



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

RUBIA GODOY HOFFMANN

ESTUDO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA E DILUIÇÃO DOS DEJETOS
SUÍNOS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS

CERRO LARGO

2019

RUBIA GODOY HOFFMANN

**ESTUDO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA E DILUIÇÃO DOS DEJETOS
SUÍNOS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul como requisito para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Boneberger Behm

Coorientadora: Ms. Vera Analise Schommer

CERRO LARGO

2019

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Hoffmann, Rubia Godoy

ESTUDO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA E DILUIÇÃO DOS
DEJETOS SUÍNOS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS / Rubia Godoy
Hoffmann. -- 2019.

53 f.:il.

Orientador: Doutorado Mariana Boneberger Behm.

Co-orientador: Mestrado Vera Analise Schommer.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro Largo, RS ,
2019.

1. Biogás. 2. Temperatura. 3. Diluição. 4.
Biodigestor. 5. Meio Ambiente. I. Behm, Mariana
Boneberger, orient. II. Schommer, Vera Analise,
co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul.
IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RUBIA GODOY HOFFMANN

**ESTUDO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA E DILUIÇÃO DOS DEJETOS
SUÍNOS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de título de Engenheira Ambiental e Sanitarista da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientadora: Mariana Boneberger Behm.

Coorientadora: Vera Analise Schommer.

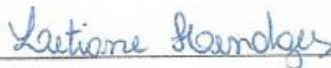
Este trabalho de conclusão de curso foi definido e aprovado pela banca em:

05 / 07 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Mariana Boneberger Behm – UFFS



Mestranda Letiane Thomas Hendges - UFSC



Prof. Dr. Bruno München Wenzel - UFFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente as pessoas sem as quais este trabalho não seria possível, principalmente minha orientadora Mariana Boneberger Behm e minha coorientadora Vera Analise Schommer, que estiveram ao meu lado em todos os momentos me auxiliando de todas as formas possíveis. A Morgana Maciel Oliveira, por se dispor a auxiliar e sempre estar disposta neste projeto como voluntária.

Aos meus pais, Alfredo e Elizete pelos exemplos de vida e pelo constante apoio. A minha irmã Katilene Hoffmann, por sempre me incentivar e me apoiar, você é meu maior exemplo e minha melhor amiga.

As minhas amigas Carolina Becker, Janine Liara e aos demais por terem paciência nos meus momentos bons e ruins. Ao meu namorado e amigo Tiago Santinon por fazer de tudo para me ajudar e ser meu companheiro de todas as horas.

A Universidade Federal da Fronteira Sul, aos professores e técnicos pelo constante aprendizado, apoio e base.

“Não tenho vestido, exceto o que uso todos os dias. Se você for gentil o bastante para me dar um, por favor, deixe-o ser prático e escuro para que eu possa colocá-lo depois para ir ao laboratório”. (Marie Curie, 1937)

RESUMO

A geração de biogás surge como alternativa tecnológica ambientalmente adequada para destinação e aproveitamento energético de dejetos, oriundos da criação de animais. Visto que é crescente a contaminação do meio ambiente, devido à antropização provocada pelo ser humano e suas atividades geradoras de impacto, sendo a contaminação dos rios e lençóis que abastecem tanto o meio rural, quanto urbano, por dejetos de animais, um dos principais impactos gerados no meio rural. Ademais, há a possibilidade de redução de gastos associados à compra de gás liquefeito de petróleo (GLP), fertilizantes, além da opção de uso do calor liberado na queima do biogás em processos industriais ou na geração de eletricidade. Entretanto, o escopo deste trabalho é a geração de biogás e os efeitos que o mesmo sofre devido à temperatura e a diluição da biomassa (dejeito suíno), produzido através do processo de digestão anaeróbia, que favorece microrganismos anaeróbios, capazes de consumir a matéria orgânica presente no dejeito suíno e em seu processo metabólico produzem metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e outros gases em concentração geralmente irrelevante, sendo o CH_4 o gás com valor energético de interesse. Embora haja muitos fatores que influenciam na produção de CH_4 , nesta pesquisa busca-se dar enfoque aos efeitos térmicos da biomassa e da diluição da mesma, em razão de que baixas temperaturas, como são observadas principalmente no Sul do Brasil em determinadas estações do ano, ocorre à inativação térmica das bactérias, reduzindo drasticamente a produção do gás. Além disso, a presença de água é essencial no processo metabólico das bactérias para produção de CH_4 . Portanto, diferentes diluições (Bruto, 1:0,5, 1:1, 1:1,5 e 1:2) e temperaturas (30 °C, 35 °C e 40 °C) foram avaliadas, para por fim, determinar quais são as condições adequadas para propiciar uma maior produção de biogás. Neste estudo, o rendimento de CH_4 foi o menor na temperatura de 30 °C e as diferentes diluições não apresentaram grande variação de produção. Por outro lado, nas temperaturas de 35 °C e 40 °C, sendo a temperatura 35 °C a que apresentou maior produção, a diluição se mostrou importante para um alto rendimento. As análises realizadas foram de DQO, ST, SF, SV e pH, além de um método específico apresentado ao longo do trabalho para medição do CH_4 .

Palavras-chave: Biogás. Biodigestor. Meio ambiente. Diluição. Temperatura.

ABSTRACT

Biogas generation emerges as an environmentally appropriate technological alternative for the disposal and energetic use of manure from animal husbandry. Since the contamination of the environment is increasing, due to the human-induced anthropization and its activities that generate impact, being the contamination of rivers and sheets that supply both rural and urban environments with animal waste, one of the main impacts generated in rural areas. In addition, there is the possibility of reducing expenses associated with the purchase of liquefied petroleum gas (LPG), fertilizers, as well as the option of using the heat released in the biogas burning in industrial processes or in the generation of electricity. However, the scope of this work is the generation of biogas and its effects due to the temperature and the dilution of the biomass (pig slurry) produced by the anaerobic digestion process, which favors anaerobic microorganisms capable of consuming organic matter present in the swine waste and in its metabolic process produce methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2) and other gases in a generally irrelevant concentration, with CH_4 being the energetic gas of interest. Although there are many factors that influence the production of CH_4 , this research seeks to focus on the thermal effects of biomass and its dilution, as low temperatures, as observed mainly in southern Brazil in certain seasons of the year, occurs to the thermal inactivation of bacteria, drastically reducing gas production. In addition, the presence of water is essential in the metabolic process of bacteria to produce CH_4 . Therefore, different dilutions (Gross, 1:0.5, 1:1, 1:1.5 and 1:2) and temperatures (86 °F, 95 °F and 104 °F) were evaluated to finally determine which the appropriate conditions to provide greater biogas production. In this study, the yield of CH_4 was the lowest at the temperature of 86 °F and the different dilutions did not show great variation of production. On the other hand, at temperatures of 95 °F and 104 °F, with the temperature being 95 °F at which it presented the highest production, the dilution proved to be important for a high yield. The analyzes performed were of COD, TS, FS, VS and pH, besides a specific method presented during the work to measure CH_4 .

Keywords: Biogas. Biodigestor. Environment. Dilution. Temperature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais problemas a serem resolvidos no manejo dos dejetos suínos.....	21
Figura 2 – Fases da digestão anaeróbia.....	23
Figura 3 – Sistema de reatores com dejetos em incubadora conectados a um sistema de medição de biogás.....	24
Figura 4 – Sistema utilizado nos experimentos de produção de metano. (A) Visão geral; (B) Disposição dos reatores anaeróbios no interior da estufa; (C) Detalhe dos reatores contendo inóculo (dejetos suínos) e substratos (pena de galinha); (D) Sistema de lavagem de biogás e medição do metano produzido.....	25
Figura 5 – Biodigestor modelo contínuo.....	26
Figura 6 – Efeito da temperatura da biomassa sobre a produção de biogás.....	38
Gráfico 1 – Curva de calibração da Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	34
Gráfico 2 – Produção acumulada de CH ₄ , baseada nos SV no processo de digestão anaeróbia a 30 °C, por 30 dias.....	39
Gráfico 3 – Produção acumulada de metano baseada nos SV no processo de digestão anaeróbia a 35 °C por 30 dias.....	41
Gráfico 4 – Produção acumulada de metano baseada nos SV no processo de digestão anaeróbia a 40 °C por 30 dias.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção média diária de esterco suíno nas diferentes fases produtivas dos mesmos.....	19
Tabela 2 – Composição média dos efluentes agropecuários de acordo com o tipo de animal.....	19
Tabela 3 – Características dos dejetos frescos de suínos, considerando-se apenas esterco e urina, expresso por 1.000 kg de peso vivo.....	20
Tabela 4 – Composição da mistura gasosa do biogás.....	22
Tabela 5 - Diluições em água destilada dos dejetos suínos e exemplificação das proporções.....	31
Tabela 6 – Produção acumulada de metano ($L\ CH_4/g\ SV_{inicial}$) nas temperaturas e diluições analisadas neste estudo.....	37
Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos no tempo inicial e sua redução/alteração, ao final de 30 dias de digestão anaeróbia, sob 30 °C.....	39
Tabela 8 – Parâmetros físico-químicos no tempo inicial e sua redução/alteração ao final de 30 dias de digestão anaeróbia sob 35 °C.....	41
Tabela 9 – Parâmetros físico-químicos no tempo inicial e sua redução/alteração, ao final de 30 dias de digestão anaeróbia, sob 40° C.....	43

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Esterqueira onde as amostras de dejetos suíno foram coletadas periodicamente (esquerda) e suínos confinados na propriedade em que as amostras foram coletadas (direita)...	28
Imagem 2 – Esquema de montagem dos reatores anaeróbios.....	31
Imagem 3 – Sistema implantado de medição de CH ₄ , através do deslocamento de NaOH.....	33
Imagem 4 – Aparência das amostras depois de passarem pelo bloco digestor.....	34
Imagem 5 – Cadinhos após dois dias na estufa, prontos para incineração.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

λ – Comprimento de onda

°C – Graus Celsius

DQO – Demanda Química de Oxigênio

et al. – e outros

g – Gramas

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

h – horas

Kg – Quilogramas

kg dejetos/1000 kg de animal vivo – Quilogramas de dejetos a cada 1000 quilogramas de animal vivo

Kg/d/animal – Quilogramas por dia por animal

kWh – Kilowatt-hora

L – Litros

L CH₄/g SV_{inicial} – Produção acumulada de metano em litros de metano por gramas de sólidos voláteis no início

L/d/animal – Litros por dia por animal

Nm – Nanômetros

m – Massa

mol/L – Concentração por quantidade de matéria

m³ – Metro cúbico

m³/d – Metro cúbico por dia

mg/L – Miligrama por litro

mgO₂/L – Miligrama de Oxigênio por litro

pH – potencial de Hidrogênio

ST – Sólidos Totais

SF – Sólidos Fixos

SV – Sólidos Voláteis

UV-Vis – Ultravioleta-Visível

V – Volume

% – Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO	18
3.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE DEJETOS POR SUÍNOS	18
3.3 PROBLEMÁTICA DOS DEJETOS DE SUÍNOS	20
3.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	22
3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE DEJETOS LÍQUIDOS	25
3.5.1 Esterqueiras	26
3.5.2 Biodigestores	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 DEJETOS DE SUÍNOS	28
4.2 PRINCIPAIS TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS REALIZADOS NAS ANÁLISES DE DEJETOS SUÍNOS	29
4.2.1 Determinação de pH	29
4.2.2 Espectroscopia eletrônica da região do Ultra Visível (UV-Vis)	29
4.2.3 Demanda química de oxigênio (DQO)	29
4.2.4 Análises de sólidos totais, fixos e voláteis	30
4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	30
4.3.1 Coleta das amostras	30
4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	31
4.5 METODOLOGIAS ANALÍTICAS	33
4.5.1 Análise de Demanda Química de Oxigênio	33
4.5.2 Análise de sólidos totais, fixos e voláteis	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

Diesel, Miranda e Perdomo (2002), afirmam que diagnósticos recentes têm demonstrado um alto nível de contaminação dos rios e lençóis de águas superficiais, que abastecem tanto o meio rural, quanto o meio urbano. Portanto, Froehlich e Diesel (2006) apresentam a necessidade de identificação de tendências e alternativas tecnológicas capazes de solucionar os constantes desafios na preservação do meio ambiente.

Do ponto de vista ambiental, a maior preocupação sobre o crescimento da atividade agropecuária brasileira recai sobre o sistema de produção de animais em regime de confinamento, representado no Brasil principalmente por suínos, que, a depender da escala, produz grande volume de dejetos restritos a pequenas áreas. Isso requer manejo e controle ambiental dos confinamentos e ambos devem acompanhar de forma paralela o salto tecnológico da produção. Destaca-se assim, a problemática da destinação das fezes produzidas durante e após o confinamento dos animais (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009).

De acordo com relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2018), a produção de carne suína no ano de 2017 foi de 3.758.000 toneladas, colocando o Brasil na quarta posição de produção, sendo a região sul do País representou 68,92 % do abate de suínos.

O manejo dos dejetos (esterco) faz parte de qualquer sistema de criação de suínos e deve estar incluído no planejamento desta atividade. O tipo de sistema de tratamento a ser escolhido é baseado em vários fatores, tais como: potencial de poluição, necessidade de mão de obra, área disponível, operacionalidade do sistema, legislação, confiabilidade e viabilidade econômica de implantação (SILVA, 2013).

Nesse contexto, a digestão anaeróbia surge como uma alternativa tecnológica para disposição ambientalmente adequada de dejetos, inclusive os dejetos suínos. É um processo simples de degradação da matéria orgânica através da ação de microrganismos, na ausência de oxigênio, gerando dois produtos de grande valor energético: o biogás e um líquido efluente, utilizado comumente na agricultura como biofertilizante. A composição do biogás varia de acordo com as características do dejetos (biomassa) (ABBASI; TAUSEEF; ABBASI, 2012).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) define, em sua resolução nº 685 de 29 de junho de 2017, que o biogás como sendo um gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos.

O emprego de biodigestores anaeróbios como parte integrante do processo produtivo pode representar uma importante fonte de renda ou de economia nas propriedades rurais. De modo geral, a implantação de biodigestores em qualquer setor agrega vantagens econômicas e ambientais (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009).

Atualmente, o processo de digestão anaeróbia para obtenção de biogás a partir de dejetos suínos é a chave para um sistema de produção com maior sustentabilidade, devido à redução do uso de energias convencionais e fertilizantes comerciais, além de fornecer um método altamente eficiente para reciclagem de recursos e fechamento do ciclo de produção (ABBASI; TAUSEEF; ABBASI, 2012).

Corroborar-se com Resende et al. (2015), quando afirmam que os biodigestores (reatores) são câmaras que realizam a fermentação anaeróbia da matéria orgânica, ou seja, digestão anaeróbia, produzindo assim biogás. O processo de digestão anaeróbia consiste ainda, na transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), através da ação combinada de diferentes microrganismos que atuam na ausência de oxigênio.

Existem dois modelos usuais de reatores, um é chamado de batelada, porque o reator é carregado com a biomassa de interesse e, após certo período de reação, é descarregado. O outro é chamado de contínuo (canadense), devido ao escoamento que ocorre de forma contínua, sendo assim, a reação é induzida a ocorrer em uma velocidade maior para que a taxa de reação obtida através da biomassa seja a mais alta possível. No Brasil, o modelo canadense foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade. Entretanto, os reatores em batelada são os mais aplicados em escala laboratorial, porque podem ser utilizados para reações de pequena escala, além de maior praticidade.

O biogás liberado pela atividade de fermentação anaeróbia do dejetos possui elevado poder energético, sendo semelhante ao Gás Natural ou ao Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), podendo substituí-los em muitas aplicações, além de ser renovável e podendo ser produzido em todos os locais onde haja disponibilidade de biomassa. No meio rural, pode atender quase que totalmente às necessidades energéticas básicas, tais como: cozimento, iluminação e geração de energia elétrica. O tamanho do biodigestor deve estar de acordo com as necessidades energéticas da propriedade, com a capacidade de consumo do biogás produzido, com o número de animais existentes e com a área disponível para aplicação do biofertilizante (RESENDE et al., 2015).

Muitos são os fatores que podem influenciar na produção de biogás, incluindo a biomassa utilizada, como citado anteriormente. Entretanto, o escopo deste trabalho foi em relação aos efeitos causados pela variação da temperatura e da diluição da biomassa, neste caso, dejetos suíno.

Segundo Mafaciolli (2014),

O processo de digestão anaeróbia é influenciado por fatores como a temperatura, carga orgânica aplicada e presença de materiais tóxicos. Em temperaturas elevadas, as reações biológicas ocorrem com maior velocidade, resultando em maior eficiência do processo. Geralmente o processo anaeróbio desenvolve-se em temperaturas mesófilas (30 °C a 45 °C) ou termófilas (45 °C a 60 °C). Quanto à carga orgânica, a digestão anaeróbia suporta variações, principalmente se os reatores encontram-se operando em estado de equilíbrio (MAFACIOLLI, 2014, p. 33).

Assim, foram realizados experimentos laboratoriais em diferentes temperaturas e diluições, para por fim, determinar quais serão as condições adequadas para propiciar uma maior produção de biogás.

As temperaturas baixas não são adequadas (causam inativação térmica dos microrganismos responsáveis pela produção de biogás), pois estudos precedentes relatam faixas ótimas de geração de biogás entre 30 °C a 45 °C (fase mesófila), dependendo das espécies bacterianas mais regulares na região. Deste modo, os experimentos abrangeram esta faixa de temperatura (RIZZONI et al., 2012).

Além disso, altas diluições causam o arraste dos microrganismos para fora do reator, como no caso de reatores do tipo contínuo. Já os reatores do tipo batelada não propiciam o arraste dos microrganismos para fora do reator, sendo assim, esse fator não será considerado, mesmo sendo imprescindível em aplicações reais. Portanto, foi levada em consideração a diluição ideal encontrada, independente do arraste que pode ser gerado em uma aplicação real, visto que o reator do tipo batelada será o utilizado neste estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência das possíveis variáveis (temperatura e diluição) nos dejetos suínos como biomassa, relacionando com os efeitos na produção de biogás.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análises físico-químicas em amostras de dejetos suínos e identificar a influência destes fatores na capacidade de geração de biogás, obtendo assim, as melhores condições para maximizar a produção;
- Submeter e analisar o dejetos suíno à diferentes temperaturas e diluições;
- Fazer medidas de controle de pH nas amostras;
- Realizar análises de Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF), Sólidos Voláteis (SV) e Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- Estimar a produção de biogás em dejetos de suínos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO

Palhares (2008) descreve biodigestores como “tecnologias ganha-ganha” (“*win-win technologies*”), visto que este tipo de tecnologia insere que ambos, meio ambiente e economia, teriam benefícios com sua utilização. Neste tipo de tecnologia há um tratamento dos dejetos animais com produção de biogás e biofertilizante, além da possibilidade de geração de créditos de carbono. Tecnologias com estas características são mais facilmente aceitas do que uma tecnologia que só traga benefícios para o ambiente, mas que economicamente represente um impacto na rentabilidade da produção.

Resende et al. (2015), afirma que as principais vantagens que justificam a implantação de um biodigestor para produção de biogás estão relacionadas ao fornecimento de combustível, energia e biofertilizantes no meio rural a partir dos dejetos suínos, consequentemente obtendo redução do poder poluente e do nível de patógenos ao submeter os dejetos à biodigestores, além da correta destinação de matéria orgânica potencialmente contaminante. Entretanto, cita como desvantagens que processo de fermentação anaeróbia é lento, pois depende da ação de bactérias metanogênicas (responsáveis pela geração do biogás), o qual se reflete num tempo longo de retenção dos sólidos, e a necessidade de homogeneização dos dejetos para garantir a eficiência do sistema.

Keymer e Reinhold (2006) analisaram economicamente a produção de energia elétrica e calor em dois projetos de biodigestores implantados na Alemanha. No primeiro projeto, foi avaliada a geração de 55 kWh a partir do biogás produzido por dejetos de bovinos. No segundo, utilizaram-se dejetos de suínos e dejetos bovinos, sendo avaliada a geração de 330 kWh. A energia elétrica e o calor gerado foram utilizados na produção agropecuária e a energia excedente foi comercializada. A viabilidade ocorreu pelo aporte de subvenções do governo a projetos de geração de energias renováveis. Sendo assim, os autores concluíram que a viabilidade de implantação depende principalmente de subsídios.

3.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE DEJETOS POR SUÍNOS

A geração de dejetos suíno pode ser estimada geralmente com base no número de matrizes (porcas reprodutoras) e animais em estadia. Quando estimamos a quantidade de dejetos gerados pelas matrizes, consideramos o tempo de maternidade (a porca e mais 12 leitões

estimados) e a creche (leitões em creche), sendo que após isso o ciclo recomeça. Para animais não gestantes, consideramos apenas o tempo em dias de estadia dos animais. Atualmente podemos contar com bibliografias confiáveis, para a estimativa de geração de dejetos (Tabela 1) (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

Tabela 1 – Produção média diária de esterco suíno nas diferentes fases produtivas dos mesmos

Categoria	Esterco (kg/d/animal)	Esterco e urina (kg/d/animal)	Dejetos suínos (L/d/animal)
Suínos (25 a 100 Kg)	2,30	4,90	7,00
Porca em gestação	3,60	11,00	16,00
Porca em lactação e 12 leitões	6,40	18,00	27,00
Cachaço	3,00	6,00	9,00
Leitões em creche	0,35	0,95	1,40

Fonte: Adaptado de DIESEL, MIRANDA e PERDOMO (2002).

A tabela 2 apresenta uma média de alguns parâmetros variáveis nos dejetos, que são importantes indicativos para controle da poluição ambiental e também podem ser relacionados com a quantidade de biogás que pode ser gerada, fazendo uma comparação entre os dejetos das criações de animais mais relevantes para a pecuária brasileira, como é o caso dos suínos (PRÁ, et al., 2017).

Tabela 2 – Composição média dos efluentes agropecuários de acordo com o tipo de animal

Variáveis (kg dejeito/1000 kg de animal vivo)	Tipo de animal ¹			
	Gado de leite	Gado de corte	Frango de corte	Suíno
Dejeito Total	86,0	58,0	85,0	84,0
Sólidos Totais	12,0	8,50	22,0	11,0
Sólidos Voláteis	10,0	7,2	12,0	8,50
DQO	11,0	7,80	1,6	8,4
pH	7,0	7,0	*	7,5

¹ Todos os valores em peso úmido.

* Não analisado.

Fonte: Adaptado de PRA et al. (2017).

Quanto às características físico-químicas dos dejetos (Tabela 2), estas estão associadas ao sistema de manejo dos animais adotado e aos aspectos quantitativos e qualitativos das rações usadas, apresentando grandes variações na concentração dos seus elementos entre produtores e dentro da própria granja.

Já a tabela 3 apresenta as características dos dejetos de suínos sem considerar a diluição que possa ocorrer pelo excesso de água desperdiçada na limpeza e pelos bebedouros. O uso dos dados da tabela 3 facilita a estimativa das características físico-químicas dos dejetos de suínos. Tomamos como exemplo um suíno com 90 kg, para exemplificarmos o uso da referida tabela, procedendo-se da seguinte maneira:

Tabela 3 – Características dos dejetos frescos de suínos, considerando-se apenas esterco e urina, expresso por 1.000 kg de peso vivo

Parâmetro	Unidade	Valor	Desvio Padrão
Volume total	Kg	84	24
Urina	Kg	39	4,8
Densidade	Kg/m ³	990	24
Sólidos totais	Kg	11	6,3
Sólidos voláteis	Kg	8,5	0,66
DQO	Kg	8,4	3,7
pH	Kg	7,5	0,57

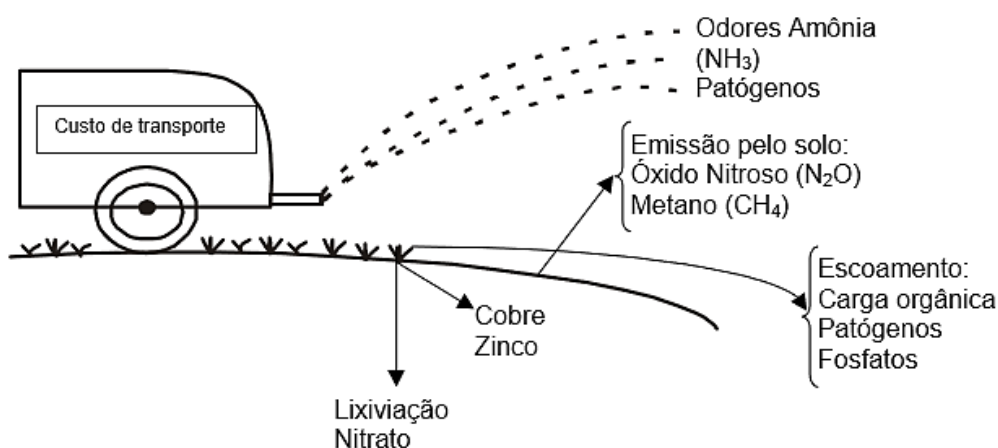
Fonte: ASAE (1993).

3.3 PROBLEMÁTICA DOS DEJETOS DE SUÍNOS

Diesel, Miranda e Perdomo (2002) inferem que, em termos comparativos, a capacidade poluente dos dejetos suínos é muito superior à de outras espécies, utilizando o conceito de equivalente populacional, em que um suíno em média, equivale a 3,5 pessoas. Os principais constituintes dos dejetos suínos que afetam as águas superficiais são a matéria orgânica, os nutrientes, as bactérias fecais e os sedimentos. Entre estes, nitratos e bactérias são os componentes que mais afetam a qualidade da água subterrânea. Além disso, a produção de suínos gera odor desagradável, decorrente da evaporação dos compostos voláteis contidos nos dejetos, que causam efeitos prejudiciais à saúde humana e animal.

As principais preocupações em relação ao meio ambiente devido ao manejo inadequado dos dejetos de suínos são representadas na figura 1. O destino dos dejetos, na maior parte dos casos, é ser utilizado como fertilizante agrícola, gerando um alto risco de contaminação do meio.

Figura 1 – Principais problemas a serem resolvidos no manejo dos dejetos suínos



Fonte: CAVALETTI (2014).

Os contaminantes do ar mais comuns são a amônia (NH₃), o metano (CH₄), os ácidos graxos voláteis, sulfeto de hidrogênio ou ácido sulfídrico (H₂S), monóxido de dinitrogênio (N₂O), o etanol (C₂H₅OH), o propanol (C₃H₇OH). A emissão de gases pode causar graves prejuízos nas vias respiratórias do homem e animais, bem como a formação de chuva ácida através de descargas de amônia na atmosfera, além de contribuírem para o aquecimento global da terra (PERDOMO, 1999).

Estudos apontam a produção animal como uma das principais emissoras de Gases de Efeito Estufa (GEE), motivando movimentos populares para a redução e exclusão do consumo de carne. A pecuária é responsável por grande parte dessa emissão de GEE, sendo que 9% são atribuídos à produção de suínos. Deste montante de 9%, 16% são responsabilizados pela produção de CH₄ devido ao manejo inadequado de dejetos (GERBER et al., 2013).

Devido a isso, o grande desafio resulta em utilizar corretamente os dejetos e tratar o excesso de acordo com os padrões de emissão da Legislação Ambiental em vigor. Sabe-se que os parâmetros cobrados pela legislação estão se tornando cada vez mais restritivos, bem como, na maioria dos casos, não há disponibilidade de áreas cultiváveis que viabilizem a disposição dos efluentes no solo (CONAMA, 2011).

3.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Oliveira (1993) infere que o poder energético do esterco suíno precisa ser considerado, pois 1 m³ de esterco é capaz de produzir em torno de 0,5 m³ de biogás, sendo 1 m³ de biogás equivalente energético a 0,66 L de diesel ou 0,70 L de gasolina. Considerando o poder energético, a composição da mistura gasosa do biogás a partir do dejetos suíno, é formada basicamente pelos gases citados na tabela 4.

Tabela 4 – Composição da mistura gasosa do biogás

Gases	Intervalo (%)
Metano (CH ₄)	40 – 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 40
Hidrogênio (H ₂)	1 – 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 – 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 – 1
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH ₃)	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,1

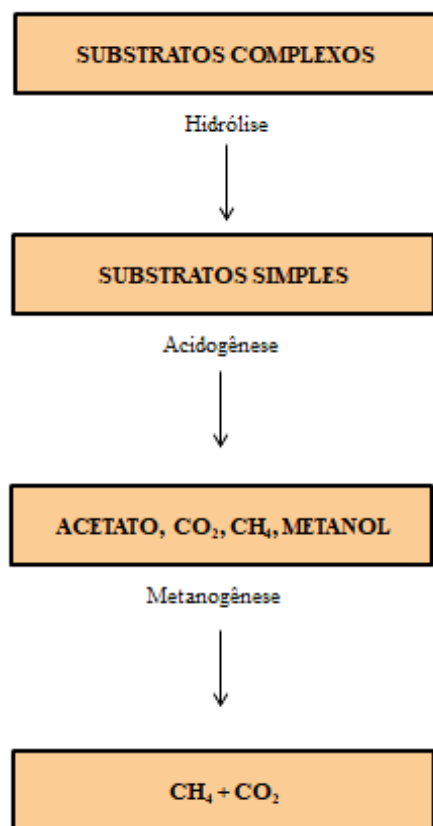
Fonte: Adaptado de RIZZONI (2012).

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, composto por várias reações sequenciais, cada uma com sua população microbiana específica. Para a digestão anaeróbia de material orgânico complexo, como proteínas, carboidratos e lipídios, podem-se distinguir quatro etapas diferentes no processo global da conversão (TAVARES, 2016).

Mafaciolli (2014) também afirma que a produção de biogás pode ser descrita pelas quatro fases de digestão anaeróbia. A hidrólise, realizada por bactérias anaeróbias, é a primeira fase, em que ocorre a divisão (quebra) de um composto com água, como hidratos de carbono, gorduras e proteínas. A segunda fase é a acidogênese, em que os compostos anteriormente transformados em solúveis são degradados através da fermentação.

Este processo resulta na terceira fase, sendo esta, a produção de CO₂, acetato e outros compostos. A última fase é a metanogênese, que resulta na formação de CH₄, principalmente, a partir do acetato formado na fase anterior (MAFACIOLLI, 2014).

Figura 2 – Fases da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de MAFACIOLLI (2014).

Campos (2005), afirma que a atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10 °C e nula acima dos 65 °C. A faixa dos 20 °C a 45 °C corresponde à fase mesófila, enquanto entre os 50 °C e os 65 °C temos a fase termófila. No entanto, Mafaciolli (2014), como citado anteriormente, afirma que o processo de digestão anaeróbia se desenvolve em temperaturas mesófilas de 30 °C a 45 °C ou termófilas (45 °C a 60 °C). Quanto à carga orgânica, a digestão anaeróbia suporta variações, principalmente se os reatores encontram-se operando em estado de equilíbrio.

Segundo Mafaciolli (2014), a metodologia para quantificar biogás constituiu em conectar mangueiras dos biodigestores a um sistema de medição de biogás, ou seja, método potencial bioquímico de metano. O sistema é composto por um tubo de ensaio, um sensor óptico específico (*Advanced Gasmitter*) para medição de metano, uma esfera de isopor e um circuito eletrônico que registra a passagem do biogás pelo sistema (Figura 3).

Figura 3 – Sistema de reatores com dejetos em incubadora conectados a um sistema de medição de biogás



Fonte: MAFACIOLLI (2014).

O princípio de funcionamento do dispositivo utilizado por Mafaciolli (2014) foi de deslocamento de fluidos, sendo que a quantificação do biogás foi realizada quando, à medida que os tubos de ensaio eram cheios, deslocava fluido nele contido (água) e elevava o nível de fluido no lado oposto, sendo este detectado por um sensor óptico o qual enviava essa informação ao um circuito eletrônico do sistema.

Já Schommer (2019), submeteu reatores com dejetos suíno (substrato) e pena de frango (co-substrato). Além disso, utilizou em seu sistema, assim como Mafaciolli (2014), o princípio de deslocamento de fluidos. Neste caso, o fluido utilizado foi uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), capaz de absorver CO_2 , efetuando assim, a “lavagem” do biogás, para obter a quantificação de CH_4 (Figura 4). Esse procedimento assume que o CO_2 e o CH_4 são os principais constituintes do biogás. À medida que os erlenmeyers eram cheios, os mesmos eram retirados e pesados, sendo o peso da solução NaOH transformando em volume de gás.

Figura 4 – Sistema utilizado nos experimentos de produção de metano. (A) Visão geral; (B) Disposição dos reatores anaeróbios no interior da estufa; (C) Detalhe dos reatores contendo inóculo (dejetos suínos) e substratos (pena de galinha); (D) Sistema de lavagem de biogás e medição do metano produzido



Fonte: SCHOMMER (2019).

Este método de experimentação deve ser finalizado quando a produção acumulada de metano se estabilizar. A principal vantagem dessa metodologia é que ela dispensa o cromatógrafo para determinação da composição do biogás. Por isso, essa técnica apresenta baixo custo e pode ser implantada em praticamente em qualquer local (SCHOMMER, 2019).

3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE DEJETOS LÍQUIDOS

O tratamento dos dejetos de suínos reagrupa um conjunto de ações de transformação por diferentes meios (físico-químico e biológico) com a finalidade de modificar sua composição química e consistência física. A modificação da composição química do substrato tratado é realizada pela eliminação ou transformação de certos elementos (água, matéria orgânica, acetatos entre outros). Em se tratando de dejetos de suínos e devido à complexidade físico-química do substrato, a diversidade de situações existentes e da situação técnico-econômica dos diferentes produtores o importante é dispor em matéria de técnicas de tratamento de uma larga gama de soluções técnicas, pois cada caso deve ser tratado isoladamente (SAWAZAKI; FEIJÃO; MORAES, 1985).

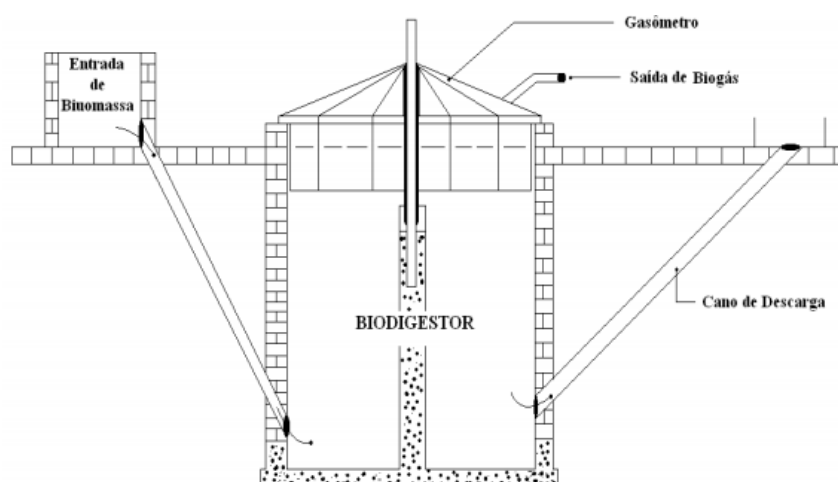
3.5.1 Esterqueiras

Esterqueiras são depósitos que tem por objetivo armazenar o volume de dejetos líquidos produzidos num sistema de criação, durante um determinado período (normalmente entre 4 e 6 meses), para que ocorra a fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A carga de abastecimento é diária, permanecendo o material em fermentação até seja retirado. Podem ser construídas de alvenaria, pedras, solo cimento ou geomembrana para impermeabilização do solo. Permitem a fermentação do dejetos e o seu melhor aproveitamento como fertilizante (DIESEL, 2002).

3.5.2 Biodigestores

São câmaras que realizam a fermentação anaeróbia da matéria orgânica produzindo biogás e biofertilizante. Processo da digestão anaeróbia consiste na transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, como metano e dióxido de carbono, através da ação combinada de diferentes microrganismos que atuam na ausência de oxigênio. Pode ser construído de pedra ou tijolo e a campânula de ferro, fibra de vidro ou policloreto de vinila (PVC). Existem dois tipos principais de biodigestores, o de batelada e o contínuo. No Brasil o modelo contínuo foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade (Figura 5). No meio rural pode atender quase que totalmente às necessidades energéticas básicas (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

Figura 5 – Biodigestor modelo contínuo



Fonte: RIZZONI et al., 2012.

Segundo Diesel, Miranda e Perdomo (2002), o tamanho do biodigestor deve estar de acordo com as necessidades energéticas da propriedade, com a capacidade de consumo do biogás produzido, com o número de animais existentes e com a área disponível para aplicação do biofertilizante. Um método prático para estimar o tamanho do biodigestor é dado pela fórmula abaixo:

$$TB = V * TRH$$

Onde:

TB = tamanho do biodigestor (m³);

V = indica vazão diária de dejetos (m³/d);

TRH = tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica (pode variar de 20 a 50 dias).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DEJETOS DE SUÍNOS

Para tal, as amostras utilizadas para os experimentos da pesquisa e posteriores análises foram coletadas na esterqueira de dejetos suínos, de acordo com as coordenadas 28°06'19''S e 54°47'45''W (GOOGLE EARTH, 2019), da Linha Santo Antônio, localizada no interior do Município de Cerro Largo/RS. Essa propriedade foi escolhida pelo fato de ser uma das mais próximas a Universidade (UFFS), além de já ter fornecido amostras para outras pesquisas.

As práticas experimentais e as análises foram desenvolvidas nos laboratórios da UFFS, *campus* Cerro Largo. Já as coletas foram realizadas antes e após o fim de cada batelada, para o início da próxima batelada, de acordo com o tempo aproximado de geração de biogás da amostra, para não comprometer a qualidade da mesma. Após cada coleta foram realizados diferentes tipos de análises, na intenção de se obter alguns dados de estudo em relação a temperatura e diluição das amostras, comparando com a produção de biogás.

As coletas ocorreram durante o segundo semestre de 2018 e o primeiro semestre de 2019, e as análises físico-químicas realizadas foram de acordo com as orientações do livro *Standard Methods* (APHA, 2005). A imagem 1 a seguir apresenta a esterqueira onde as amostras de dejetos suíno foram coletadas e os suínos confinados na propriedade.

Imagem 1 – Esterqueira onde as amostras de dejetos suíno foram coletadas periodicamente (esquerda) e suínos confinados na propriedade em que as amostras foram coletadas (direita)



Fonte: Autora (2018).

4.2 PRINCIPAIS TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS REALIZADOS NAS ANÁLISES DE DEJETOS SUÍNOS

4.2.1 Determinação de pH

O controle do pH visa a eliminação do risco de inibição das bactérias metanogênicas, pelos altos e baixos valores de pH, devendo ser evitados valores abaixo de 6 e acima de 8,3 (COSTA, 2009).

4.2.2 Espectroscopia eletrônica da região do Ultra Visível (UV-Vis)

Em relação à espectroscopia eletrônica no UV-Vis é possível retirar informações da absortividade molar e seus respectivos coeficientes de absortividade molar (ϵ). Os experimentos foram realizados em cubeta de vidro de 1 cm³.

4.2.3 Demanda química de oxigênio (DQO)

A análise da demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro utilizado como indicador da concentração de matéria orgânica presente em águas residuárias ou superficiais (BADO; PERCIO; LINDINO, 2013). A definição de DQO pode ser estabelecida como a medida da quantidade de oxidante químico necessário para oxidar a matéria orgânica de uma amostra. É expressa em miligramas de oxigênio por litro (mgO₂/L). A determinação da DQO pode ser feita por diferentes métodos, porém o método utilizado é descrito a seguir.

De acordo com o livro *Standart Methods* (APHA, 2005), o princípio da análise de DQO consiste na oxidação química da matéria orgânica presente numa amostra em meio ácido. Dentro disso, duas soluções foram preparadas, sob constante agitação, para posteriormente efetuar a digestão da amostra. Uma delas utiliza de ácido sulfúrico (H₂SO₄) (agente oxidante forte) em excesso, e de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), além de sulfato de mercúrio (HgSO₄) que irá catalisar a reação, em meio aquoso. A outra solução preparada utilizou de sulfato de prata (Ag₂SO₄) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) (agente oxidante forte).

Foi utilizado também o bloco digestor, responsável este, pelo processo de digestão e dissolubilidade de diferentes tipos de substâncias.

As amostras resultantes deste procedimento foram encaminhadas para análise, no espectrofotômetro UV-Vis, cujo comprimento de onda (λ) de 600 nm, após o processo de aquecimento no bloco digestor e posterior resfriamento da amostra. Podem-se atestar mudanças químicas ou físicas que ajudam a resolver determinadas questões.

4.2.4 Análises de sólidos totais, fixos e voláteis

Sólidos totais (ST) são todas as substâncias que permaneçam inalteradas após um determinado tempo de secagem a 105 °C, com um volume de amostra previamente conhecido. O conteúdo de sólidos totais corresponde a matéria sólida contida nos dejetos e que permanece após a retirada da umidade, expressa geralmente em mg/L.

Sólidos fixos (SF) são todas as substâncias que permaneçam inalteradas após calcinação em forno-mufla a 550 °C, após determinação através de pesagem dos sólidos totais. É expressa geralmente em mg/L.

Sólidos voláteis (SV) são o resultado da subtração entre os sólidos totais e os sólidos fixos, ou seja, todas substâncias que se volatilizaram após a calcinação no forno-mufla. É expressa geralmente em mg/L.

4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.3.1 Coleta das amostras

O procedimento de coleta foi realizado nas esterqueiras (lagoas) de dejetos suínos utilizando um frasco de plástico com tampa, limpo e homogeneizado com capacidade de 5 litros, e uma corda para auxiliar na retirada do dejetos, onde o volume recolhido era de aproximadamente 4 kg. O frasco era então fechado e embalado com auxílio de papel jornal e sacos de plástico.

Logo após as coletas, as amostras foram encaminhadas ao laboratório, onde então foram realizadas as medidas de pH e, em seguida, acondicionadas na geladeira a uma temperatura de 4 °C, quando necessário.

4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Todos os reagentes e solventes utilizados para a prática foram adquiridos comercialmente, com exceção da solução de digestão e o reagente de ácido sulfúrico que foram preparadas para realização da análise de DQO, sendo eles, ácido sulfúrico (H_2SO_4), dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), sulfato de mercúrio (HgSO_4) e sulfato de prata (Ag_2SO_4). Além disso, utilizou-se uma solução de NaOH 2 mol/L para lavagem do biogás.

Para os experimentos de digestão anaeróbia e consequente produção de CH_4 , definiu-se que as amostras teriam as seguintes diluições (Tabela 5). Posteriormente, cada diluição preparada foi disposta em erlenmeyers com capacidade para 500 mL, que funcionaram como reatores anaeróbios ao serem vedados com borrachas. O volume preparado utilizado foi o mesmo (200 mL) em todos os reatores, sendo que os reatores foram efetuados em triplicata para cada condição. O esquema de montagem dos reatores e sistema de canalização dos gases é exposto na imagem 2.

Tabela 5 - Diluições em água destilada dos dejetos suínos e exemplificação das proporções

	1:0	1:0,5	1:1	1:1,5	1:2
Amostra bruta sem diluição	Proporção de 100 mL de dejetos para 50 mL de água destilada	Proporção de 100 mL de dejetos para 100 mL de água destilada	Proporção de 100 mL de dejetos para 150 mL de água destilada	Proporção de 100 mL de dejetos para 200 mL de água destilada	

Fonte: Autora (2019).

Imagem 2 – Esquema de montagem dos reatores anaeróbios



Fonte: Autora (2019).

Como descrito anteriormente, temperaturas entre 30 °C a 45 °C (fase mesófila) são mais eficientes na geração de biogás. Portanto, esta faixa foi à escolhida para experimentação. Três

bateladas (30 °C, 35 °C e 40 °C) foram realizadas, para obter assim, dados em referentes à melhor temperatura para geração de CH₄. Corrobora-se também com Rizzoni (2012), que descreve as temperaturas de 30 °C a 40 °C como sendo a faixa mesofílica. Além disso, a duração do experimento foi de 30 dias, pois observou-se que em todas as três temperaturas analisadas, depois de 30 dias a produção sofria grande redução.

Assim como Schommer (2019), o princípio medição de CH₄ utilizado foi o de deslocamento de fluidos (solução de NaOH). Os reatores com dejetos de suíno em cada diluição, 5 diferentes diluições em triplicata (totalizando 15 reatores), foram colocados dentro da estufa com temperatura constante, sendo uma temperatura única aplicada para cada batelada de experimentos. Os reatores (erlenmeyers fechados sem a presença de oxigênio) foram ligados a mangueiras, que canalizaram o biogás até os vidros âmbar contendo a solução de NaOH.

Foi visível “bolhas de biogás” atravessando a solução, em que a mesma absorveu o CO₂, para que por fim o CH₄ se aloja-se na parte superior do vidro âmbar, empurrando assim a solução líquida de NaOH para fora do vidro, através de outro cano, que dispensava a solução em um erlenmeyer. Este esquema é apresentado na imagem 3.

Imagem 3 – Sistema implantado de medição de CH₄, através do deslocamento de NaOH



Fonte: Autora (2018).

Os erlenmeyers com solução eram retirados e pesados por diferença (peso do erlenmeyer cheio menos peso do erlenmeyer vazio). Entretanto, o erlenmeyer considerado vazio sempre era pesado antes da medição de CH₄ com uma pequena quantidade de solução no fundo da vidraria, para que se pudesse ter certeza de que o volume de CH₄ obtido não fosse ar, pois a solução não escoaria no erlenmeyer somente com a ação da gravidade devido a quantidade de NaOH no fundo do frasco impedindo a entrada de ar no vidro âmbar.

O volume de gás CH₄ produzido foi obtido através da conversão da massa da solução de NaOH pesada. A equação utilizada para transformar massa (g) em volume de gás (mL CH₄) foi:

$$\text{Volume de gás produzido} = \frac{\text{Frasco cheio} - \text{Frasco vazio}}{\text{Densidade de NaOH}}$$

Onde:

Volume de gás produzido = (mL CH₄);

Frasco vazio = peso inicial do frasco de erlenmeyer (g);

Frasco cheio = peso do frasco de erlenmeyer após certo período (g);

Densidade de NaOH = 1,083 g/mL.

4.5 METODOLOGIAS ANALÍTICAS

4.5.1 Análise de Demanda Química de Oxigênio

Inicialmente, duas soluções foram preparadas, sob constante agitação, para posteriormente efetuar a digestão da amostra. Uma delas, chamada de digestão, utiliza 167 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) (agente oxidante forte) em excesso, 10,216 g de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), previamente seco a 105 °C, e 33,3 g de sulfato de mercúrio (HgSO₄) que irá catalisar a reação, em meio aquoso, ou seja, a solução foi elevada a 1000 mL em um balão volumétrico. A outra solução preparada, solução ácida, utilizou 10,32 g de sulfato de prata (Ag₂SO₄) e elevou-se a 1000 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) (agente oxidante forte) em um balão volumétrico.

As análises de DQO foram obtidas a partir do Método Colorimétrico e procedeu da forma descrita a seguir. Nos tubetes, adicionou-se 3 mL da solução de digestão, 7 mL da solução ácida, além de 5 mL da amostra. Essa nova solução, contida nos tubetes, foi submetida a 150 °C no bloco digestor por aproximadamente 2 horas. Logo após, deixou-se as amostras em repouso até atingir a temperatura ambiente (aproximadamente 1 h) (Imagem 4).

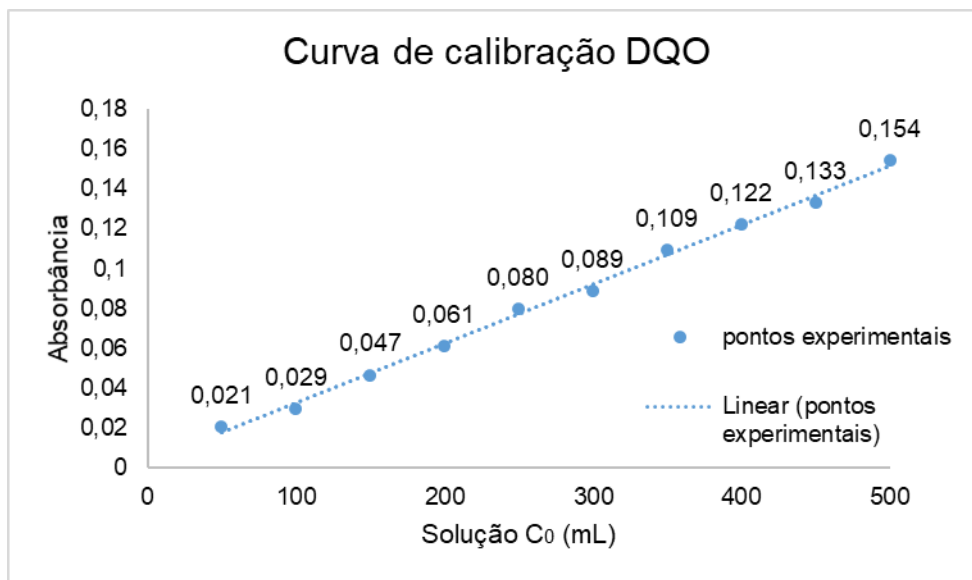
Imagem 4 – Aparência das amostras depois de passarem pelo bloco digestor



Fonte: Autora (2019).

O gráfico 1 apresenta um exemplo de curva de calibração obtida através do mesmo equipamento que foi utilizado nos experimentos realizados nesta pesquisa e o mesmo tipo de amostra (dejeito de suíno).

Gráfico 1 – Curva de calibração da Demanda Química de Oxigênio (DQO).



Fonte: SCHOMMER (2019).

A partir do gráfico, pode-se obter a seguinte equação através da curva de calibração, com $R^2 = 0,9965$:

$$DQO \text{ como } O_2/L = \frac{(Absorbância - 0,0027)}{0,0003}$$

4.5.2 Análise de sólidos totais, fixos e voláteis

Aqueceram-se os cadinhos de porcelana, previamente limpos, a uma temperatura de 550 °C por 1 h em forno mufla, para completa higienização e retirada de umidade. Logo em seguida, colocou-se em dessecador até atingir a temperatura ambiente. Por fim, os cadinhos foram pesados.

Adicionou-se a amostra com volume conhecido nos cadinhos, posteriormente colocou-se na estufa, a uma temperatura de 105 °C até atingir peso constante, ou seja, com a total remoção da umidade (48 h). Para o cálculo da quantidade de sólidos totais presentes na amostra, fez-se a diferença entre o peso do cadinho sem amostra e do peso do cadinho com a amostra após a remoção da umidade.

Com os cadinhos nas condições ao fim da análise de sólidos totais, levaram-se os mesmos ao forno mufla para a incineração a 550 °C até atingir peso constante (aproximadamente 2 horas) (Imagem 5). Após atingirem temperatura ambiente no dessecador, pesaram-se novamente os cadinhos, obtendo assim a diferença entre o peso do cadinho sem amostra, no início do experimento, com o peso dos cadinhos após incineração na mufla. O valor obtido é quantidade de sólidos fixos na amostra. A seguir, o cálculo para obter a quantidade de sólidos fixos na amostra:

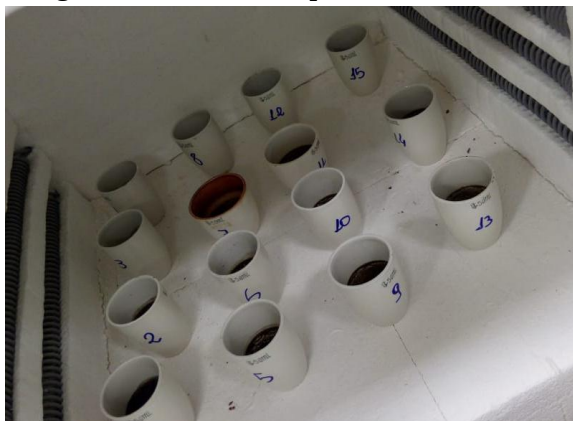
$$mg \text{ Sólidos Fixos}/L = \frac{(B - C) * 1000}{Volume \text{ da amostra } (L)}$$

Onde:

B = massa inicial do cadinho (mg);

C = massa do cadinho com amostra após ignição (mg).

Imagem 5 – Cadinhos após dois dias na estufa, prontos para incineração



Fonte: Autora (2019).

A partir da diferença entre os sólidos totais e os sólidos fixos, obteve-se a concentração de sólidos voláteis na amostra, conforme apresentado na equação a seguir:

$$mg \text{ Sólidos Voláteis}/L = \frac{(A - C) * 1000}{Volume \text{ da amostra } (L)}$$

Onde:

A = massa inicial do cadinho com amostra após estufa (sólidos totais) (mg);

C = massa do cadinho com amostra após ignição (mg).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos experimentos e análises realizados, os resultados obtidos estão apresentados e discutidos a seguir (Tabela 6), sendo os dados referentes a produção acumulada de metano ($\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$) nas temperaturas e diluições analisadas neste estudo.

Tabela 6 – Produção acumulada de metano ($\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$) nas temperaturas e diluições analisadas neste estudo

Diluição do dejetos suíno	30 °C	35 °C	40 °C
Bruto	0,436	0,655	0,235
1:0,5	0,457	0,479	0,270
1:1	0,489	0,729	0,230
1:1,5	0,517	0,689	0,237
1:2	0,478	0,909	0,250

Fonte: Autora (2019).

A tabela 6 expressa a produção acumulada de CH_4 ($\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$), referente às temperaturas e diluições a que os dejetos suínos foram submetidos, para o processo digestão anaeróbia, pelo período de 30 dias.

Analisando os resultados obtidos através da tabela 4, em relação a temperatura de 30 °C, a diluição de 1:1,5 foi a que apresentou a maior produção acumulada de CH_4 (0,517 $\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$). Já o dejetos bruto apresentou a menor produção de CH_4 (0,436 $\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$). Portanto, a diferença entre o maior e o menor produtor de CH_4 foi de aproximadamente 15,66 %.

Na temperatura de 35 °C, a diluição de 1:2 foi a que apresentou a maior produção acumulada de CH_4 (0,909 $\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$), já o dejetos com diluição 1:0,5 apresentou a menor produção de CH_4 (0,479 $\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$). Sendo assim, a diferença entre o maior e o menor produtor de CH_4 foi de aproximadamente 47,30 %.

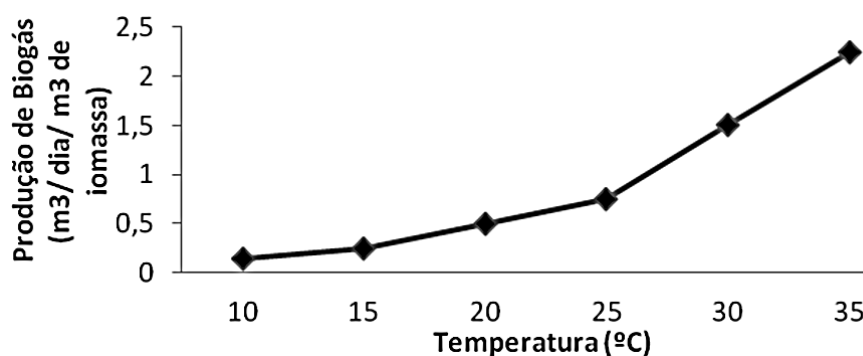
Por fim, a temperatura de 40 °C, apresentou sua maior produção de CH_4 na diluição de 1:0,5 (0,270 $\text{L CH}_4/\text{g SV}_{\text{inicial}}$) e dejetos com diluição 1:1 apresentou a menor produção de CH_4

(0,230 L CH₄/g SV_{inicial}). Devido a isso, a diferença entre o maior e o menor produtor de CH₄ foi de apenas 14,81 %.

Assim, a diluição de 1:2 submetida à temperatura de 35 °C foi a que apresentou maior produtividade de CH₄ acumulado das três bateladas realizadas. Resultados assim são condizentes com os apresentados por Rizzoni (2012), que assegura que o processo de digestão anaeróbia se faz mais efetivo na faixa mesofílica (30 °C a 40 °C).

Observam-se resultados condizentes com os estudos de Rizzoni (2012), pois a melhor temperatura para produção de biogás foi de 35 °C, como apresentado na figura 6. Acima disso, o autor afirma que temperaturas acima de 37 °C não são ideais, devido ao fato de temperaturas maiores que essa se apresentarem prejudiciais à faixa mesófila.

Figura 6 – Efeito da temperatura da biomassa sobre a produção de biogás

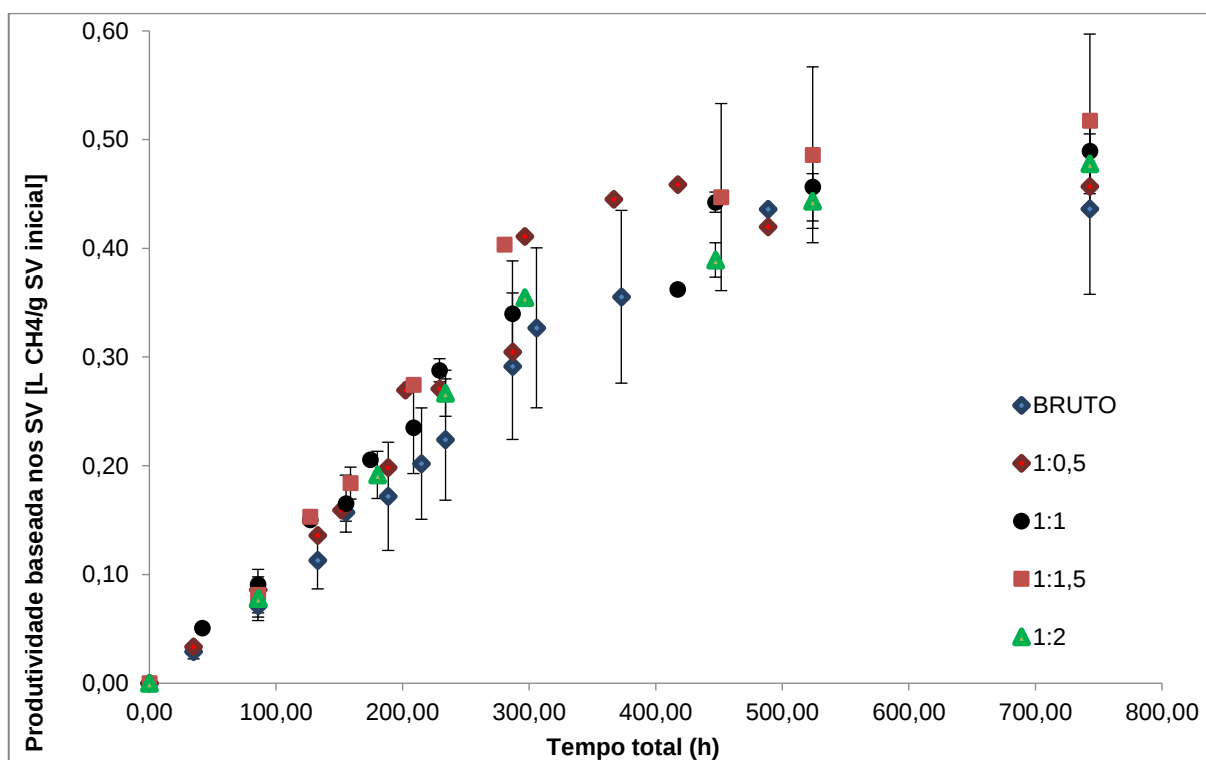


Fonte: RIZZONI (2012).

O gráfico 2 apresenta os resultados da produção acumulada de CH₄, com os respectivos desvios padrão, com dejetos suínos em diferentes diluições submetidos a 30 °C, em relação aos SV. A maior produção de CH₄ foi observada na diluição 1:1,5, seguido do dejetos com diluição 1:1, 1:2, 1:0,5 e dejetos brutos.

Tais resultados podem ser justificados pela tabela 7 onde são apresentados os parâmetros físico-químicos iniciais e após a digestão anaeróbia. Na diluição 1:1,5, maior produtor, há redução de 66,64 % de SV e 54,74 % de DQO respectivamente. Por outro lado, o dejetos bruto, obteve uma redução menor de SV, 20,39 %, enquanto de DQO a redução foi de 79,45 %.

Gráfico 2 – Produção acumulada de CH₄, baseada nos SV no processo de digestão anaeróbia a 30 °C, por 30 dias



Fonte: Autora (2019).

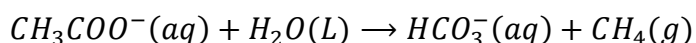
Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos no tempo inicial e sua redução/alteração, ao final de 30 dias de digestão anaeróbia, sob 30 °C

Diluição do dejetosuíno	Sólidos Totais		Sólidos Voláteis		DQO		pH	
	Inicial (g ST/L)	Redução (%)	Inicial (g SV/L)	Redução (%)	Inicial (g O ₂ /L)	Redução (%)	Inicial	Final
Bruto	95,119	16,356	71,427	20,390	306,611	79,455	7,00	8,44
1:0,5	63,412	26,181	47,618	40,622	204,407	77,741	7,10	8,27
1:1	47,559	58,544	35,713	66,642	153,305	54,738	7,20	9,07
1:1,5	38,047	23,720	28,571	41,898	122,644	73,621	7,30	9,19
1:2	31,706	27,089	23,809	42,806	102,203	83,928	7,40	9,15

Fonte: Autora (2019).

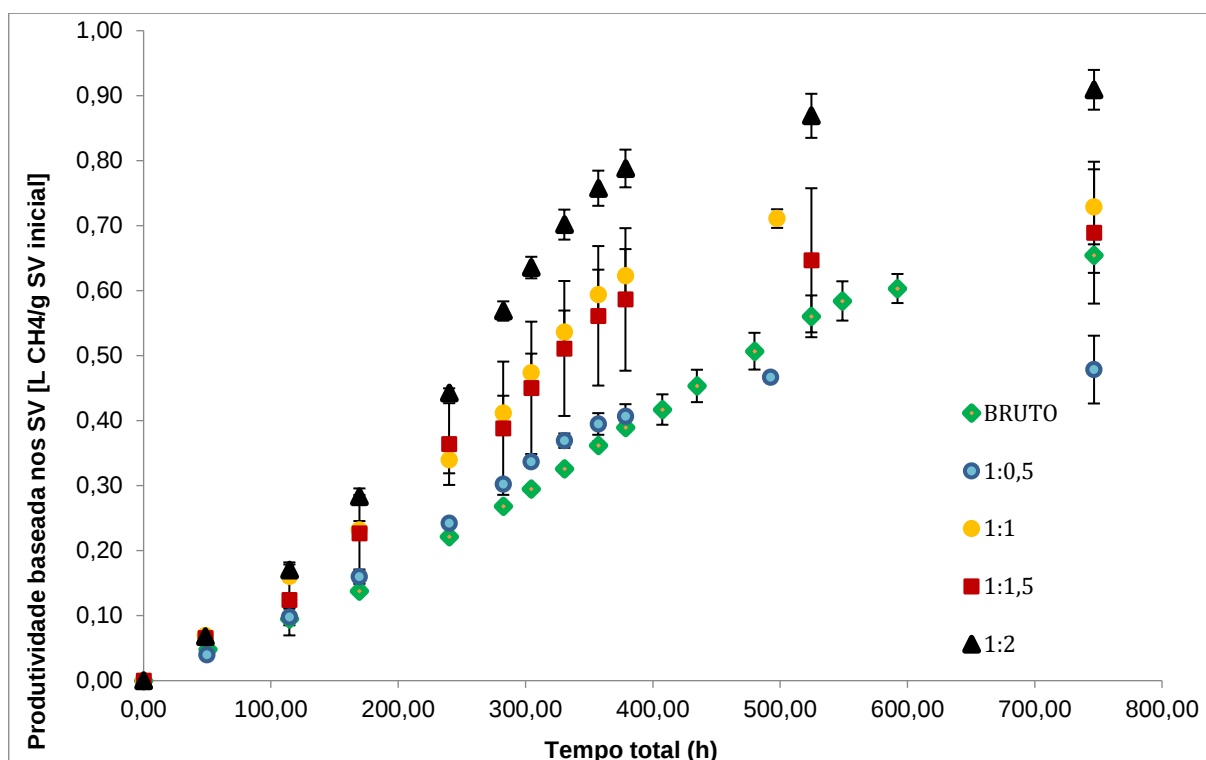
A diluição na temperatura de 30 °C aparentemente não influenciou diretamente nos resultados de produção de CH₄, sendo que o dejetto bruto continha 71,40 g SV/L, enquanto o dejetto mais diluído que foi a diluição 1:2 possuía 23,81 g SV/L.

Altas concentrações do íon bicarbonato (HCO₃⁻) são detrimenais à população microbiana ativa nos processos de digestão, assim como o meio deve permanecer neutro, pois o pH ótimo para o metabolismo das bactérias metanogênicas é em torno de 7,0 (SAWAZAKI; FEIJÃO; MORAES, 1985). Portanto, os resultados em relação ao alto pH podem ter influência direta no metabolismo das bactérias, impedindo que as mesmas produzam CH₄, devido ao fato da formação dos íons HCO₃⁻, que são resultantes da reação entre os íons acetato (CH₃COO⁻) e a água, ocasionando um aumento no pH do meio, como pode ser observado na equação da reação a seguir:



O gráfico 3 apresenta o melhor resultado dentre as três temperaturas testadas. Na temperatura de 35° C a diluição de 1:2 obteve o melhor resultado, seguido da diluição 1:1, 1:1,5, dejetto bruto e por fim 1:0,5. Na tabela 8, apresenta a segunda maior redução de SV, 52,88 %, e com boa redução de DQO, 29,43 % na diluição 1:2. O menor resultado de produção de CH₄ apresentado no gráfico, que foi a diluição 1:0,5, obteve redução a maior redução de 61,92 % de SV, que é o menor resultado de redução de SV, porém a redução de DQO foi a melhor dentre as diluições com 40,31 %. Os demais resultados possuem comportamento similar quanto aos SV e DQO tendo resultados de redução maiores ou menores associados a produção de CH₄.

Gráfico 3 – Produção acumulada de metano baseada nos SV no processo de digestão anaeróbia a 35 °C por 30 dias



Fonte: Autora (2019).

Tabela 8 – Parâmetros físico-químicos no tempo inicial e sua redução/alteração ao final de 30 dias de digestão anaeróbia sob 35 °C

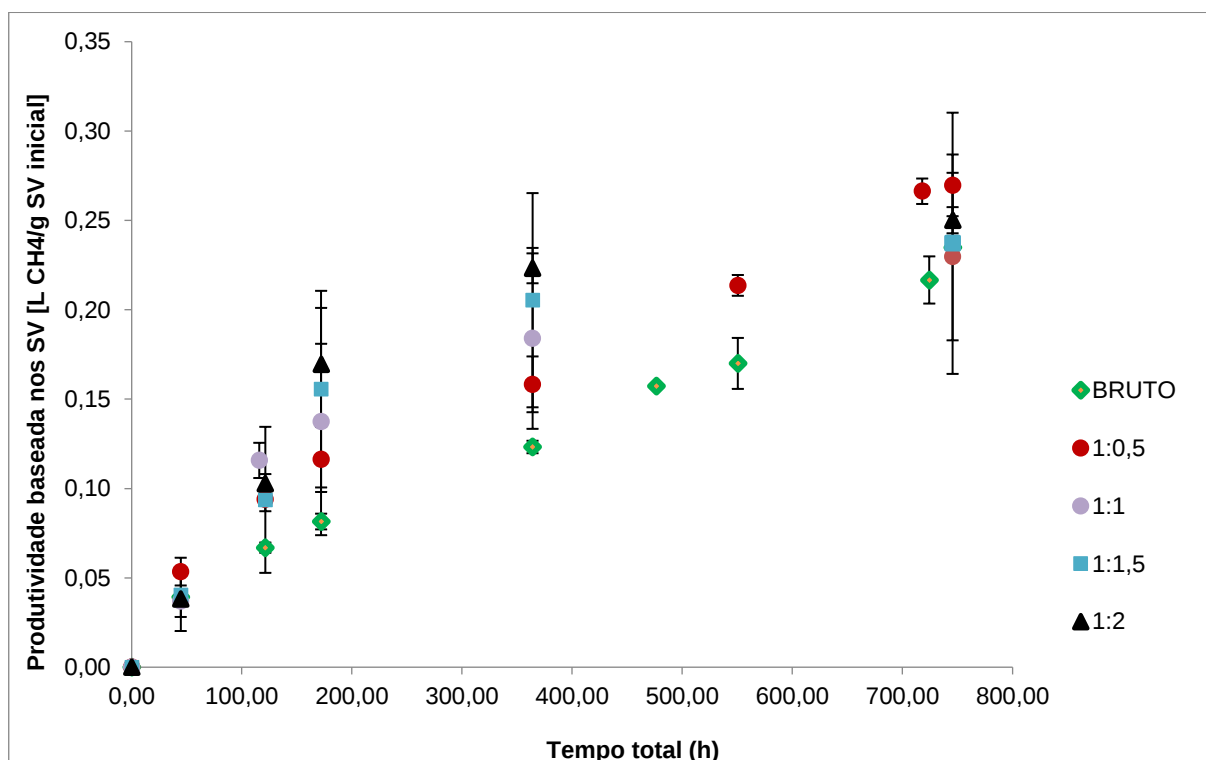
Diluição do dejeito suíno	Sólidos Totais		Sólidos Voláteis		DQO		pH	
	Inicial (g SV/L)	Redução (%)	Inicial (g SV/L)	Redução (%)	Inicial (g O ₂ /L)	Redução (%)	Inicial	Final
Bruto	101,7	24,958	66,8	34,926	170,500	19,548	7,2	7,883
1:0,5	67,8	55,641	44,5	61,922	96,055	40,308	7,4	7,587
1:1	50,8	31,404	33,4	42,125	113,833	24,131	7,4	7,587
1:1,5	40,7	43,691	26,7	51,854	97,166	9,874	7,4	7,650
1:2	33,9	44,706	22,3	52,882	103,833	29,431	7,5	7,640

Fonte: Autora (2019).

O pH teve um leve aumento, mas não ultrapassou 7,9 ao final da reação diferentemente dos valores de pH observados nos testes realizados nas demais temperaturas.

E por fim, a mais alta temperatura testada (40 °C), apresentada no gráfico 4 e tabela 9, que a maior produção de CH₄ ocorreu na diluição 1:0,5, seguido da diluição 1:2, 1:1,5, dejetto bruto e por fim 1:1. Analisando a tabela 9 houve boa redução de SV e DQO na diluição 1:2, 68,94 % e 83,97 %, respectivamente. Nas demais diluições houve comportamentos similares, porém com reduções inferiores. Na diluição 1:0,5 ocorreu a maior produção de CH₄, porém apresentou a segunda menor redução de SV e DQO com 44,58% e 33,60%, ficando afrente apenas do dejetto bruto.

Gráfico 4 – Produção acumulada de metano baseada nos SV no processo de digestão anaeróbia a 40 °C por 30 dias



Fonte: Autora (2019).

Tabela 9 – Parâmetros físico-químicos no tempo inicial e sua redução/alteração, ao final de 30 dias de digestão anaeróbia, sob 40° C

Diluição do dejetto	Sólidos Voláteis		Sólidos Voláteis		DQO		pH	
	Inicial (g ST/L)	Redução (%)	Inicial (g SV/L)	Redução (%)	Inicial (g O ₂ /L)	Redução (%)	Inicial	Final
Bruto	100,283	37,336	64,129	41,766	155,500	18,836	7,75	8,27
1:0,5	66,855	38,095	42,753	44,581	103,666	33,601	7,71	8,75
1:1	50,141	48,280	32,065	57,835	77,750	57,675	7,68	8,46
1:1,5	40,113	53,398	25,652	57,326	62,200	44,370	7,34	8,55
1:2	33,428	50,580	21,376	68,938	51,833	83,976	7,29	8,553

Fonte: Autora (2019).

O pH em todas as diluições teve aumento chegando aos 8,75 ao final da reação. Quanto aos SV e DQO presentes inicialmente nos reatores, as maiores diluições tiveram maior diluição de SV e DQO, e isso pode ter colaborado para maior produção de CH₄.

Dentre as três temperaturas testadas, 30 °C, 35 °C e 40 °C, a temperatura de 35 °C apresentou maior produção de CH₄ 0,909 L CH₄/g SV_{inicial} (diluição 1:2), a temperatura de 30 °C em sua melhor produção obteve 0,517 L CH₄/g SV_{inicial} (diluição 1:1,5) e a temperatura de 40 °C obteve-se a produção de 0,270 L CH₄/g SV_{inicial} (diluição 1:0,5), sendo esta, a maior produção de CH₄. A diluição 1:2 também obteve bons resultado na temperatura de 40 °C e 30 °C com 0,250 e 0,478 L CH₄/g SV_{inicial}, com a terceira e a segunda maior produção de CH₄ nas respectivas temperaturas.

Na maior parte dos resultados deste estudo, percebe-se que quanto maior a diluição, melhor a produção de CH₄. SV com quantidades inferiores que 33 g SV/L favorecem a digestão anaeróbia. Valores elevados de pH podem influenciar a produção de metano, valores superiores a 8,2 foram obtidos na temperatura de 30 °C e 40 °C. Redução de SV e DQO justificam a produção de CH₄, redução em ambos os parâmetros favorecem a produção de CH₄.

As bactérias metanogênicas transformam, no processo de digestão anaeróbia, os substratos (matéria orgânica) em CH₄ e CO₂. A eficiência da digestão anaeróbia pode ser seriamente afetada por fatores que estão relacionados com o substrato, com as características do digestor ou com as condições de operação e ambientais, por exemplo: o tipo de biomassa, o

modelo do biodigestor, a quantidade/volume de biomassa, manejo, perfil de microrganismos, acidez, temperatura, entre outros (TAVARES, 2016), e ainda a entrada de antibióticos, inseticidas e desinfetantes no biodigestor também podem inibir a atividade biológica, diminuindo sensivelmente a capacidade do sistema em produzir biogás (RIZZONI, 2012).

Os dejetos de suínos possuem um bom potencial energético em termos de produção de biogás, tendo em vista, que mais de 70% dos sólidos totais são constituídos pelos sólidos voláteis, que são o substrato dos microrganismos produtores de biogás (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

Entretanto, em algum momento do processo houve maior produção de CO_2 e/ou outros gases, a partir dos sólidos voláteis como substrato. Assim, justifica-se o porquê de mesmo com alta concentração inicial e redução final dos SV em diferentes diluições, ocorreu em alguns casos, menor produção de CH_4 do que comparado a outras diluições com menor concentração e menor redução de SV.

Analisando os valores de pH das amostras, o pH médio foi de 6,94, e o mês de janeiro o que apresentou maior média com 7,44. Echeverria et al. (2010) relata que o pH entre 7 e 8,5 satisfaz melhor à fermentação no processo de digestão anaeróbia, para produção eficiente de CH_4 .

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica claro, através deste estudo, que dentre as temperaturas analisadas, a mais adequada para uma geração otimizada de CH_4 é a de 35 °C. Somado a isso, uma alta diluição, neste caso dentre as diluições analisadas, a diluição de 1:2, é importante para uma boa geração, pois a fase inicial da produção de metano demanda alta quantidade de água.

Considera-se também, que um maior tempo de retenção seria necessário, apesar de muitos autores citarem um período mínimo de 20 dias, e tendo sido adotado neste estudo um período de retenção de 30 dias, para assim, observar melhor qual seria o exato momento em que a reação cessaria totalmente.

Ademais, o estudo de outros parâmetros, como por exemplo, densidade, alcalinidade, nitrogênio orgânico e a relação carbono nitrogênio (C/N), seria extremamente necessário, pois observou-se que em meio as reações submetidas as temperaturas de 30 °C e 40 °C, altos valores de pH ocorreram, tornando o meio alcalino. Isso fez com que o metabolismo das bactérias anaeróbias fosse afetado negativamente em relação à capacidade de produção de CH_4 . Segundo estudos abordados, o elevado pH das amostras usadas nestas duas temperaturas pode estar associado à excreção de antibióticos pelos animais ou pelo uso de detergentes com substâncias extremamente alcalinas.

Como perspectiva futura, posterior análise da qualidade do CH_4 produzido para aplicação energética.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, T.; TAUSEEF, S. M.; ABBASI, S. A. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation—An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 3228-3242, 2012.

ABPA-Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual**. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **RESOLUÇÃO ANP Nº 685, DE 29.6.2017 - DOU 30.6.2017**. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/janeiro&item=ranp-8--2015>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

American Public Health Association et al. APHA–AWWA–WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **American Water Works Association, New York**, 2005.

ASAE, 1993. Manure production and characteristics. American Society of Agricultural Engineers. **Standards, engineering practices and data**.

BADO, C.; PERCIO, J. E.; LINDINO, C. A. 2013. A Demanda Química de Oxigênio: questionamentos. **Revista Analytica**, nº 62: 44-50.

CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro et al. Potential evaluation of biogas production and treatment efficiency of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) fed with swine manure liquid effluent. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 848-856, 2005.

CAVALETTI, Luciano Braga. **Avaliação do sistema de compostagem mecanizada para dejetos suínos**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

CONAMA. Resolução CONAMA 430/2011. Diário Oficial da União, p. 8, 2011.

COSTA, Ernani de Souza. Dissertação: **Protocolo para projeto de engenharia de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo**. UERG. 2009.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, p. 30, 2002.

ECHEVERRIA, J. R et al. **Caracterização de dejetos sólidos de granja de suínos de ciclo completo: verão**. 2010.

FROEHLICH, José Marcos; DIESEL, Vivien. **Desenvolvimento rural: tendências e debates contemporâneos**. Editora Unijui, 2006.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: FAO, 2013.

GOOGLE EARTH. 2019. Acesso em: 12 de junho de 2019. Disponível em: <
<https://earth.google.com/web/>>.

KEYMER, U.; REINHOLD, G. Grundsätze bei der Projektplanung. **ROHSTOFFE, FN Handreichung biogasgewinnung und-nutzung. Gülzow: Institut Für Energetik Und Umwelt**, p. 182-209, 2006.

KUNZ, Al; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource technology**, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, 2009.

MAFACIOLLI, Débora. **Produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

OLIVEIRA, P. A. V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. **Embrapa Suínos e Aves-Docmentos (INFOTECA-E)**, 1993.

PALHARES, J. C. P. Licenciamento ambiental na suinocultura: os casos brasileiro e mundial. **Embrapa Suínos e Aves-Docmentos (INFOTECA-E)**, 2008.

PERDOMO, Carlos C. Sugestões para o manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos. **Embrapa Suínos e Aves-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1999.

PRÁ, Marina Celant De et al. Desenvolvimento e validação de protótipo de reator para aplicação do processo de desamonificação utilizando digestato da suinocultura. 2017.

RESENDE, J. A. et al. Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica. **Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2015.

RIZZONI, Leandro Becalet et al. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 9, n. 18, p. 1-20, 2012.

SAWAZAKI, Haiko Enok; FEIJÃO, J. P.; MORAES, R. M. O pH e a temperatura na produção de biogás a partir da casca de arroz. **Bragantia**, v. 44, n. 2, 1985.

SCHOMMER, Vera Analise. **Co-digestão anaeróbia de dejetos suínos e penas de frango pré-tratadas para a produção de metano**. Dissertação de mestrado. 2019. p. 87. Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS. Cerro Largo. 2019.

SILVA, Fabio Cruz Manhães da et al. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. 1996.

SILVA, Fabiana Matze da. **Avaliação do desempenho de um biodigestor canadense modificado no tratamento de dejetos de suínos**. 2013.

TAVARES, Sidnei Gregorio et al. Influência das variações térmicas climáticas na produção de biogás. 2016.