar a degradação da matéria orgânica (FARIAS et al., 2012).

2.6 Cálculo de conversão energética de substratos

Para o cálculo de conversão energética dos diversos tipos de biomassa, são estabelecidas diferentes tecnologias de conversão e considerados os respectivos poderes caloríficos de cada biomassa. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 2, separados por tipo de dejetos. A geração de metano (em m³) corresponde à quantidade de metano contida no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras de suíno, (COELHO et al., 2008).

A Eq. 6 estima do potencial de produção de metano de acordo com o tipo de dejetos:

$$\text{Metano} = 365 \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ animal} \times Et \times Pb \times \text{Conc. CH}_4 \times VE \quad (6)$$

Onde:

Metano - (m³CH₄ ano⁻¹);

Et - Esterco total (kg esterco d⁻¹ unidade geradora);

Pb - Produção de biogás (kg biogás kg⁻¹esterco);

Conc. CH₄ - Concentração de metano no biogás (%);

VE - Volume específico do metano = 0,670 (kg m⁻³).

Tabela 2 – Valores de conversão energética para diferentes tipos de efluentes

Tipo de dejetos	kg esterco d^{-1} unidade geradora (Et)	kg biogás kg^{-1} esterco (Pb)	metano % (CH_4)
Suínos	2,25	0,062	66
Bovinos	10,00	0,037	60
Equinos	12,00	0,048	60
Aves	0,18	0,055	60
Abatedouro	1,00	0,100	55

Fonte: Coelho et al., 2008.

2.7 Inoculação de microrganismos

No arranque de um biodigestor, os microrganismos adicionados devem ter tempo para se adaptar ao substrato, pois tanto este quanto o meio ambiente onde estão inseridos são diferentes do ambiente original, sendo importante os organismos poderem se adaptar ao processo para que a estabilidade seja obtida. (KARLSSON et al., 2018).

A utilização de inóculo a partir de efluentes de biodigestores estabilizados faz com que os microrganismos presentes no inóculo se adaptem mais facilmente ao substrato, otimizando, assim, as produções de biogás e reduzindo o período de colonização bacteriana (ORRICO JÚNIOR, 2010).

Os inóculos desempenham um papel importante na fase inicial do reator, pois equilibram as populações de bactérias e, além disso, têm a função de acelerar o processo, principalmente em materiais difíceis de serem digeridos (SHAH et al., 2014).

Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar a produção de biogás, sendo a adição de inóculo um dos métodos utilizados (XAVIER et al., 2010). Um processo que visa acelerar e melhorar a eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes é a bioaugmentação, realizada por uma seleção de bactérias que complementam e aumentam a população bacteriana já existente (JACQUES et al., 2007).

Kovács et al. (2015) utilizaram a bioaumentação com cepas mesofílicas como, *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* em reatores de biogás alimentados apenas com substratos ricos em proteínas o obtiveram aumento no rendimento de metano em 50%, mesmo sem qualquer aclimatação.

Os microrganismos da bioaumentação não são patogênicos e são classificados como nitrogenadores, decompositores, quelatizadores e enzimáticos, tendo cepas como *Bacillus subtilis*.

REFERENCIAS

ACHINAS, S.; EUVERINK, G. J. W. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. **Resource-Efficient Technologies**, Tomsk, Russia, v.2, n.3, p.143-147, sept. 2016.

ACHINAS, S.; ACHINAS, V.; EUVERINK, G. J. W. A technological overview of biogas production from biowaste. **Engineering**, N. Jersey, USA, v.3, n.3, p. 299-307, jun.2017.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**. [S.l. : s.n.], 2010.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.4, p. 456–462, jan.2013.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011** : Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

COELHO, S. T.; MONTEIRO, M. B.; KARNIOL, M. R.; GHILARDI, A. **Atlas de bioenergia do Brasil**. São Paulo: CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa Suínos e Aves. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia – SC : Embrapa Suínos e Aves, 2002. p.1-30. (Boletim Informativo, n.14)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa Suínos e Aves. **Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais**. Concórdia – SC : Embrapa Suínos e Aves, 2011. Cap. 4.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2016**: Ano base 2015/ 2016. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_final_BEN_2016.pdf>. Acesso em 10 out 2018.

FARIAS, R. M.; ORRICO JUNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; GARCIA, R.G.; CENTURION, S.R.; FERNANDES, A.R.M. Biodigestão anaeróbica de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. **Ciência Rural**, Santa Maria , v.42, n.6, p.1089-1094, jun.2012.

FERGUSON, R. M. W.; COULON, F.; VILLA, R. Organic loading rate: a promising microbial management tool in anaerobic digestion. **Water Research**, Amsterdam, The Netherlands, v. 100, n.1, p.348-356, sept.2016.

FRIGO, E. P.; ALVES, H. J.; FRIGO, M. S.; ARAÚJO, C. H. C.; BASTOS, R. K. Biomassa residual rural proveniente de diferentes atividades agropecuárias brasileiras. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.30, n.1, p.21-26, mar.2015.

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

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1192-1201, ago.2007.

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

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, New York, v.83, n.01, p. 27-36, may 2002.

KOVÁCS, E.; WIRTH, R.; MARÓTI, G.; BAGI, Z.; N'AGY, K.; MINÁROVITS, J.; RÁKHELY, G.; KOVÁCS, K. L. Augmented biogas production from protein-rich substrates and associated metagenomic changes. **Bioresource Technology**, New York, v.178, p.254-261, feb. 2015.

LI, Y.; PARK, S. Y.; ZHU, J. Solid state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, USA, v.15, n.01 p. 821-826, jan.2011.

LUCAS JUNIOR, J.; SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa : CPT, 2006. 158p.

MACHADO, N. S.; SILVA, J. N.; OLIVEIRA, M. V. M.; COSTA, J. M.; BORGES, A. C. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbica de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n.4, p.344-356, dez.2015.

MELO, I. S. **Microbiologia ambiental**. 2.ed. rev. ampl. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 647 p.

METCALF, A.; EDDY, M. S. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. New York: McGraw- Hill, 2003. 1819 p.

NIELFA, A.; CANO, R.; FDZ-POLANCO, M. Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. **Biotechnology Reports**, Amsterdam, The Netherlands, v. 5, p. 14-21, mar.2015.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO, A. C. A. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.600-607, ago.2010.

PEREIRA, M. G.; CAMACHO, C. F.; FREITAS, M. A. V.; da SILVA, N. F. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, USA, v. 16, n. 6, p. 3786-3802, ago.2012.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R. ; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de pvc flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n.3, p.326–332, mar.2010.

REIS R.J.; REIS L.S. **Potencial de energia da biomassa de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Rona Gráfica e Editora, 2017. 380 p.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; FAHL, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, London, England, v. 129, part A, p.457-472, dec/2018.

SHAH, F. A.; MAHMOOD, Q.; SHAH, M. M.; PERVEZ, A.; ASAD, S. A. Microbial ecology of anaerobic digesters: The key players of anaerobiosis. **International Journal of Chemical Engineering**, London, v.2014, p.21, feb.2014.

SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T.; AMARAL, P. I. S.; CECCHIN, D.; VELOSO, A. V. Produção de biogás proveniente de camas sobrepostas de suínos. **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 32, n.3, p.229-236, jul/set.2017.

SOUZA, C. F.; CAMPOS, J. A.; SANTOS, C. R.; BRESSAN, W. S.; MOGAMI, C. A. Produção volumétrica de metano - dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, jan/fev.2008.

SOUZA, C. F.; LUCAS JÚNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago.2005.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. Avaliação do uso de inóculos na digestão anaeróbica de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-149, jan.2002

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

CAPÍTULO II

O artigo foi formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi).

ARTIGO:

Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos e aves associado ao uso de inoculantes

Resumo :

Estudos associando diferentes substratos têm sido amplamente utilizados, melhorando a eficiência da produção de biogás. No entanto, a adição de microrganismos que aceleram a fermentação é pouco explorada. Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa analisar a dinâmica e a eficiência da biodigestão anaeróbica, utilizando dois substratos, dejetos de suínos e co-substrato de excretas de galinhas poedeiras, associados a diferentes inoculantes. O experimento foi conduzido entre novembro e dezembro de 2018, no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Machado – MG, cujas coordenadas geográficas são: 21°41'44" S; 45°52'59" W. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial (2 substratos x 3 inoculantes), efetuando-se quatro repetições por tratamento, totalizando 24 biodigestores. A biodigestão foi realizada durante 40 dias à temperatura ambiente média, 23 °C. A eficiência do processo de biodigestão foi avaliada pelas reduções de sólidos totais, sólidos voláteis, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, número mais provável de coliformes totais e fecais, além das produções e dos potenciais de produção de biogás e metano. A utilização de co-substrato de ave poedeira com o dejetos de suíno promoveu uma maior produção inicial de biogás, mas apresentou reduções menos eficientes dos teores de sólidos e no potencial de produção de biogás por kg de sólidos totais. Os teores de metano gerados a partir de dejetos de suíno+ave e

de suíno foram de 69 e 72%, respectivamente. Não foram observadas alterações na produção de biogás em função da adição de microrganismos.

Palavras-chave: biomassa, biodigestor, biogás, inóculo

Anaerobic biodigestion of swine and poultry manure associated with the use of inoculants

Abstract

Studies associating different substrates have been widely used, improving the efficiency of biogas production. However, the addition of microorganisms that accelerate fermentation is little explored. Faced with this, it was objectified with research was to analyze the dynamics and efficiency of anaerobic biodigestion, using two substrates, swine manure and co-substrate of excreta of laying hens associated with different inoculants. The experiment was conducted between November and December 2018 at the Federal Institute of Science and Technology Education of the South of Minas Gerais - Campus Machado - MG, whose geographic coordinates are: 21 ° 41'44 "S; 45 ° 52'59 "W. The experimental design was a randomized block design, in a factorial scheme (2 substrates x 3 inoculants), with four replicates per treatment, totaling 24 biodigesters. Biodigestion was performed for 40 days at the average ambient temperature, 23°C. The efficiency of the biodigestion process was evaluated by reductions of total solids, volatile solids, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, most probable number of total and fecal coliforms, as well as production and biogas and methane production potentials. The use of co-substrate of laying hens with swine manure promoted a higher initial biogas production, but presented less efficient reductions in solids contents and in biogas production potential per kg of total solids. The levels of methane generated from swine + poultry and swine were 69 and 72%, respectively. No change was observed in the production of biogas due to the addition of microorganisms.

Key words: biomass, biodigestor, biogas, inoculum

INTRODUÇÃO

A utilização de combustíveis fósseis e o impacto dos gases de efeito estufa no meio ambiente estão motivando pesquisas sobre a produção de energia renovável, a partir de recursos biológicos (Achinas et al., 2017), sendo a biodigestão anaeróbica de resíduos uma das mais atrativas escolhas de energia renovável (Scarlat et al., 2018), que combina a produção de energia com o gerenciamento sustentável de resíduos.

Como todo processo biológico, a biodigestão anaeróbica depende de alguns fatores para o sucesso do sistema e dos potenciais energéticos contidos nos dejetos (Orrico Júnior et al., 2010), sendo que a quantidade e a disponibilidade de nutrientes são necessários para promover o crescimento microbiano e otimizar a degradação da matéria orgânica (Farias et al., 2012).

Dessa forma, a co-digestão anaeróbica de esterco de vários substratos aumenta o rendimento de biogás e a produção de energia (Scarlat et al., 2018), a mistura pode, por exemplo, proporcionar uma melhor relação carbono com nitrogênio C/N (Okonkwo et al., 2018).

Contudo, é importante agregar processos que visem à eficiência da biodigestão. Assim sendo, a adição de inóculo visa acelerar e aumentar a produção de biogás (Xavier et al., 2010) e a bioaugmentação de microrganismos complementa e aumenta a comunidade bacteriana já existente (Jacques et al., 2007) otimizando, assim, as produções de biogás e reduzindo o período de colonização bacteriana.

Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa analisar a dinâmica e a eficiência da biodigestão anaeróbica, utilizando dois substratos, dejetos de suínos e co-substrato de excretas de galinhas poedeiras, associados a diferentes inoculantes.

MATERIAL E MÉTODOS

A etapa da biodigestão foi desenvolvida no período de novembro a dezembro de 2018, no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Machado (IF), na cidade de Machado – MG, cujas coordenadas geográficas são: 21°41'44" S; 45°52'59" W e altitude de 820 metros.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial (2 x 3), sendo utilizados dois substratos: 100% de dejetos de suínos e 50% de dejetos de suínos + 50% de excretas de galinhas poedeiras e três tipos de inoculantes: consórcio de microrganismos cultivados e concentrados, em meio líquido, em meio sólido e inóculo de biofertilizante de suíno, efetuando-se quatro repetições por tratamento, totalizando assim 24 biodigestores.

Os dejetos de suínos foram coletados da esterqueira e de aves poedeiras das excretas acumuladas sob as gaiolas, nas granjas do IF. Os suínos eram da linhagem Naima e Gallia, criados em sistema de produção em ciclo completo. As galinhas poedeiras eram da genética Hy line w-36, idade de 50 a 60 semanas, criadas em sistema de produção convencional em gaiolas.

Foram coletadas amostras (4 por substrato) do afluente para a caracterização físico-químicos e microbiológicos, avaliadas pelos Laboratórios de Análise de Efluente e Laboratório de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras-UFLA, MG. Os resultados das amostras são apresentados na Tabela 3. Estes parâmetros foram utilizados para os cálculos de reduções obtidas durante o processo, assim como para os potenciais de produção de biogás.

Tabela 3. Caracterização físico-química e microbiológica dos afluentes utilizados no experimento

Componente	Dejeto de suíno	Dejeto de suíno+ave
Parâmetros físico-químicos		
ST (g L ⁻¹)	60,89	88,37
SV (g L ⁻¹)	44,75	58,46
SV (% dos ST)	73,49	66,15
DQO (g L ⁻¹)	147,77	84,51
DBO (g L ⁻¹)	54,90	46,50

N (g L ⁻¹)	0,86	1,50
C/N	28,31	12,83
pH	7,80	7,50
Parâmetros microbiológicos		
Coliformes totais (NMP mL ⁻¹)	1,6 x 10 ⁵	5,4 x 10 ⁴
Coliformes fecais (NMP mL ⁻¹)	5,4 x 10 ⁴	3,5 x 10 ⁴

ST – sólido total; SV – sólido volátil; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; N – nitrogênio; C/N – relação carbono / nitrogênio; pH – potencial hidrogeniônico; NPM – número mais provável

Os dejetos foram misturados com água de poço artesiano na proporção 1:1, depois misturados e homogeneizados antes do abastecimento dos biodigestores, procurando-se obter substratos com teor de sólido total (ST) em torno de 70 g L⁻¹.

A quantidade de inóculo foi fixada em 15% do ST, conforme citado por Matter et al. (2017) e Orrico Júnior et al. (2010), sendo utilizados três tipos de inoculantes: consórcio de microrganismos concentrados em meio líquido, concentrados em meio sólido e inóculo de biofertilizante de suíno.

No processo da biodigestão anaeróbica foram utilizados biodigestores modelo batelada de bancada, constituídos de acordo com a metodologia descrita por Galbiatti et al. (2010), como apresentado na Figura 10.

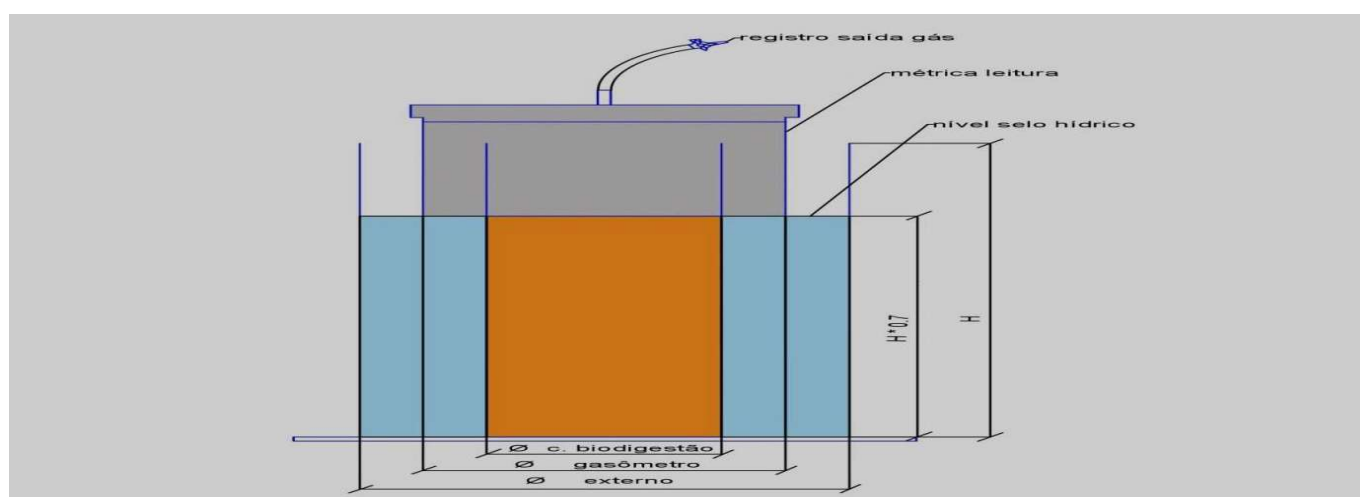


Figura 10. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada. Onde: ϕ (diâmetro); H (altura total); $H*0,7$ (altura útil). Fonte: Autor

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o

deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados, utilizando-se do registro de descarga do biogás.

Para as análises da composição do gás utilizou-se o Kit biogás, desenvolvido pela Embrapa - Suínos e Aves com a empresa Alfakit, conforme metodologia fornecida pelo fabricante juntamente com o produto, EMBRAPA (2018). Foram coletadas 6 amostras de biogás (uma por tratamento), num amostrador de plástico, durante 4 semanas. Após as coletas, determinaram-se os teores de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), gás sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3).

Para a avaliação das reduções dos teores de ST, sólido volátil (SV), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e coliformes fecais, foram coletadas 24 amostras (biodigestores) no efluente, com a finalidade de se verificar o desempenho da degradação dos substratos, durante o período de 40 dias de retenção.

Foi avaliada a produção de biogás a cada 5 dias, com o intuito de se verificar a influência da concentração inicial de SV. Além disso, foi avaliada a produção de CH_4 , o potencial de produção de biogás, através de L biogás por: kg de substrato, ST reduzidos, DQO e DBO reduzidos. Por último, foram verificadas as reduções de coliformes totais e fecais.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram avaliadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram feitas utilizando o pacote estatístico Minitab ®16.1.0, 1995.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4, estão apresentados os dados das reduções de ST, SV, DQO e DBO dos efluentes obtidos a partir dos dejetos de suínos e de suíno+ave associados ao uso de inoculantes.

Tabela 4. Redução (%) de ST, SV, DQO e DBO dos efluentes obtidos a partir de dejetos de suínos e de suíno+ave

associados ao uso de inoculantes

	INOCULANTES		
	cont	ms	ml
Redução de ST (%)			
suíno	55 Aa	63 Aa	58 Aa
suíno+ave	43 Ba	46 Ba	31 Ba
Redução de SV (%)			
suíno	65 Aa	71 Aa	69 Aa
suíno+ave	54 Ba	51 Ba	45 Ba
Redução de DQO (%)			
suíno	77 Aa	81 Aa	83 Aa
suíno+ave	32 Ba	26 Ba	33 Ba
Redução de DBO (%)			
suíno	74 Aa	71 Aa	77 Aa
suíno+ave	32 Ba	27 Ba	23 Ba

cont – controle com inóculo de biofertilizante de suíno; ms – microrganismos concentrados em meio sólido; ml – microrganismos concentrados em meio líquido; ST – sólido total; SV – sólido volátil; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio. Nas colunas, as letras maiúsculas comparam os substratos e nas linhas, as letras minúsculas comparam as inoculações. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Foram observadas diferenças nas reduções dos teores de ST, SV, DQO e DBO, sendo que o substrato de dejetos de suíno apresentou reduções superiores ($P<0,05$; Tabela 4). Neste estudo, a concentração de SV (% dos ST) de dejetos de suíno foi maior e pode ter contribuído na redução dos teores de sólidos.

Farias et al. (2012) observaram reduções de ST e SV de 53 e 66%, em estudo sobre a interferência do tempo de acúmulo dos dejetos de aves de postura na fermentação, com tempo de retenção hidráulica (TRH) de 150 dias e atribuíram essas reduções às concentrações de SV (% dos ST). Já Sousa et al. (2017) avaliaram a biodigestão anaeróbica com cama sobreposta de suínos, com TRH de 60 dias, com as reduções médias de ST, SV, DQO de 72.2, 25.9 e 48.4% respectivamente. As médias de reduções de ST desses autores foram superiores e SV, DQO inferiores aos observados neste trabalho, que teve um TRH de 40 dias.

A redução da DQO do dejetos de suíno de 80,3% foi superior ao encontrado por Miah et al. (2016), que utilizaram cama de frango e esterco bovino e observaram uma redução de DQO

de 68% e ao estudo de Duda et al. (2015), com redução de 69,6%, no tratamento de águas residuárias da suinocultura.

De outra forma, a baixa redução da DBO do dejetos de suíno+ave, pode estar relacionada à taxa de biodegradação do co-substrato de ave poedeira, necessitando de TRH superior para atingir maior nível de degradação.

Orrico Júnior et al. (2011) avaliaram que a excreta de ave de postura possui maior concentração de proteína (32,0%) que o dejetos de suíno (23,3%), porém a mesma é inferior em carboidratos de rápida degradação de 5,7 e 17,3 %, respectivamente. Nesse sentido, Bulkowska et al. (2015) observaram que a taxa de hidrólise das proteínas devido à sua elevada complexidade estrutural é normalmente menor que a dos carboidratos e lipídios.

Foi determinada a produção de biogás acumulada a cada 5 dias, a fim de se verificar a influência da concentração inicial de SV, na dinâmica da produção do biogás. Desses dados se constata que o dejetos de suíno+ave, teve produção superior ($P<0,05$; Tabela 5) nos períodos iniciais, ou seja, 5, 10 e 15 dias, provavelmente por ter maior teor de SV, no início do processo.

Tabela 5. Produções parciais em L de biogás, para os períodos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 dias, em substratos de dejetos de suínos e de suíno+ave associados ao uso de inoculantes

Tratamentos	Dias após o abastecimento dos biodigestores							
	5	10	15	20	25	30	35	40
suíno+ms (L)	16,30 B	16,65 B	15,82 B	17,17	16,58	13,47	13,28	14,51
suíno+ml (L)	14,72 B	14,88 B	14,48 B	15,14	14,72	12,32	12,35	11,98
suíno+cont (L)	15,38 B	15,96 B	14,92 B	14,56	14,93	13,84	13,76	14,47
suíno+ave+ms (L)	19,93 A	26,26 A	21,01 A	17,06	17,30	15,72	11,81	11,46
suíno+ave+ml (L)	20,86 A	25,08 A	21,09 A	17,34	16,85	15,14	11,89	12,10
suíno+ave+cont (L)	19,37 A	24,33 A	20,11 A	16,26	14,85	14,45	12,77	11,66

ms – microrganismos concentrados em meio sólido; ml – microrganismos concentrados em meio líquido; cont – controle com inóculo de biofertilizante de suíno. Médias nas colunas seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

Embora a média da produção inicial de biogás do dejetos de suíno+ave tenha sido maior que o dejetos de suíno, ela foi comparável no final do processo ($P=0,05$; Tabela 5), indicando que a mesma não dependeu apenas da concentração de SV inicial, mas também das reduções dos demais sólidos.

Miah et al. (2016) observaram que o pico de geração de gás ocorre em menor período, quando a concentração de SV é maior, ou seja, quanto menor a concentração inicial de SV, maior o tempo necessário para o pico de produção de gás no biodigestor.

Na Tabela 6, estão apresentadas as médias das produções e potencial de produção de biogás e metano, em substratos preparados a partir dos dejetos de suínos e de suíno+ave, associados ao uso de inoculantes.

Tabela 6. Produção e potencial de produção de biogás e metano, em substratos preparados a partir dos dejetos de suínos e de suíno+ave associados ao uso de inoculantes

Tratamentos	L biogás	L CH ₄	L biogás kg ⁻¹ ST	L biogás kg ⁻¹ substrato
suíno+ms	128,65 Aa	93,40 Aa	2187,66 Aa	52,44 Aa
suíno+ml	112,87 Aa	82,17 Aa	2084,04 Aa	52,44 Aa
suíno+cont	115,41 Aa	81,02 Aa	2192,39 Aa	54,99 Aa
suíno+ave+ms	141,36 Aa	104,32 Aa	1602,02 Ba	57,89 Aa
suíno+ave+ml	140,40 Aa	94,63 Aa	1563,35 Ba	55,25 Aa
suíno+ave+cont	128,52 Aa	85,85 Aa	1593,30 Ba	57,31 Aa

CH₄ – metano; ST – sólido total; ms – microrganismos concentrados em meio sólido; ml – microrganismos concentrados em meio líquido; cont – controle com inóculo de biofertilizante de suíno. Nas colunas, as letras maiúsculas comparam os substratos e as letras minúsculas comparam as inoculações. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Não houve diferença entre médias para as produções de biogás, metano e potencial de produção de L biogás por kg de substrato, entre os tratamentos. Entretanto, o substrato de suíno foi superior (P<0,05; Tabela 6) no potencial de produção de L biogás por kg de ST, possivelmente a sua maior redução de ST.

Nesse estudo, a produção de biogás, com TRH de 40 dias, foi comparável ao obtido por Souza et al. (2017), que verificaram a produção média acumulada de 127 L com TRH de 60 dias e superior ao obtido por Farias et al. (2012), com média de 24 L e TRH de 150 dias.

Os teores de metano gerados a partir de dejetos de suíno e de suíno+ave foram de 72 e 69% respectivamente, sendo comparáveis com os resultados relatados por Miah et al. (2016) de 70 a 72,6% e superiores aos estudos de Kovács et al. (2015), utilizaram extrato de carne e resíduos vegetal como substratos, em reatores de laboratório com agitação contínua e obtiveram teor de

metano de 53%. Segundo Okonkwo et al. (2018), o teor de metano no biogás varia de 40 a 80% e os resultados obtidos neste estudo corroboram com essa afirmação.

Os potenciais de produção de L biogás por kg de ST e por kg de substrato, foram superiores aos observados por Miranda et al. (2012), cujos teores médios foram de 661 e 29,3 (L biogás kg⁻¹), respectivamente.

Os teores de gás sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3) dos tratamentos ficaram abaixo de 20 ppmV e 19 ppmV, respectivamente. Resultados não registrados.

Avaliando a importância da inoculação para o início e operação da biodigestão, Liu et al., (2017) utilizaram 3 fontes de inóculos para produção de biogás e observaram diferença no potencial de produção de metano, no período inicial e não no decorrer da biodigestão, sugerindo que a comunidade microbiana, inicialmente diferente, havia se igualado no final.

Kovács et al. (2015) utilizaram seleção de estirpes com investigação detalhadas para a bioaumentação, através de cepas mesofílicas como *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* e obtiveram aumento no rendimento de metano em 50%.

Apesar de comprovadas, por esses autores, alterações na produção de biogás em função da adição de microrganismos, não foram observadas influências dos mesmos neste trabalho, devendo este estudo ser aprofundado.

Na Tabela 7 podem ser observadas as reduções de coliformes totais e fecais em substratos de dejetos de suínos e suíno+ave associados ao uso de inoculantes.

Tabela 7. Números mais prováveis (NMP m L⁻¹) de coliformes totais e fecais, em substratos preparados a partir dos dejetos de suínos e de suíno+ave associados ao uso de inoculantes

		Afluentes	Efluentes	Redução (%)
Tratamentos		Coliformes Totais		
suíno+ms	(NMP mL ⁻¹)	1,60 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁴	85,00
suíno+ml	(NMP mL ⁻¹)	1,60 x 10 ⁵	2,3 x 10 ³	98,56
suíno+cont	(NMP mL ⁻¹)	1,60 x 10 ⁵	3,5 x 10 ⁴	78,13
suíno+ave+ms	(NMP mL ⁻¹)	5,40 x 10 ⁴	4,9 x 10 ³	90,93
suíno+ave+ml	(NMP mL ⁻¹)	5,40 x 10 ⁴	*	-
suíno+ave+cont	(NMP mL ⁻¹)	5,40 x 10 ⁴	*	-

Coliformes Fecais				
suíno+ms	(NMP mL ⁻¹)	5,40 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁴	55,56
suíno+ml	(NMP mL ⁻¹)	5,40 x 10 ⁴	1,3 x 10 ³	97,59
suíno+cont	(NMP mL ⁻¹)	5,40 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁴	55,56
suíno+ave+ms	(NMP mL ⁻¹)	3,50 x 10 ⁴	3,3 x 10 ³	90,57
suíno+ave+ml	(NMP mL ⁻¹)	3,50 x 10 ⁴	*	-
suíno+ave+cont	(NMP mL ⁻¹)	3,50 x 10 ⁴	*	-

ms – microrganismos concentrados em meio sólido; ml – microrganismos concentrados em meio líquido; cont – controle com inóculo de biofertilizante de suíno; NPM – número mais provável; * parcela perdida.

As médias das reduções no NMP de coliformes totais e fecais, para o substrato de suíno, foram 87 e 70%, respectivamente, porém os dejetos de suíno+ave, somente o tratamento associado aos microrganismos concentrados em meio sólido (ms) apresentou resultados de coliformes totais e fecais de 91 e 90%, respectivamente.

Os procedimentos, no momento da coleta das amostras laboratoriais, possivelmente podem ter contribuído para a falta (parcela perdida) das demais reduções do NNP de coliformes desta pesquisa.

Pode-se inferir que o TRH de 40 dias não foi suficiente para se promover maiores reduções do NNP de coliformes, quando comparado com os resultados de Farias et al. (2012) que observaram redução de 100% para coliformes totais e termotolerantes com TRH de 150 dias.

CONCLUSÃO

1. A utilização de co-substrato de ave com o substrato de suíno promoveu uma maior produção inicial de biogás, mas apresentou reduções menos eficientes dos teores de sólidos e do potencial de produção de biogás por kg de sólidos totais.

2. Os teores de metano gerados a partir de dejetos de suíno e de suíno+ave foram de 72 e 69%, respectivamente.

3. O uso de distintas inoculações não influenciou o processo da biodigestão anaeróbica em relação aos parâmetros avaliados. Não houve efeito de interação entre os inoculantes e os substratos.

LITERATURA CITADA

- Achinas, S.; Achinas, V.; Euverink, G. J. W. A technological overview of biogas production from biowaste. *Engineering*, v.3, p. 299-307, 2017.
- Bułkowska, K.; Białobrzewski, I.; Gusiatin, Z. M.; Klimiuk, E.; Pokój, T. ADM1- based modeling of anaerobic codigestion of maize silage and cattle manure – calibration of parameters and model verification (part II). *Archives of Environmental Protection*, v. 41, p. 20–27, 2015.
- Duda, R. M.; Vantini, J. S.; Martins, L. S.; Varani, A. M.; Lemos, M. V. F.; Lemos, M. I. T.; Oliveira, R. A. A balanced microbiota efficiently produces methane in a novel high-rate horizontal anaerobic reactor for the treatment of swine wastewater. *Bioresource Technology*, v.197, p. 152–160, 2015.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Kit biogás portátil para análise de concentração de gás metano amônia e gás sulfídrico em biogás. <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/>>. 10 Out. 2018.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF : Embrapa, 2017. 573 p.
- Farias, R. M.; Orrico Junior, M.A.P.; Orrico, A.C.A.; Garcia, R.G.; Centurion, S.R.; Fernandes, A.R.M. Biodigestão anaeróbica de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. *Ciência Rural*, v.42, p.1089-1094, 2012.
- Galbiatti, J. A.; Caramelo, A. D.; Silva, F. G.; Gerardi, E. A. B.; Chiconato, D. A. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, , p.432–437, 2010.
- Jacques, R. J. S.; Bento, F. M.; Antonioli, Z. I.; Camargo, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, v.37, p.1192-1201, 2007.

- Kovács, E.; Wirth, R.; Maróti, G.; Bagi, Z.; Nagy, K.; Minárovits, J.; , G.; Kovács, K. L. Augmented biogas production from protein-rich substrates and associated metagenomic changes. *Bioresource Technology*, v.178, p.254–261, 2015.
- Liu, T.; Sun, L.; Müller, B.; Schnürer, A. Importance of inoculum source and initial community structure for biogas production from agricultural substrates. *Bioresource Technology*, v. 245, p. 768–777, 2017.
- Matter, J. M.; Costa, M.S.S. de M.; Costa, L. A. de M.; Pereira, D.C.; Varennes, A.; Terasso, D. Anaerobic co-digestion of hatchery waste and wastewater to produce energy and biofertilizer - Batch phase. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.21, p.651-656, 2017.
- Miah, M. R.; Rahman, A. K. M. L. Akanda, M. R. Pulak, A. Rouf, M. A. Production of biogas from poultry litter mixed with the co-substrate. *Journal of Taibah University for Science*, v. 10, p. 497–504, 2016.
- Miranda, A. P.; Lucas Júnior, J.; Thomaz, M. C.; Pereira, G. T.; Fukayama, E.H. Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with or sorghum. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 32, p. 47-59, 2012.
- Okonkwo, U. C.; Onokpote, E.; Onokwai, A.O. Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, v. 30, p.123-129, 2018.
- Orrico Júnior, M. A. P.; Orrico, A. C. A.; Lucas Júnior, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.31, p.399-410, 2011.
- Orrico Júnior, M. A. P.; Lucas Júnior, J.; Orrico, A. C. A. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.30, p.600-607, 2010.

- Scarlat, N.; Dallemand, J. F.; Fahl, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, v. 129, p.457-472, 2018.
- Sousa, F. A.; Campos, A. T.; Amaral, P. I. S.; Cecchin, D.; Veloso, A. V. Produção de biogás proveniente de camas sobrepostas de suínos. *Energ. Agric., Botucatu*, v. 32, p.229-236, 2017.
- Xavier, C. A. N.; Lucas Júnior, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.212-223, 2010.

ANEXO A

Metodologia para análise da composição dos gases com o kit biogás.

1. Faixa de análise de cada parâmetro:

Amônia (NH₃):

Cartela: Faixa 50: 15 – 525 ppmV / Faixa 20: 45 – 1310 ppmV

Gás Sulfídrico (H₂S):

Cartela: Faixa 5: 20 – 610 ppmV / Faixa 3: 30 – 1020 ppmV

– Tabela: Faixa 2: 50 – 1530 ppmV/ Faixa 1: 95 – 3060 ppmV

Gás Carbônico (CO₂):

0 – 100%, resolução 2,5%

2. Coleta de amostra:

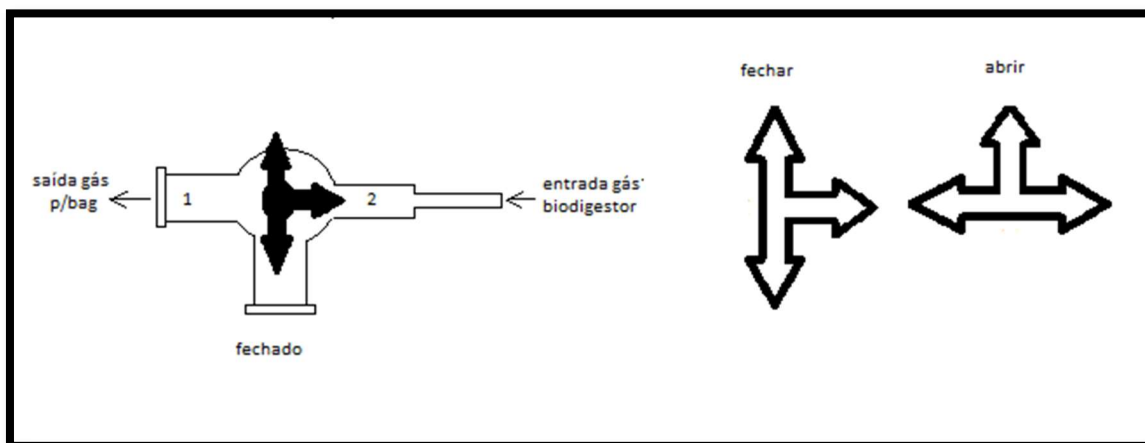
2.1 Ajustar as conexões entre o biodigestor e o amostrador de biogás (bag).

2.2 Caso o amostrador já tenha sido utilizado eliminar todo o gás antes da próxima amostragem, eliminando toda amostra anterior, evitando contaminação durante a análise.

Obs.: Para a retirada do biogás excedente no amostrador utilizar uma seringa limpa.

2.3. Para coletar o biogás, abrir a válvula de saída de gás para sair um pouco do biogás e então conectar a mangueira do amostrador, deixando a válvula aberta para encher até a metade. Descartar e encher novamente com o biogás para a análise, após fechar a válvula e retirar a conexão. É importante que as análises sejam feitas após a coleta do biogás.

Abaixo o esquema das válvulas para a coleta do biogás no biodigestor.



3. Determinação de amônia (NH₃):

A- Retenção:

3.1. Transferir a água deionizada para a cubeta plástica até a marca, adicionar 2 gotas da solução de Pré-Tratamento 1 e agitar para homogeneizar.

Obs.: serão utilizados 5 ml para determinar Amônia e 5 ml para determinar Gás Sulfídrico.

3.2. Com a seringa azul, transferir 5 mL da solução para a seringa coletora de amônia.

Desconectar as seringas. Caso o adaptador permaneça na seringa azul, recoloque na seringa coletora de amônia.

3.3. Conectar a seringa de amônia no amostrador, abrir a válvula e aspirar até 50 mL. Feche a válvula.

Obs.: Antes de conectar a seringa no amostrador, tirar o ar da mangueira do mesmo para evitar contaminação.

3.4. Sem desconectar, agitar o gás com a solução por 2 minutos, para que toda a amônia seja absorvida pela solução.

3.5. Após homogeneizar, posicionar a seringa para cima evitando perda de solução ao desconectar.

3.6. Transferir a solução para a cubeta de vidro, para a análise colorimétrica.

Obs.: Lavar os acessórios com água deionizada, imediatamente após o uso.

B- Análise colorimétrica:

3.7. Adicionar 3 gotas do reagente amônia Indotest 1 na cubeta de vidro com a amostra e em seguida agitar.

3.8. Adicionar 3 gotas do reagente Indost. 2 e agitar.

3.9. Adicionar 3 gotas do reagente Indotest 3 e agitar.

3.10. Aguardar o tempo de reação de 10 minutos.

3.11. Comparar a intensidade de cor desenvolvida com as cores da cartela e fazer a leitura da concentração de amônia em ppmV dos números em preto.

C - Resultado:

$\text{ppmV}(\text{mL.m}^{-3}) \text{ NH}_3 = \text{Leitura direta na cartela}$

Obs.: conforme a concentração de amônia no biogás pode-se coletar um volume menor de biogás com a seringa. Inicia-se a determinação conforme o procedimento. Se a leitura na cartela exceder, repetir a determinação utilizando 20 mL de biogás. Neste caso, utilizar a leitura dos números em vermelho da cartela. As leituras na cartela são para temperatura ambiente a 25°C, para outras temperaturas segue resultados na tabela abaixo.

AMÔNIA INDOTEST (NH ₃ ppmV) - 50 mL							
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	15	15	15	15	15	15	20
2	40	40	40	40	45	45	45
3	80	85	85	85	85	85	90
4	160	175	170	170	175	175	180
5	320	350	340	340	350	350	360
6	480	525	505	515	525	530	540

AMÔNIA INDOTEST (NH ₃ ppmV) - 20 mL							
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	40	40	40	40	45	45	45
2	100	100	105	105	110	110	110
3	200	205	210	215	220	220	225
4	400	410	420	430	435	440	450
5	810	830	840	850	875	880	900
6	1220	1240	1260	1280	1310	1330	1350

Exemplo:

4. Determinação de gás sulfídrico (H₂S):

A - Retenção:

4.1. Com a seringa de 10 mL coletar 5 mL da solução de Pré-Tratamento 1 que restou na análise de amônia.

4.2. Conectar no amostrador. Abrir a válvula e aspirar até 10 mL. Fechar a válvula.

Obs.: Antes de conectar a seringa no amostrador, tirar o ar da mangueira do mesmo para evitar contaminação.

4.3. Sem desconectar, agitar a amostra por 2 minutos para que a solução absorva o sulfeto.

4.4. Virar a seringa para cima, desconectar e transferir a solução para uma cubeta de vidro para análise colorimétrica.

Obs.: Lavar os acessórios com água deionizada, imediatamente após o uso.

Análise colorimétrica:

4.5. Adicionar 5 gotas do reagente Sulfeto 1 na cubeta com a amostra e agitar em seguida.

4.6. Adicionar 2 gotas do reagente Sulfeto 2 e agitar.

4.7. Aguardar o tempo de reação de 10 minutos.

4.8. Comparar a intensidade de cor desenvolvida com as cores da cartela e fazer a leitura da concentração de ácido sulfídrico em ppmV dos números em preto.

B - Resultado:

ppmV(mL.m⁻³) H₂S = Leitura direta na cartela.

Obs.: Conforme a concentração do ácido sulfídrico no biogás pode-se coletar um volume menor de biogás com a seringa. Inicia-se a determinação conforme o procedimento. Se exceder o valor lido na cartela >1020, repetir a determinação utilizando 3 mL de biogás, isto é, aspirar até 8 mL da seringa. Se continuar excedendo o valor, repetir com 2 mL, aspirando até a marca 7 mL na seringa. As leituras na cartela são para temperatura ambiente, para outras temperaturas segue resultados na tabela abaixo.

GÁS SULFÍDRICO (H ₂ S ppmV) - 2 mL							
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	45	45	50	50	50	50	50
2	90	90	95	95	95	95	95
3	180	180	190	190	190	190	195
4	360	360	370	380	380	390	395
5	535	545	550	570	575	580	590
6	710	730	740	750	765	780	790
7	1070	1090	1110	1130	1150	1160	1190
8	1430	1450	1480	1505	1530	1550	1580

GÁS SULFÍDRICO (H ₂ S ppmV) - 1 mL							
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	90	90	95	95	95	100	100
2	180	180	190	190	190	200	200
3	350	360	370	380	380	390	400
4	710	730	740	750	765	780	790
5	1070	1090	1110	1130	1150	1170	1185
6	1430	1450	1480	1505	1530	1560	1580
7	2140	2180	2220	2260	2290	2330	2370
8	2850	2910	2960	3010	3060	3110	3160

GÁS SULFÍDRICO (H ₂ S ppmV) - 5 mL							
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	20	20	20	20	20	20	20
2	35	40	40	40	40	40	40
3	70	75	75	75	75	75	80
4	140	145	150	150	152	155	160
5	210	220	220	225	230	235	240
6	285	290	295	300	305	310	320
7	430	435	440	450	460	465	475
8	570	580	590	600	610	620	630

GÁS SULFÍDRICO (H ₂ S ppmV) - 3 mL							
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	30	30	30	30	30	30	30
2	60	60	60	65	65	65	65
3	120	120	120	125	130	130	130
4	240	240	250	250	255	260	265
5	360	360	370	380	380	390	395
6	475	485	490	500	510	520	530
7	710	725	740	750	765	780	790
8	950	970	980	1000	1020	1240	1050

5. Determinação de gás carbônico (CO₂):

5.1 Verificar as posições das torneiras para entrada e saída ou passagem do biogás. Pôr o suporte na posição horizontal.

5.2. Transferir pequena quantidade da solução Pré-Tratamento 2 para a cubeta plástica grande. Com a seringa azul, coletar 5 mL da solução Pré-Tratamento 2 e conectar no suporte, deixando na posição em que a solução vai para a seringa plástica de CO₂ e transferir a solução para a seringa de gás carbônico. Fechar a conexão e retirar a seringa azul.

5.3. Em seguida, conectar o amostrador no suporte. Abrir a válvula e transferir o gás do amostrador para a seringa de vidro. Fechar a válvula do suporte e do amostrador.

Obs.: Antes de conectar a seringa no amostrador, tirar o ar da mangueira do mesmo para evitar contaminação.

5.4. Transferir o gás da seringa de vidro para a seringa de plástico.

5.5. Desconectar o amostrador de gás.

5.6. Ao terminar a transferência, não soltar a seringa de vidro, mas fechar imediatamente a conexão, para que o líquido da seringa de plástico não passe para a de vidro.

5.7. Agitar com cuidado o conjunto por 2 minutos (segurando as seringas no suporte).

5.8. Posicionar o suporte na posição vertical com a seringa de plástico para baixo. Em seguida, abrir a válvula entre as seringas e transferir todo o gás da seringa de plástico para a de vidro, empurrando o embola da seringa de plástico.

Obs. Ao final da passagem de gás, se necessário, inclinar o suporte de maneira e se transferir todo o gás para a seringa de vidro.

5.9. Ao término da transferência, fechar a conexão e fazer a leitura do volume de gás que voltou à seringa de vidro, resultando na porcentagem de gás carbônico e consequentemente de metano.

Resultado:

$\% \text{CO}_2 = \text{Leitura direta na escala do suporte}$

6. Determinação de gás metano (CH_4):

A diferença entre a porcentagem de gás carbônico é aproximadamente a porcentagem de gás metano.

Resultado:

$\% \text{CH}_4 = 100 - \text{Leitura da } \% \text{CO}_2$

ANEXO B

Consulta Dados da Estação Convencional: MACHADO (MG)

Data Inicial:

07/11/2018

Data Final:

16/12/2018

Data	Hora	Temperatura	Umidade	Pressão	Vento		Nebulosidade	Insolação	Dados diários		
	UTC	(°C)	(%)	(hPa)	Vel. (m/s)	Dir (°)	(Décimos)	(h)	Temperat. Máx. (°C)	Temperat. Mín. (°C)	Chuva (mm)
07/11/2018	00	20.2	92	916.6	1.54332	14	10	0.7	27.7		
07/11/2018	12	22.6	82	918.8	1.02888	9	9			18.4	0.2
07/11/2018	18	27.2	63	915.8	1.02888	5	8				
08/11/2018	00	19.5	93	919.5	1.02888	14	10	0	20.5		
08/11/2018	12	19.6	93	919	1.54332	14	10			17.7	10.3
08/11/2018	18	17.4	95	918.8	2.5722	9	10				
09/11/2018	00	16.2	94	919.9	1.02888	14	10		--		
09/11/2018	12	17.2	94	919.8	1.54332	14	10			15.1	22.0
09/11/2018	18	18.9	93	917.2	1.54332	9	10				
10/11/2018	00						0	0.4	23.6		
10/11/2018	12	19.2	92	916.7	0.51444	5	10			16.6	25.2
10/11/2018	18	23	72	915.8	1.02888	5	10				
11/11/2018	00	18.9	97	915.6	1.54332	5	6	2.7	28.5		
11/11/2018	12	20.4	92	915.2	1.02888	5	10			18.6	11.6
11/11/2018	18	22.6	87	913.2	1.02888	5	6				
12/11/2018	00	20	91	914.7	1.02888	14	0	5.6	31.2		
12/11/2018	12	24.2	80	916	1.02888	5	8			19.0	0.0
12/11/2018	18	30	52	914.4	1.02888	36	4				
13/11/2018	00	22	77	914.8	1.02888	14	0	4.5	30.9		
13/11/2018	12	23.2	85	918.2	1.02888	9	10			20.1	5.0
13/11/2018	18	30.2	60	915.1	1.54332	9	6				
14/11/2018	00	22.2	84	915.8	1.02888	14	0	8	31.8		
14/11/2018	12	26.4	75	916.8	1.02888	9	6			18.7	0.0
14/11/2018	18	30.2	56	912.3	1.54332	9	5				
15/11/2018	00	24	74	914.2	1.02888	27	6	3.8	31.4		
15/11/2018	12	27.2	74	913.2	1.02888	5	6			19.0	0.0
15/11/2018	18	30	58	911.2	1.54332	23	10				
16/11/2018	00	22.4	93	914.3	1.02888	23	9	5.9	32.1		
16/11/2018	12	24.6	85	917.6	1.02888	5	9			20.2	3.2
16/11/2018	18	30.8	60	914.3	1.02888	14	8				
17/11/2018	00	20.5	79	917.2	1.54332	5	10	0.5	25.1		
17/11/2018	12	23.6	76	920.8	1.54332	14	9			18.8	0.0
17/11/2018	18	30	54	913.9	1.54332	14	10				
18/11/2018	00	20.4	92	919.2	1.02888	5	5	3.1	29.6		
18/11/2018	12	24.2	75	919.5	1.54332	5	10			17.2	0.0
18/11/2018	18	26	67	914.7	1.54332	5	10				
19/11/2018	00	22	93	916.3	1.02888	5	10	0	25.1		
19/11/2018	12	21.6	93	916	1.02888	9	10			19.8	7.4
19/11/2018	18	20.2	92	915	1.02888	18	10				
20/11/2018	00	18.7	95	917	1.02888	23	10	0.2	21.1		
20/11/2018	12	18.2	98	918.6	2.5722	5	10			16.5	15.0

20/11/2018	18	20.2	94	916.7	1.54332	9	10				
21/11/2018	00	17.9	96	918.3	2.05776	23	10	0	20.0		
21/11/2018	12	18.5	97	919	1.02888	9	10			16.3	13.7
21/11/2018	18	19.4	96	917.5	1.02888	9	10				
22/11/2018	00	17.7	96	920	0.51444	9	10	3.2	27.5		
22/11/2018	12	19.7	87	920	0.51444	14	9			16.7	28.3
22/11/2018	18	25.4	67	916.7	1.54332	9	6				
23/11/2018	00	20.4	89	916.4	1.02888	14	4	4.5	28.2		
23/11/2018	12	22.4	87	917.2	1.02888	9	9			16.5	6.3
23/11/2018	18	26	70	914.6	1.54332	36	8				
24/11/2018	00	21.6	82	915.2	2.05776	5	10	0	21.2		
24/11/2018	12	19.2	98	916.3	1.54332	5	10			18.2	11.8
24/11/2018	18	19.8	93	914.8	2.05776	5	10				
25/11/2018	00	18.9	97	915.5	1.02888	5	10	2.1	25.3		
25/11/2018	12	19.4	98	917	0.51444	9	10			17.8	39.6
25/11/2018	18	20.2	92	915.1	1.54332	5	8				
26/11/2018	00	20	91	916.2	1.02888	5	8	3.2	27.8		
26/11/2018	12	20.8	91	918.6	1.02888	5	10			18.4	1.6
26/11/2018	18	26.8	63	916.3	0.51444	36	8				
27/11/2018	00	19.4	86	917.4	1.02888	23	0		--		
27/11/2018	12	23.6	73	919.6	1.54332	5	8			16.8	0.2
28/11/2018	00						0	9.5	29.6		
29/11/2018	00	20.8	68	916.3	1.02888	5	0	8.9	31.7		
29/11/2018	12	24.8	62	917.8	0.51444	5	4			16.2	0.0
29/11/2018	18	29.8	46	913.8	1.02888	5	5				
30/11/2018	00	22.8	74	913.6	1.02888	23	8	8.7	32.7		
30/11/2018	12	26	64	913.9	1.02888	5	3			18.5	0.0
30/11/2018	18	29.8	51	909.9	1.54332	9	6				

Dezembro/2018.

02/12/2018	12	24.8	81	911.8	1.02888	9	8			18.3	19.0
02/12/2018	18	26.8	72	910.2	1.54332	14	10				
03/12/2018	00						0	5	28.4		
03/12/2018	12	23.2	76	913.1	1.02888	5	6			17.9	10.8
03/12/2018	18	27	64	910	1.02888	5	8				
04/12/2018	00	22.4	80	911.1	1.02888	5	6	5.3	30.1		
04/12/2018	12	21.2	81	912.7	1.54332	9	10			18.1	0.0
04/12/2018	18	28.6	55	909.9	1.54332	9	4				
05/12/2018	00	21.4	78	910.6	1.02888	5	0	8.9	31.6		
05/12/2018	12	25.8	69	913.5	1.02888	5	10			16.8	0.0
05/12/2018	18	29	59	911	1.54332	9	6				
06/12/2018	00	21	87	915.2	1.02888	14	0	8.8	32.6		
06/12/2018	12	24.2	75	916	0.51444	5	8			17.6	0.0
06/12/2018	18	33.3	43	913.5	1.02888	14	6				
07/12/2018	00	23	73	914.6	1.02888	5	8	7.1	30.6		
07/12/2018	12	25	79	915.9	1.02888	9	6			18.0	2.4
07/12/2018	18	27	62	913.6	1.02888	5	10				
08/12/2018	00	21.8	87	915.6	1.02888	14	8	10	27.6		
08/12/2018	12	22.6	67	919.5	1.54332	14	6			16.2	0.6
08/12/2018	18	26.8	47	916	1.54332	5	4				
09/12/2018	00	18.9	69	918.6	2.05776	14	10	8.6	27.8		
09/12/2018	12	19	69	921.5	1.02888	5	8			11.6	0.0
09/12/2018	18	27	34	919.5	1.54332	5	5				

10/12/2018	00	18.3	77	922.3	1.02888	5	4	5.7	28.7		
10/12/2018	12	20.2	77	924.8	1.02888	5	9			16.8	0.
10/12/2018	18	27.4	52	921	1.02888	5	5				
11/12/2018	00	20.4	71	922.3	1.02888	5	3	8.1	31.5		
11/12/2018	12	23	72	923.5	1.02888	9	8			15.0	0.
11/12/2018	18	30	45	913.2	1.02888	9	4				
12/12/2018	00	21	70	919.6	0	0	0	9	32.8		
12/12/2018	12	25.2	68	921.8	1.02888	9	5			15.3	0.
12/12/2018	18	31	46	917.4	1.02888	36	3				
13/12/2018	00	22.8	67	917.4	1.02888	14	0	8.7	32.1		
13/12/2018	12	25.4	67	919.9	1.02888	5	3			17.3	0.
13/12/2018	18	31.4	48	916.8	1.02888	9	5				
14/12/2018	00	18.7	90	918.3	1.54332	14	10	8.7	32.1		
14/12/2018	12	24.6	68	919.4	1.02888	9	3			15.7	35.
14/12/2018	18	30.3	52	917.2	1.02888	9	5				
15/12/2018	00	21.8	79	919.9	1.02888	14	3	9.1	33.1		
15/12/2018	12	22.5	85	921.6	0.51444	9	4			17.7	0.
15/12/2018	18	32	39	915.6	1.02888	5	5				
16/12/2018	00	23.6	69	920.3	1.02888	14	6		--		
16/12/2018	12	25.2	80	921.4	1.02888	5	8			19.7	14.
16/12/2018	18	32.6	53	921.4	1.02888	5	4				

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>