

ANDRESSA CARLA GROSBELLI

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM DIFERENTES SISTEMAS E FASES DE
CRIAÇÃO DE SUÍNOS NO OESTE DO PARANÁ

CASCVEL
PARANÁ - BRASIL
MARÇO - 2018

ANDRESSA CARLA GROSBELLI

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM DIFERENTES SISTEMAS E FASES DE
CRIAÇÃO DE SUÍNOS NO OESTE DO PARANÁ

Trabalho apresentado à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Armin Feiden

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Grosbelli, Andressa Carla
Análise da produção de biogás em diferentes sistemas e fases de criação de suínos no oeste do Paraná / Andressa Carla Grosbelli; orientador(a), Armin Feiden, 2018.
53 f.

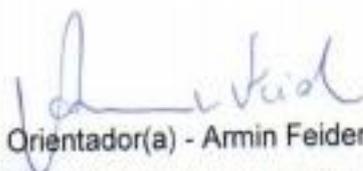
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2018.

1. Biogás. 2. Suinocultura. 3. Energia Renovável. I. Feiden, Armin . II. Título.

ANDRESSA CARLA GROSBELLI

**“ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM DIFERENTES
SISTEMAS E FASES DE CRIAÇÃO DE SUÍNOS NO OESTE DO
PARANÁ”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biocombustíveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Armin Feiden

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira

Faculdade Assis Gurgacz – Cascavel (FAG)

Cascavel, 22 de março de 2018

*"Não tenho nada, mas tenho tudo.
Sou apenas um caminhante,
à procura de si mesmo"*

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, criador de tudo.

Aos meus pais, João e Neiva, e minhas irmãs Sandra e Gisele, pela oportunidade de estudar, amor e apoio em tudo.

À minha sobrinha Ana Paula, antiga companheira de quarto e hoje companheira de apartamento, pelos chás para dormir, pelas risadas, pelo companheirismo durante esses dois anos.

Ao meu namorado Felipe, pelo amor e companheirismo e também pela ajuda em várias etapas desse projeto, sempre mostrando-se disposto.

Ao professor Dr, Armin Feiden, que me orientou com sabedoria.

Aos professores Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira e Dra. Luciene Kazuo Tokura, pela disposição em sempre orientar e ajudar com valiosas sugestões para esse trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema de criação de suínos. Fonte: Instituto Ambiental do Paraná, 2018	5
Figura 2 - Bacia do Rio Paraná 3	15
Figura 3 - Esquema de montagem do sistema visto de cima	17
Figura 4 - Detalhe em corte do esquema dos gasômetros.....	18
Figura 5 - Caixa d'água com os 24 biodigestores	19
Figura 6 - Tubo de 100mm com a régua medidora presa	19
Figura 7 - Válvula para liberação do gás produzido	20
Figura 8 - Mufla e balança.....	21
Figura 9 - Cadinhos dentro da estufa	22
Figura 10 - Mufla e cadinhos com a amostra pronta para pesagem	23
Figura 11 - Amostras diluídas e em tubos.....	25
Figura 12 - Aparelho GEM 5000 - LANDTEC.....	27
Figura 13 - Volume de biogás acumulado - T1.....	32
Figura 14 - Volume de biogás acumulado - T2.....	33
Figura 15 - Volume de biogás acumulado - T3.....	34
Figura 16- Volume de biogás acumulado - T4.....	35
Figura 17 - Volume de biogás acumulado - T5.....	35
Figura 18 - Volume de biogás acumulado - T6.....	36
Figura 19 - Volume de biogás acumulado - T7.....	37
Figura 20 - Análise da concentração de gases.	38
Figura 21 - Tela do analisador, com valores de concentração de gases.	38
Figura 22 - Porcentagem de sólidos totais presentes no afluente e efluente.	40
Figura 23 - Percentual de sólidos voláteis no afluente e médio para o efluente.....	41
Figura 24 - Porcentagem de sólidos totais fixos presentes no afluente e efluente....	42
Figura 25- Rendimento Volume sobre sólidos removidos	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração dos componentes do biogás	12
Tabela 2 - Potencial Hidrogeniônico do afluente e valores médios do efluente	28
Tabela 3 - Valores do afluente e valores médios do afluente para alcalinidade.....	29
Tabela 4 - Valores de DQO(mg.L ⁻¹) para o afluente e efluente	30
Tabela 5 - Percentual de eficiência de remoção da DQO e desvio padrão	30
Tabela 6 - Percentual de concentração de CH ₄ , CO ₂ e O ₂	39
Tabela 7 - Eficiência na remoção de sólidos totais	40
Tabela 8 - Percentual de remoção de SV	41
Tabela 9 - Análise de variância com relação aos tratamentos T1 e T2.....	43
Tabela 10 - Análise de variância com relação aos tratamentos T3,T4 e T5.....	43
Tabela 11 - Análise de variância com relação aos tratamentos T6 e T7.....	43

LISTA DE SIGLAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal
DA - Digestão Anaeróbia
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Suínos e Aves
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
pH - Potencial hidrogênionico
PPM - Produção Pecuária Municipal
ST - Sólidos Totais
STF - Sólidos Totais Fixos
SV - Sólidos Voláteis
UPL - Unidade de Produção de Leitões
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

GROSBELLI, Andressa Carla Ma. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto de 2017. **Análise da produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos no oeste do Paraná.** Prof. Dr. Armin Feiden.

RESUMO

Além da preocupação com o esgotamento das fontes de energias fósseis e com consequências ambientais, hoje, se faz necessário saber o potencial que as fontes alternativas podem apresentar. O presente trabalho teve com objetivo discutir e analisar com base em estudos a campo e em laboratório, a produção de biogás em diferentes sistemas de criação e fases de suínos em: duas unidades de creche (T1 e T2), três unidades de crescimento e terminação (T3, T4 e T5) e duas unidades de produção de leitões (T6 e T7). Foram realizadas análises de ST, SV e DQO. Os biodigestores utilizados foram do tipo batelada, feitos de tubos de PVC e o TRH foi de 45 dias. Foram encontradas médias significativas de produção de biogás, remoção dos ST e SV, bom rendimento de volume relacionado aos SV removidos e adicionados. O tratamento T5 apresentou a melhor remoção de DQO (72,3%), sendo também o que mais produziu biogás ao longo dos 45 dias (5,3L), no entanto apresentou uma baixa eficiência na remoção dos sólidos voláteis, sendo necessário um TRH maior para a melhor eficiência do tratamento. Em contrapartida, o tratamento T7 apresentou os melhores valores de eficiência de remoção de sólidos voláteis durante o período de estudo, com 71,48%.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, suinocultura, diferentes sistemas e fases de criação de suínos.

GROSBELLI, Andressa Carla. Ma. State University of West Paraná, August 2017.
Analysis of the biogas production in different breeding systems of pigs in western Paraná. Prof. Dr. Armin Feiden.

ABSTRACT

Besides the concern with the exhaustion of energy sources and environmental consequences, it is necessary to know the potential that these sources of energy (swine manure) can present. The present work has had the objective of discussing and analyzing, on the basis of field and laboratory studies, the production of biogas in different breeding types and stages of pigs, being the treatments: two nursery units (T1 and T2), three growth and termination units (T3, T4 and T5) and two piglets production units (T6 and T7). ST and SV analyzes were performed, reducing the organic load of the swine manure used. The biodigestors used were batch type, made of PVC pipes and fed with the waste from different types of pig farming. The HRT was 45 days and significant averages of biogas production, ST and SV removal were found, good volume yield related to SVs removed and added. The T5 treatment presented the best removal of COD (72.3%), being also the one that produced the most biogas during the 45 days (5.3L), nevertheless it presented a low efficiency in the removal of the volatile solids, being necessary a time of HRT higher for better treatment efficiency. On the other hand, the T7 treatment presented the best values of removal efficiency of volatile solids during the study period, with 71.48%

KEYWORDS: Biogas, pig farming, different breeding systems and stages.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 SUINOCULTURA.....	3
2.1.1. Suinocultura no Brasil	3
2.1.2. Suinocultura no Paraná	4
2.1.3 Impactos ambientais	5
2.1.4 Legislação ambiental na suinocultura.....	6
2.1.5 Tratamento dos efluentes, resíduos líquidos e sólidos.....	7
2.2 Processo de digestão anaeróbia	7
2.2.1 Hidrólise	8
2.2.2 Acidogênese	9
2.2.3 Fermentação acetogênica	9
2.2.4 Metanogênese	9
2.2.5 Sulfetogênese.....	10
2.2.6 Fatores operacionais e ambientais.....	10
2.3 Biogás	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Localização das propriedades	14
3.2 Tratamento dos dados.....	16
3.3 Delineamento experimental.....	16
3.4 Coleta de dados.....	17
3.5 Parâmetros analisados	20
3.6 Metodologia para determinação de sólidos.....	21
3.6.1 Sólidos Totais (ST).....	21
3.6.2 Sólidos totais fixos (STF)	23
3.6.3 Sólidos totais voláteis (STV)	23
3.7 Rendimento Volume/ST E Volume/SV	24
3.8 Metodologia DQO (colorimétrico)	25
3.9 Alcalinidade	26
3.10 Medição e avaliação da composição do biogás	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Caracterização físico-química.....	28
4.1.1 Potencial hidrogeniônico.....	28
4.1.2 Alcalinidade	29

4.1.3 DQO	29
4.2 Resultados do experimento (biodigestão anaeróbia)	31
4.2.1 Produção de biogás	31
4.3 Concentração de gases	37
4.4 Concentração de sólidos	39
4.5 Rendimento do volume por sólidos adicionados.....	44
4.6 Rendimento do volume por sólidos removidos	45
5 CONCLUSÕES	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura no Brasil e no Estado do Paraná possui grande importância cultural, social e econômica, mas, possui uma baixa qualidade ambiental, acarretando sérios prejuízos ambientais, proporcionando dentre outros, conflitos de usos das águas e degradação da saúde ambiental, devido à elevada capacidade poluente, a concentração de matéria orgânica, coliformes totais e fecais e especialmente às altas concentrações de nutrientes como nitrogênio e potássio. Há certo excesso na utilização de água na higienização das instalações, o que contribui para a alta quantidade de resíduos dispostos no meio ambiente. A criação de animais em confinamento faz com que a produção de dejetos fique concentrado em pequenas áreas, reduzindo assim a área para a disposição desses resíduos. (SOUZA et al., 2009)

Com a alta produção e ao mesmo tempo altos danos ao meio ambiente, é notória a busca pelo melhor aproveitamento dessa fonte potencialmente alta de produção de energia, que é o biogás (CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010).

Um dos processos mais utilizados para a transformação dos resíduos é o da digestão anaeróbia em biodigestores, que tem como produtos biofertilizante e biogás, o qual é utilizado como fonte energética, muitas vezes na própria propriedade agrícola. Estudo aponta um grande potencial de produção de biogás na região Oeste do Paraná de em torno de 4431,4 GJ, apenas para resíduos da criação de aves (SORDI; SOUZA; OLIVEIRA, 2005).

É por meio da digestão anaeróbia de dejetos suínos que produz-se biogás, que depois de tratado pode ser utilizado como fonte de energia, sendo importante também pois reduz os impactos gerados pela atividade suinocultura. A produção do biogás traz uma renda extra para o produtor rural e contribui para a melhoria do ambiente onde a propriedade está localizada. Também, o biogás juntamente com o hidrogênio gera maior unidade de peso que a queima de outros combustíveis, pois produz água e não produz dióxido de carbono, causador do efeito estufa. (SILVA, 2004)

Segundo Powers (1999), a digestão anaeróbia é um tratamento biológico que degrada a matéria orgânica, na ausência de oxigênio. Ela se realiza através de reações bioquímicas que se integram nas etapas de conversão e produção de

muitos componentes, até a obtenção do metano (CH_4). A DA possui diversas vantagens com relação a outros processos, como a conversão da maior parte da carga orgânica do dejetos em biogás, menor geração de lodo e maior recuperação de outros nutrientes.

Para a maior eficiência do processo anaeróbio o pH, alcalinidade, relação de nutrientes, temperatura, amônia, metais pesados e sulfato, devem estar de acordo com as necessidades do processo. O metano é o principal componente do biogás e é considerado um gás nocivo, sendo responsável por 20% do aquecimento global, por isso há a preocupação em aproveitar esse gás por meio de digestores anaeróbios (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 2007).

A importância desse trabalho consiste em identificar as potencialidades de cada sistema no tratamento dos dejetos, sendo assim possível o aproveitamento dentro da própria atividade, sendo no aquecimento, na iluminação, em geradores de energia elétrica, misturadores de rações, de modo a favorecer o proprietário. Dessa forma, contribuindo também para o beneficiamento do meio ambiente, pois minimiza-se o impacto causado pela liberação dos gases de efeito estufa, principalmente o metano (CH_4).

Tomando como base a hipótese de que se faz necessário analisar os efluentes gerados por cada um dos sistemas e fases de criação de suínos, este trabalho tem como objetivo principal estimar o potencial de produção de biogás nestes diferentes sistemas de criação de suínos e fases e sua composição, através da avaliação da vazão e composição do afluente e efluente, remoção da matéria orgânica e sua relação com a geração de biogás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUINOCULTURA

2.1.1. Suinocultura no Brasil

A Suinocultura, um importante setor da pecuária nacional cresceu seu rebanho em 21% nos últimos dez anos, atingindo um rebanho de 39,3 milhões de cabeças em 2011. A consequência deste aumento significativo no rebanho para abate é a geração de carcaças e dejetos, resultando num crescimento de 9,4% do peso total das carcaças de suínos (IBGE, 2013). Esse crescimento também se deve pelo resultado de avanços, como o aumento da produtividade do rebanho industrial e investimentos em granjas já instaladas. (HERNANDES, 2010)

Com o intuito de aumentar a produtividade e qualidade da carne produzida no Brasil, especialistas e produtores investiram em evolução genética, o que permitiu uma redução na gordura da carne (31%), do colesterol (10%) e das calorias (14%), através de uma alimentação controlada, a base de milho e soja (FRIGG, 2012). E foi através dessa alimentação que tem o custo reduzido dos insumos que a carne suína brasileira foi inserida nos mercados da Rússia, Hong Kong e Ucrânia, sua maioria *in natura* (86%) (MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO, 2014).

O Brasil encontra-se atualmente como o quarto país no ranking mundial na produção de suínos. Em 2016, a produção foi de 3.710 mil toneladas de carne suína, ficando atrás da China, maior produtora, União Europeia e Estados Unidos. Com relação as exportações, também encontra-se no quarto lugar, com 900 mil toneladas, atrás da União Europeia, Estados Unidos e Canadá (EMBRAPA, 2016). Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2016), o Brasil exporta carne suína para mais de 80 países.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016), em 2015 o número de cabeça de suínos no Brasil era de 40,33 milhões, 6,3% a mais que em 2014. O Produto Interno Bruto (PIB) da suinocultura, no ano de 2015 foi de R\$

62,576 bilhões e a movimentação de toda a cadeia produtiva de suínos foi de R\$ 149,867 bilhões. O número de granjas de produção foi de 3,1 mil e de engorda quase 15 mil (ABCS, 2016).

As atividades relacionadas a suinocultura empregam cerca de 216 mil pessoas, sendo na criação de suínos, aproximadamente 35 mil empregos (ABCS, 2016).

2.1.2. Suinocultura no Paraná

Em 2015, o rebanho no Paraná foi de 7.134.055 cabeças, representando 17,7% do total nacional, ficando a frente dos demais estados do Sul (Rio Grande do Sul e Santa Catarina). No entanto, quando se fala em produção (kg), o Paraná ocupa o segundo lugar no ranking nacional, sendo que produziu 777.744.913 kg de carne suína (IBGE, 2016).

Como nos demais estados do Sul, também no Paraná a distribuição de suínos encontra-se concentrada. A região Oeste abrigou 60% do rebanho do estado, em 2015. De acordo com o Relatório de Produção da Pecuária Municipal (IBGE, 2016), a cidade de Toledo esteve entre as três cidades com maiores contingentes de suínos alojados no Brasil. Em 2015, seu valor bruto de produção foi de R\$ 2.064.674.642, representando 46,5% do total registrado no Estado. Cascavel, cidade próxima a Toledo, aparece em segundo lugar, representada por 17,1% de participação.

Segundo a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB, 2016), há aproximadamente 135.000 produtores de suínos no Paraná, o que pode representar 200 mil empregos diretos e 300 mil empregos indiretos. Para tal, foi considerado que, no Paraná, existem 105 mil produtores ocasionais ou para consumo próprio, 23 mil produtores com escala menor e 7 mil produtores comerciais com grande escala.

Os sistemas de produção levam em consideração a categoria de animais previstas na criação, mostrados no Quadro 1:

Sistema	Fase	Categoria
SISTEMA 1	Cobertura/reprodução	Reprodutor, fêmea para reposição e matriz em gestação
	Maternidade	Matriz em lactação
	Creche	Leitão até 25 kg
SISTEMA 2	Cobertura/reprodução	Reprodutor, fêmea para reposição e matriz em gestação
	Maternidade	Maternidade
	Creche	Matriz em lactação e leitão até 25 kg
	Crescimento e terminação	Leitão até 25 kg
SISTEMA 3	Crescimento e terminação	Suínos com peso acima de 25 kg

Quadro 1- Sistema de criação de suínos. Fonte: Instituto Ambiental do Paraná, 2018

2.1.3 Impactos ambientais

Uma grande preocupação é o impacto causado no solo quando os resíduos (dejetos) não são dispostos sem o devido tratamento causando desequilíbrio nas propriedades físicas e químicas do solo, bem como a presença de micro-organismos patogênicos que podem causar doenças em pessoas e animais.

Os dejetos de suínos em sua grande proporção são constituídos por matéria orgânica biodegradável, a qual os organismos possuem a capacidade de degradar a matéria orgânica e método de quantificação é analisar a concentração de DBO de cinco dias a 20 graus celsius. Além da matéria orgânica, o dejetos é constituído por nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato (N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃), e ortofosfato (P-PO₄) e minerais (SANTOS et al., 2007).

Apesar de grande eficiência energética, as granjas de suínos causam impactos adversos no meio ambiente, os elevados níveis de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, sais e bactérias contidos nos dejetos constituem em risco ao meio ambiente e a saúde da população. Gases e poeiras são lançados diretamente no ar podendo causar danos as pessoas diretamente ligadas a manutenção das granjas a saúde dos próprios suínos se o ambiente não apresentar boa ventilação. Os despejos de dejetos suínos aos recursos hídricos resultam do rápido aumento populacional das bactérias e consumo do oxigênio dissolvido na água. As bactérias são as principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Se o corpo d'água contem oxigênio dissolvido (OD) e matéria orgânica, os organismos envolvidos diminuirão a qualidade da água acarretando prejuízos à biota aquática (PERDOMO; DE LIMA; NONES, 2001).

2.1.4 Legislação ambiental na suinocultura

Todo corpo de água, doce, salina ou salobra, possui sua classificação pela Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, esta resolução também da diretriz para seu enquadramento e estabelece alguns parâmetros no que se refere à qualidade da água para uso doméstico e industrial. A água do Território Nacional é classificada em quatro classes de qualidade: Classe especial; Classe I; Classe II e Classe III. A água de melhor qualidade pode ser aproveitada em uso menos exigente, onde o padrão de qualidade é inferior para a classe III. Segundo a resolução de nº 357, a classe do corpo hídrico (água doce) para a prática da aquicultura e atividades de pesca é estabelecida como classe II, além desta prática, poder ser destinada ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho e à irrigação de hortaliças.

A legislação que rege o gerenciamento dos recursos hídricos foi instituída em 1997 pela Lei nº 9.433 a Política Nacional de Recursos Hídricos. Esta lei fundamenta a água como um bem de domínio público. Para sua utilização a fins industriais, como por exemplo, utilização na suinocultura, necessita apresentar instrumentos comprovando sua adequada captação e uso, são eles: Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes segundo a

resolução nº 357; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; a compensação a municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Esta lei também traz as infrações e penalidades para pessoa física ou jurídica que infringir a lei. As condições e padrões de lançamento dos efluentes gerados em uma organização, é regido pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, complementa e altera a resolução de nº 357. Na resolução nº 430, são definidos parâmetros físico-químicos para os efluentes, onde devem ser monitorados, controlados e tratados pela organização, e despejado em corpo receptor dentro dos parâmetros definidos, comprovando através de laudos laboratoriais, seu despejo adequado no ponto de lançamento, a jusante e a montante do corpo receptor.

2.1.5 Tratamento dos efluentes, resíduos líquidos e sólidos

Resolução SEMA 031/98 de 24 de agosto de 1998, define a classificação feita pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) de acordo com o sistema de criação de cada propriedade suinícola: ar livre, confinamento e misto. O sistema de produção leva em consideração a categoria dos animais nas criações, sendo sistema 1: produção de leitões; sistema 2: ciclo completo; sistema 3: terminação. O licenciamento ambiental é definido como um mecanismo para que o empreendimento possa funcionar, sendo mostrado em três etapas: licença prévia, licença de instalação e licença de operação.

Com relação aos efluentes líquidos e resíduos sólidos, a Resolução SEMA 031/98 define padrões para composição. Se esses padrões não forem alcançados, é necessário que esses dejetos sejam tratados previamente e também tratamento específico quando usados para aplicação no solo, por exemplo.

2.2 Processo de digestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia por meio de biodigestores é muito antiga no Brasil. Seu ápice foi nas décadas de 70, mas depois teve um descrédito, devido a falta de tecnologias e de conhecimento técnico. A partir da década de 90, novamente

ganhou força, visto que é uma alternativa que agrega valor ao dejetos, sendo possível ter dois subprodutos através de sua transformação (KUNZ; OLIVEIRA; HIGARASHI; 2005)

Diferentemente do que ocorre no processo aeróbio, a degradação da matéria orgânica por via anaeróbia apresenta maior grau de complexidade, pois demanda a participação de diferentes grupos microbianos com funções diferenciadas. A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, onde cada micro-organismo tem uma função essencial (CHERNICHARO, 1997).

As arqueas metanogênicas desempenham duas funções primordiais: produzem o gás metano, possibilitando a remoção do carbono orgânico do ambiente anaeróbio, além de utilizarem o hidrogênio, favorecendo o ambiente para que as acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, o qual é convertido a metano (CHERNICHARO, 1997).

A etapa denominada metanogênese é conduzida por um grupo muito específico de microrganismos: as arqueas hidrogenotróficas e acetotróficas. As arqueas juntamente com os microrganismos homoacetogênicas utilizam o CO_2 como aceptor de elétrons e realizam a respiração anaeróbia (SANT'ANNA, 2013).

No processo anaeróbio, são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos como nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) ou dióxido de carbono (CO_2). A digestão anaeróbia de compostos orgânicos é, normalmente, considerada um processo de seis estágios. No primeiro estágio, um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias, denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas, convertem os orgânicos complexos em outros compostos. Compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo estágio, ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico (CHERNICHARO, 1997). De um modo geral, as principais biotransformações que ocorrem durante a degradação anaeróbia da matéria orgânica são a hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese.

2.2.1 Hidrólise

Neste processo o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular. É através das enzimas hidrolíticas que são excretadas por diversas espécies microbianas que degradam as proteínas formando aminoácidos. Os carboidratos transformam-se em açúcares e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa. (FORESTI, 1999)

Na anaerobiose, a hidrólise dos polímeros usualmente ocorre de forma lenta, sendo vários os fatores que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado: temperatura operacional do reator; tempo de residência do substrato no reator; composição do substrato (teores de lignina, carboidrato, proteína e gordura); tamanho das partículas; pH do meio; concentração de NH_4^+ ; concentração de produtos da hidrólise (ácidos graxos voláteis) (LETTINGA, 1995).

2.2.2 Acidogênese

As substâncias resultantes da etapa de hidrólise são fermentadas, gerando ácidos carboxílicos de cadeia curta, os chamados ácidos voláteis (fórmico, acético, propiônico, butírico e valérico). Nas condições prevalentes no meio racional (pH, temperatura) esses ácidos se apresentam na forma dissociada, sendo referidos como formiato, acetato, propionato entre outros (SANT'ANNA, 2013).

2.2.3 Fermentação acetogênica

Essa é uma das etapas críticas do processo, sendo conduzida por um grupo de bactérias denominadas acetogênicas, as quais estabelecem relação de simbiose com as arqueas metanogênicas e as bactérias homoacetogênicas. Nessa etapa os ácidos de maior cadeia são transformados em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono (formiato e acetato) com concomitante produção de hidrogênio. Como será visto mais adiante, a transferência de hidrogênio entre espécies é um fato essencial para que ocorra a conversão dos ácidos de maior cadeia a acetato e formiato (SANT'ANNA, 2013).

2.2.4 Metanogênese

Nesta fase, as *archeas* metanogênicas metabolizam os ácidos formados na fase anterior. Dentre elas, destacam as que utilizam o acetato (*Methanosarcina spp.* e *Mathanotrix spp.*) e as que utilizam o hidrogênio (*Methanobacterium spp.* e *Methanococcus spp.*) (MIRANDA, 2009). Os compostos gerados na etapa anterior são metabolizados, havendo a desassimilação de metano e dióxido de carbono (GRANATO, 2003).

As *archeas* metanogênicas são os principais responsáveis pela efetiva mineralização, transformando compostos orgânicos de pequena cadeia, contendo, em geral, um e dois átomos de carbono em metano e gás carbônico ou produzindo metano e água a partir de H₂ e CO₂. A produção de metano resulta de metabolismo complexo e diferenciado quanto aos substratos de partida. Várias enzimas têm papel fundamental e, ademais, cofatores enzimáticos desempenham papel relevante como transportadores de carbono ou como fornecedores de elétrons nas reações de oxirredução. A via metabólica de produção redutiva de metano parece estar mais elucidada e envolve a redução do CO₂ ao grupo formila, posterior redução deste para metileno e em seguida para metila e, finalmente redução do grupo metila a metano (SANT'ANNA, 2013).

2.2.5 Sulfetogênese

A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante este processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas bactérias redutoras de sulfato. Estas bactérias são consideradas um grupo muito versátil de micro-organismos, capazes de utilizar uma ampla gama de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos (CHERNICHARO, 1997).

2.2.6 Fatores operacionais e ambientais

De acordo com Chernicharo (1997), alguns fatores podem influenciar no processo de biodigestão. São eles: pH, alcalinidade, ácidos voláteis, temperatura, presença de nutrientes e materiais tóxicos.

Dependendo da maneira em que o pH se manifesta, ele pode afetar as atividades das enzimas microbianas e alterar o equilíbrio químico de alguns compostos presentes na digestão anaeróbia (BRUNO, 2007). Nuvolari (2003) indica que se houver o aumento de ácidos voláteis, haverá a queda do pH, se a alcalinidade presente não for suficiente para tamponar essa queda.

ECKENFELDER JR (2000), descreve o pH ideal aquele que estiver próximo a 7,0 podendo variar de 6,6 e 7,6. Só assim é possível alta produção de metano no processo de anaerobiose.

As atividades dos microorganismos presentes na biodigestão anaeróbia dependem completamente da temperatura. O grupo metanogênico é o mais afetado, se a temperatura não estiver adequada, isso porque apresenta um intervalo de temperatura muito restrito de atividade (BRUNO, 2007). Segundo Zaher et al. (2014), a temperatura ideal para a digestão anaeróbia é a faixa mesofílica (entre 20 e aproximadamente 45°C), mais precisamente 35°C. Quando um biodigestor é mantido entre 30 e 37°C, tem seu funcionamento favorável. As bactérias que operam nessa faixa de temperatura são mais resistentes e podem tolerar mudanças maiores nos fatores ambientais. Souza (1984) descreve como mais importante do que operar em temperatura ótima, é que não haja variações significativas na temperatura.

Chernicharo (1997) considera a toxicidade um dos principais empecilhos para um eficiente processo de digestão anaeróbia, pois as arqueias metanogênicas são sensíveis e vulneráveis. De acordo com Zaher et al. (2007), são considerados agentes tóxicos os metais pesados (cobre, níquel), detergentes, óleos, também sais minerais como o sódio, potássio e enxofre.

2.3 Biogás

O biogás é um subproduto da digestão anaeróbia de matéria orgânica, consistindo em uma mistura gasosa contendo principalmente metano e dióxido de carbono, além de compostos em menor concentração, como vapor d'água e sulfeto de hidrogênio. A concentração dos componentes encontra-se na Tabela 1 (FNR,

2010).

Tabela 1 - Concentração dos componentes do biogás

COMPONENTE	CONCENTRAÇÃO
Metano (CH ₄)	50%-75% em volume
Dióxido de carbono (CO ₂)	25%-45% em vol.
Água (H ₂ O)	2%-7% em vol. (20-40 oC)
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20-20.000 ppm
Nitrogênio (N ₂)	<2% em vol.
Oxigênio (O ₂)	<2% em vol.
Hidrogênio (H ₂)	<1% em vol.

Fonte: FNR, 2010.

O biogás é uma mistura gasosa e combustível, produzida através da digestão anaeróbia, ou seja, através da biodegradação de matéria orgânica pela ação de bactérias na ausência de oxigênio (GUSMÃO, 2008).

A composição do biogás varia principalmente conforme a temperatura no interior do biodigestor, o resíduo com que é alimentado e o tempo de retenção hidráulica. O metano, que é o gás predominante na composição do biogás, é inodoro, insípido e incolor. Devido à presença do metano, o biogás é um gás inflamável, com valores caloríficos que variam conforme a porcentagem de metano. Com isso, é possível a utilização do biogás como substituto de muitos combustíveis (RANZI ET AL., 2004).

A utilização do biogás, oriundo da digestão anaeróbia, tem sido afirmada como uma opção de grande eficiência no tratamento dos dejetos de animais. É importante lembrar que este tipo de resíduo deve receber devida atenção, caso mal manejado, pode ser extremamente prejudicial ao meio ambiente, produzindo gás

metano, impactando negativamente na qualidade do ar atmosférico, assim como infiltrar no solo, causando sérios problemas ao alcançar ao lençol freático (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Gusmão (2007) mostrou algumas vantagens na utilização do biogás, pois sendo uma energia renovável, apresenta um potencial na recuperação, no tratamento de resíduos, ambientalmente e economicamente.

- Processo natural para tratamento de resíduos orgânicos;
- Requer espaço físico menor que compostagem;
- Há diminuição do volume a ser descartado;
- Produz um combustível de alta qualidade;
- Benefícios da reciclagem/reaproveitamento da matéria orgânica;
- Produz como resíduo, o biofertilizante, rico em nutriente, assim agregando valor;
- Há redução significativa nas emissões de dióxido de carbono e de metano na atmosfera;
- Reduz o odor nas vizinhanças e contaminação do lençol freático;
- Dependendo do tamanho da propriedade, a economia pode vir a curto ou longo prazo, pois reduz ou até cessa gastos com eletricidade, transporte de combustível, descarte de resíduos.

Mesmo quando não há a utilização total do biogás produzido, sua queima é válida, mesmo produzindo dióxido de carbono, isso porque o metano na atmosfera causa um impacto cerca de 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (RANZI; ANDRADE, 2004)

A criação de novas fontes energéticas descentralizadas e em pequena escala é de suma importância para o desenvolvimento sustentável. Para pequenos produtores que não demandam de altas tecnologias ou mão de obra especializada para manuseio e execução, é uma ótima fonte para reduzir sua dependência das concessionárias de energia (COLDEBELLA, 2006).

Esperancini et. al. (2007) avaliaram a utilização de biogás gerado através de dejetos suínos em um assentamento rural, com o objetivo de reduzir custos com energia. Foi possível observar uma economia considerável com energia no aquecimento e iluminação do local e o investimento foi recuperado em 2 anos e meio.

O estudo do potencial de geração de biogás permite avaliar as reais alternativas que as propriedades apresentam, sendo que o uso de biodigestores e conseqüentemente a geração de metano podem gerar energia térmica, elétrica e mecânica. (MAPA, 2016)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização das propriedades

Para o presente estudo, foram escolhidas propriedades com três tipos de sistema de criação de suínos e também avaliar o potencial de produção desses diferentes sistemas. Por isso, escolheu-se duas propriedades com sistema de unidade de produção de leitões (UPL), sistema composto por matrizes e por leitões com peso entre 6 e 25 kg, duas propriedades com sistema de produção creche, sendo os leitões desmamados e três propriedades com sistema de criação crescimento e terminação (CT), cujo sistema é caracterizado por receber leitões desmamados e criarem até o abate, podendo chegar a 100 Kg.

Dentre as 7 propriedades escolhidas, 6 situam-se na Bacia do Rio Paraná 3, extensa região localizada no oeste do Paraná e sul do Mato Grosso do Sul. A localização aproximada das 6 propriedades aparece na Figura 1, em pontos vermelhos.



Figura 2 - Bacia do Rio Paraná 3

A única propriedade que se encontra fora da Bacia do Rio Paraná 3 está localizada em Serranópolis do Iguaçu que pertence a Bacia do Rio Iguaçu e caracteriza-se como UPL. O município encontra-se a uma altitude de 320 metros acima do nível do mar, na Latitude de 25° 22' 48" S e Longitude 54° 03' 06" W a oeste de Greenwich. O clima é subtropical úmido. Nesta UPL, a quantidade de matrizes ultrapassa 5 mil e a de leitões fica em torno de 19 mil. Com 20 dias são separados das matrizes e permanecem na creche por mais 43 dias, sendo levados para outros locais de crescimento e terminação.

A outra UPL encontra-se em Itaipulândia, município localizado a 265 metros acima do nível do mar, na Latitude 25° 08' e 54° 18' longitude. O clima subtropical úmido, com média de temperatura anual entre 19°C e 21°C. Nesta unidade há em torno de 26 mil suínos, sendo 20 mil matrizes e 6 mil leitões.

As unidades Creches estão localizadas no município de Quatro Pontes. Quatro Pontes está situado no extremo Oeste do Estado do Paraná, em torno do ponto 24°35' de latitude sul e 54°00' de longitude Oeste, a uma amplitude média de

410 metros sobre o nível do mar. Clima subtropical Úmido Mesotérmico, com verões quentes com tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22 °C), invernos com geadas pouco freqüentes (Temperatura média inferior a 18 °C), sem estação seca definida. Nestas unidades, os leitões chegam com 24 dias e ficam no local até completarem 70 dias, sendo levados para as unidades de crescimento e terminação. Ambas propriedades possuem biodigestores, no entanto, por problemas técnicos, não estão em funcionamento.

As três propriedades caracterizadas como crescimento e terminação, estão no município de Santa Helena que possui coordenadas de latitude: 24° 51' 37" S Longitude: 54° 19' 58" W. Apresenta um clima quente e temperado. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano até mesmo no mês mais seco do ano.

3.2 Tratamento dos dados

Foram realizados 7 tratamentos (Creche 1 e 2, Terminação 1,2 e 3 e UPL1 e 2) e cada tratamento com 3 repetições, totalizando 21 biodigestores em batelada. Os tratamentos foram identificados como: Creche 1: T1; Creche 2:T2; Terminação 1, 2 e 3: T3,T4 e T5, respectivamente; UPL 1: T6; e UPL 2: T7.

No software Microsoft Excel avaliou-se percentual de sólidos fixos, totais e voláteis, a eficiência da remoção de ST e SV, rendimento do volume de biogás com relação a sólidos totais e voláteis adicionados e removidos, produção total de biogás, relação SV/ST e a eficiência da DQO, em cada tratamento, utilizando-se de gráficos e tabelas.

Para os dados de ST, STF e SV realizou-se a análise de variância através do software SISVAR.

3.3 Delineamento experimental

Cada sistema de criação foi chamado de um tipo de tratamento, sendo assim, resultou-se num total de 7 tratamentos, sendo eles:

- ✓ Tratamento 1 (T1) - Creche;
- ✓ Tratamento 2 (T2) - Creche;
- ✓ Tratamento 3 (T3) - Terminação;
- ✓ Tratamento 4 (T4) - Terminação;
- ✓ Tratamento 5 (T5) - Terminação;
- ✓ Tratamento 6 (T6) - UPL;
- ✓ Tratamento 7 (T7) - UPL.

3.4 Coleta de dados

A coleta dos dejetos suínos foi realizada nos dias 29 e 30 de dezembro de 2017. Com um recipiente de plástico, os dejetos foram coletados antes da entrada no biodigestor. Onde havia acúmulo de matéria, houve agitação antes do procedimento.

Para verificar o potencial de produção de biogás foi utilizado o modelo proposto por Soethe (2014), que consiste em uma câmara cilíndrica em polietileno com volume de 1000 litros. Foram acoplados com argamassa ao fundo da caixa d'agua 24 tubos de 150mm de diâmetro, com altura de 50 cm. Dentro desses tubos foram acoplados tubos de 75mm de diâmetro, onde foram armazenados os dejetos recolhidos nas propriedades. Justaposto a esse tubo, ficou o de 100mm, o qual se deslocava verticalmente a medida que o gás fosse produzido.

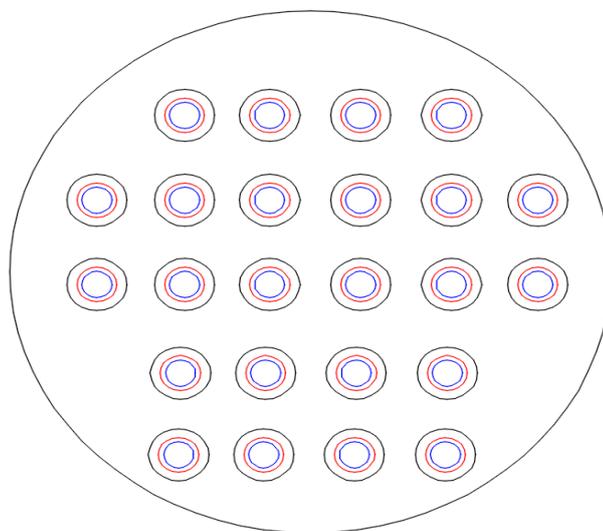


Figura 3 - Esquema de montagem do sistema visto de cima

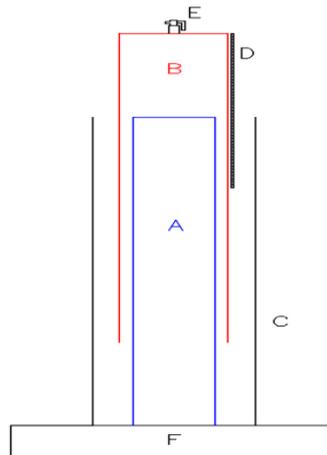


Figura 4 - Detalhe em corte do esquema dos gasômetros

Onde, A: volume da biomassa (tubo 75mm); B: Volume do gás (tubo 100mm); C: Tubo 150 mm; D: régua medidora presa ao tudo de 100mm e E: Gasômetro.

O dejetto suíno foi colocado no tubo A, entre o tudo C e B foi adicionado água, de modo a servir como solução barreira contra o vazamento de gás produzido. Foi utilizada uma régua de 30 cm para medir o deslocamento do tubo, sendo esta presa ao biodigestor de 100mm. Para obtenção do volume produzido do gás, multiplico-se a área do cilindro pelo valor do deslocamento da régua.

Para esse cálculo multiplicou-se o valor da área do biodigestor X deslocamento da régua (cm).

$$\text{Volume: } \text{Área} \times \text{RD}$$

Sendo, $A = \pi r^2$ e RD: régua deslocada em cm



Figura 5 - Caixa d'água com os 24 biodigestores



Figura 6 - Tubo de 100mm com a régua medidora presa

Dentro dessa câmara ficaram dispostos os 24 biodigestores, construídos a partir do modelo citado por CASTRO E CORTEZ (1998).

O protótipo foi alimentado uma única vez, com o volume de 1250 mL de dejetos suínos e permaneceu em digestão anaeróbia, sendo monitorado durante todo o processo.



Figura 7 - Válvula para liberação do gás produzido

O gás produzido no biodigestor foi liberado por uma válvula. Para a completa vedação dos orifícios presentes nesse tubo, foi utilizado cola de silicone, sendo realizados testes antes de iniciar o experimento, mostrando-se um excelente vedador.

A caixa d'água permaneceu em uma estufa, nas dependências da Unioeste, protegida da chuva e do tempo.

3.5 Parâmetros analisados

A caracterização das amostras consistiu em analisar alguns parâmetros físico-químicos para obter conclusões da operação do sistema. As análises que foram realizadas foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO); sólidos totais (ST); sólidos totais fixos (STF); sólidos totais voláteis (STV); alcalinidade e potencial hidrogeniônico (pH). Foram realizadas duas etapas de análises, uma para caracterizar as amostras anteriores ao experimento e outra etapa após concluído o experimento com os biodigestores. As análises foram realizadas no laboratório de

Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Cascavel. A cidade de Cascavel localiza-se na latitude 24° 57' 21" S e longitude 53° 27' 19" W e altitude de 781 m.

3.6 Metodologia para determinação de sólidos

A metodologia utilizada para a análise dos sólidos partiu do proposto por VENZON (2017) para determinação de produção de biogás a partir da codigestão da cama de frango e água residuária de abatedouro de suínos. As análises dos sólidos foram divididas em sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV).

3.6.1 Sólidos Totais (ST)

Uma cápsula de porcelana bem lavada foi aquecida na mufla a 550°C por, no máximo, 1 hora. Após esta etapa, transferiu-se a cápsula para um dissecador, com o auxílio de uma pinça de metal onde se aguarda o resfriamento por 1 hora.

A cápsula resfriada foi pesada em uma balança analítica e o peso em gramas será chamado de **P1**. Com o auxílio de uma balança, 10 gramas da amostra foram transferidas para as cápsulas anteriormente preparadas. A amostra foi transferida para a estufa a 105°C por 24 horas. Com o auxílio de uma pinça, a amostra retornou ao dissecador para esfriar por uma hora.



Figura 8 - Mufla e balança



Figura 9 - Cadinhos dentro da estufa

Após este período, a massa (**P₂**) da cápsula mais os sólidos retidos poderão ser determinados, o cálculo foi dado pela Equação 01.

$$Mst = \frac{(P2 - P1)}{M0} \quad (01)$$

Onde **Mst** é a massa de sólidos totais, em gramas; **P₂** é o peso da cápsula mais os sólidos totais da amostra, em gramas; **P₁** é o peso da cápsula vazia, em gramas; **M₀** é o peso inicial da amostra, em gramas

Para determinação da eficiência de remoção de sólidos totais de cada biodigestor, foi utilizada a equação 02:

$$Rst = \frac{(Stf - Sti)}{Stf} \cdot 100 \quad (02)$$

Onde: Rst é a eficiência de remoção de sólidos totais (%); Stf é o sólido total final em gramas; Sti é o sólido total inicial em gramas.

3.6.2 Sólidos totais fixos (STF)

A amostra foi submetido à ignição a 550°C por no máximo 60 minutos em uma mufla.



Figura 10 - Mufla e cadinhos com a amostra pronta para pesagem

A amostra foi resfriada no dissecador por 60 minutos e então pesada, o peso em gramas determinado é anotado como **P3**. A fração orgânica foi oxidada a essa temperatura e foi eliminada em forma de gás. A fração inorgânica permaneceu em forma de cinzas, conhecido como Sólidos Totais Fixos. Os STF podem ser calculados de acordo com a Equação 03.

$$M_{stf} = \frac{(P3 - P1)}{M0} \quad (03)$$

Onde: **Mstf** é a massa de sólidos totais fixos, em gramas; **P3** é o peso da cápsula mais os sólidos totais fixos da amostra, em gramas; **P1** é o peso da cápsula vazia, em gramas; **M0** é o peso inicial da amostra, em gramas.

3.6.3 Sólidos totais voláteis (STV)

Esta determinação refere-se ao material orgânico dos sólidos em suspensão. É obtido pela diferença entre os resultados dos ST e os STF. Os STV podem ser calculados de acordo com a Equação 04.

$$Mstv = \frac{(P2 - P3)}{M0} \quad (04)$$

Onde: **Mstv** é a massa de sólidos totais voláteis, em gramas; **P3** é o peso da cápsula mais os sólidos totais fixos da amostra, em gramas; **P2** é o peso da cápsula mais os sólidos totais da amostra, em gramas; **M0** é o peso inicial da amostra, em gramas.

Para determinação da eficiência de remoção de sólidos voláteis de cada biodigestor, será utilizada a equação 05:

$$Rsv = \frac{(Svi - Svf)}{Svi} \cdot 100 \quad (05)$$

Onde: Rsv é a eficiência de remoção de sólidos voláteis (%); Svf é o sólido volátil final em gramas; Svi é o sólido volátil inicial em gramas.

3.7 Rendimento Volume/ST E Volume/SV

Para cálculo de rendimento do volume pelos sólidos totais e voláteis, foi utilizada a seguinte equação:

$$Rsv = \frac{V}{RBsv} \quad (06)$$

Onde: RB/SV = rendimento do biogás em relação a sólidos voláteis (m³/g);

V = volume do biogás (m³);

RSV = remoção de sólidos voláteis (g).

3.8 Metodologia DQO (colorimétrico)

Para análise da DQO foi utilizado o método colorimétrico 5220D de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), visando a obtenção de resultados reprodutíveis para amostras com valores de DQO maiores que $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Foi utilizada a metodologia de preparo da amostra para diluição da matéria orgânica.

Inicialmente foi colocado biftalato de potássio (2 g) seco em estufa durante 12 horas. Transcorrido este tempo foi realizada uma diluição de 0,425 g do biftalato em 1 litro de água destilada, obtendo-se uma concentração de 500mg/L .

Em seguida foram feitas novas diluições em quatro balões de 100 mL. No 1º balão serão adicionados 20 mL da solução, no 2º serão 40 mL, no 3º foram 60 mL e no 4º foram 80 mL, completando o volume de todos com água destilada. Desta foram obtidas diferentes concentrações para elaborar a curva de calibração: 100 mg/L , 200 mg/L , 300 mg/L , 400 mg/L , e 500 mg/L . Em um tubo de ensaio (16 x 10mm), foram adicionados 2,5 mL de amostra, 1,5 mL de solução digestora (dicromato de potássio e sulfato de mercúrio) e 3,5 mL do reagente ácido. Foram colocados os tubos com as amostras e o branco (tubo utilizando água destilada ao invés da amostra) no bloco digestor, pré-aquecido a uma temperatura de 150°C por 2 horas.

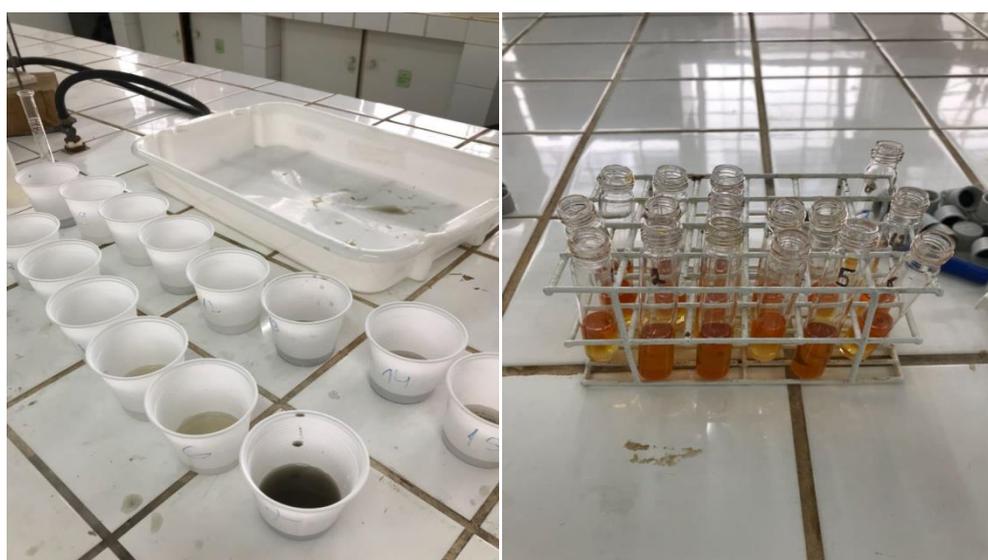


Figura 11 - Amostras diluídas e em tubos

Depois da digestão, foi esfriada a temperatura ambiente para iniciar as leituras com o espectrofotômetro modelo DR 2800 N/S 1261220, Versão 1.03 e precisão de +-1,5nm.

3.9 Alcalinidade

A metodologia seguiu o prescrito no manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltados para análises de águas e esgotos sanitário e industrial da escola politécnica da Universidade de São Paulo.

Inicialmente foi obtido 100 mL da amostra e introduzida em erlenmeyer de 250 mL. Foi colocado o erlenmeyer em agitador magnético e introduzido o pHmetro para efetuar as leituras. No mesmo instante, foi utilizada uma bureta de 50 mL com H₂SO₄ 0,02N e acoplado ao conjunto bécker/eletrodo. Aguardar a estabilização do valor do pH original da amostra, e iniciou-se a titulação com ácido sulfúrico 0,02N. Titulou-se até o pH 8,3, e anotar o volume gasto V1 (caso a amostra tenha um pH original menor que 8,3 desconsidere este passo devido a amostra não conter alcalinidade mineral. Prosseguiu-se a titulação até pH 4,5 e anotar o volume gasto V2. Os volumes gastos na titulação foram utilizados nas equações 07 e 08.

Alcalinidade mineral:

$$AM = \frac{N \cdot V1 \cdot 50000}{Va} \quad (07)$$

Onde: **AM** é a alcalinidade mineral, em mg.L⁻¹ de CaCO₃; **N** é a normalidade do ácido padronizado; **V1** é o volume gasto de ácido sulfúrico 0,02N na titulação até pH 8,3, em mL; **Va** é o volume da amostra, em mL.

Alcalinidade Total:

$$AT = \frac{N \cdot V2 \cdot 50000}{Va} \quad (08)$$

Onde: **AT** é a alcalinidade mineral, em mg.L^{-1} de CaCO_3 ; **N** é a normalidade do ácido padronizado; **V2** é o volume gasto de ácido sulfúrico 0,02N na titulação até pH 4,5, em mL; **Va** é o volume da amostra, em mL.

3.10 Medição e avaliação da composição do biogás

A medição da composição do biogás foi realizada através de um medidor portátil LANDTEC GEM 5000, apresentado na Figura 4.



Figura 12 - Aparelho GEM 5000 - LANDTEC

Esse medidor portátil faz a detecção simultânea e contínua dos gases através de sensores infravermelhos e eletroquímicos, independentes. Os principais gases que o aparelho pode medir são CH_4 , CO_2 e O_2 .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização físico-química

4.1.1 Potencial hidrogeniônico

Assim como na temperatura, o pH é um fator importante para o bom desempenho da digestão anaeróbia. Segundo Oliveira (2012), as bactérias que participam desse processo são muito sensíveis a valores mais baixos que 7 e também muito superiores a esse valor. Na Tabela 2, pode-se observar os valores de pH do afluente e do efluente.

Tabela 2 - Potencial Hidrogeniônico do afluente (AF) e valores médios do efluente (EF)

TRATAMENTO	pH-AF	pH-EF	VARIAÇÃO	CV(%)
T1	7,15	7,67	+	6,82
T2	7,06	7,42	+	4,94
T3	6,68	7,81	+	14,47
T4	6,48	7,00	+	8,34
T5	6,49	7,83	+	17,11
T6	6,78	7,45	+	8,99
T7	6,98	7,48	+	6,73

Em todos os tratamentos houve mudanças nos valores de pH, sendo que não houve correção do mesmo durante o experimento, de modo a garantir as condições operacionais a qual estão submetidos os biodigestores nas propriedades. Para o afluente, o menor valor encontrado foi no T4, porém ainda encontra-se em um valor aceitável para digestão anaeróbia. Segundo Henn (2005), valores abaixo de 6,60 podem ter sofrido a influência da acidez total presentes nos dejetos que já estavam armazenados no local da coleta.

Todos os demais tratamentos, tanto para afluente, como para efluente, apresentaram valores dentro da faixa citada por Chernicharo (2007), o que facilita o crescimento das arqueas metanogênicas.

4.1.2 Alcalinidade

Segundo Metcalf e Eddy (1991), para que haja o tamponamento do sistema, os valores de alcalinidade devem estar entre 1000 e 5000 mg/L. A Tabela 3 mostra os valores obtidos no afluente e no efluente de cada tratamento.

Tabela 3 - Valores do afluente e valores médios do afluente para alcalinidade

TRATAMENTO	Alcalinidade (mg. L ⁻¹ CaCO ₃)		CV (%)
	Afluente	Efluente	
T1	2750.0	3039.2	7.06
T2	1052.6	1967.1	42.83
T3	4500.0	4781.5	4.29
T4	3250.0	1807.8	40.32
T5	1900.0	1933.3	1.23
T6	2000.0	3391.7	36.50
T7	2100.0	3443.4	34.27

De acordo com os valores de pH, percebe-se que a alcalinidade foi suficiente para manter esses valores entre 6,6 e 7,6. Segundo Bohr (2010), é necessária que a alcalinidade do sistema seja suficientemente elevada, de modo a provocar o tamponamento do pH, evitando o acúmulo de ácidos graxos voláteis, o que pode provocar o colapso no sistema. Em todos os tratamentos houve uma elevação da alcalinidade, mantendo o efeito tampão dentro dos 21 biodigestores.

4.1.3 DQO

Pelos resultados obtidos, para o afluente mostraram que os tratamentos T3, T4 e T5 foram os mais concentrados, isso se deve ao fato de grande parte dos animais presentes nessas propriedades estarem em fase de terminação. Para os demais tratamentos, a concentração era mais diluída também pelo fato do alto uso

de água no manejo das granjas. Medri (1997), apresenta o valor médio para DQO em dejetos suínos como sendo 21647 mg/L. Henn (2005) mostra que esses valores podem chegar até 43360mg/L. Os valores apresentados de dejetos suínos estão na Tabela 4 e mostram estar dentro da faixa proposta pelos autores.

Tabela 4 - Valores de DQO(mg.L⁻¹) para o afluente e efluente

TRATAMENTO	Afluente	Efluente (média)	Desvio Padrão	CV(%)
T1	20429.4	12084.4	5900.82	36.30
T2	17669.1	9452.5	5810.04	42.84
T3	34102.4	9431.1	17445.26	80.15
T4	31791.5	13539.4	12906.16	56.94
T5	33460.5	14395.3	13481.11	56.34
T6	24152.6	10137.2	9910.36	57.80
T7	21135.5	10137.2	7776.98	49.74

Com base nos resultados da DQO citados acima, foi possível calcular a eficiência de remoção deste parâmetro ao finalizar o experimento. De acordo com os resultados, a eficiência de remoção da DQO variou entre 40 e 72%, como mostra a Tabela 5:

Tabela 5 - Percentual de eficiência de remoção da DQO e desvio padrão

TRATAMENTO	Eficiência (%)	Desvio Padrão	CV
T1	40.848	13.736	33.63
T2	46.503	12.223	26.29
T3	72.345	0.392	0.54
T4	57.412	1.632	2.84
T5	56.978	0.508	0.89
T6	58.028	2.622	4.52
T7	52.037	1.856	3.57

A maior eficiência na remoção de DQO foi no T5. Segundo Pinto(1999), é parte dessa matéria orgânica, retirada do meio, que se transforma em biogás, ou seja, quanto maior a remoção (eficiência), maior será a produção de biogás. Isso se justifica pelo fato do T5 ter produzido o maior volume de gás durante os 45 dias.

Os demais tratamentos obtiveram médias menores de remoção, sendo T1 o que teve menor relação de eficiência. Importante ressaltar que T1 teve a menor

eficiência, mas não era o que detinha menor DQO. Isso se deve ao fato de T1 ter demorado a produzir biogás, sendo o início somente após 15 dias de experimento.

4.2 Resultados do experimento (biodigestão anaeróbia)

4.2.1 Produção de biogás

Todos os dias, através da régua deslocada no biodigestor, foi possível verificar a produção de biogás em m³.

As amostras em todos os tratamentos tiveram comportamento semelhante, iniciando a produção junto e ao final dos 45 dias tendo uma leve queda de produção. A temperatura foi um dos fatores que afetou a produção de biogás. Segundo SOUZA (1984), uma temperatura ótima seria em torno de 35 °C e mais importante do que a temperatura em si, é evitar que ela oscile drasticamente. No entanto, durante os 45 dias, a temperatura oscilou de 21 °C até 30 °C, sendo essa temperatura maior, pouco frequente.

No T1, houve uma demora para começar a produção biogás. Observou-se que no junto ao dejetto que entra no biodigestor, havia material inerte, vindo da alvenaria da granja. O dejetto de T1, assim com T2, T6 e T7, era mais diluído, indicando a presença de muita água juntamente com o dejetto. A Figura 12 mostra o volume acumulado de T1.

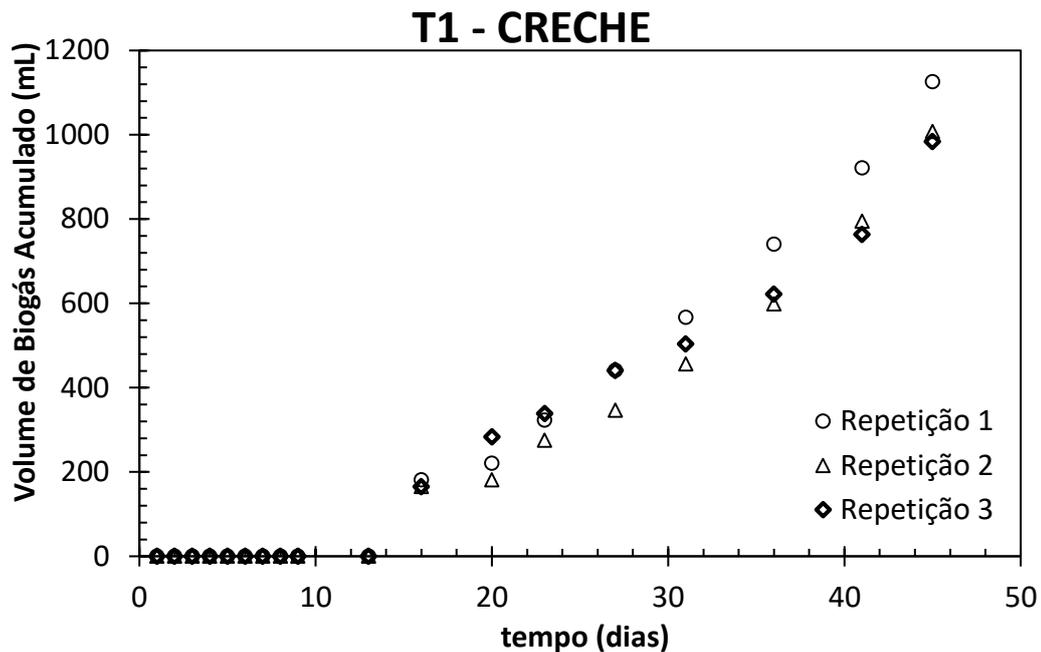


Figura 13 - Volume de biogás acumulado - T1.

Em T1, é possível observar que as amostras começaram a produção de biogás a partir de 15 dias, mantendo-se constante a produção até o final do experimento, produzindo aproximadamente, 1200mL de gás. Segundo Shih (1984), o tempo de detenção hidráulica de dejetos suínos é de 15 dias, mas dependendo de inúmeros fatores como a temperatura, que para o experimento foi importantíssima, quantidade de água, viscosidade, composição química, condições de manejo do dejetos na granja e nutrientes.

Em T2, as características do dejetos eram semelhantes a T1, mas a produção iniciou rapidamente, em pequena escala em praticamente todo o tempo. A Figura 13 mostra a evolução ao longo de 45 dias.

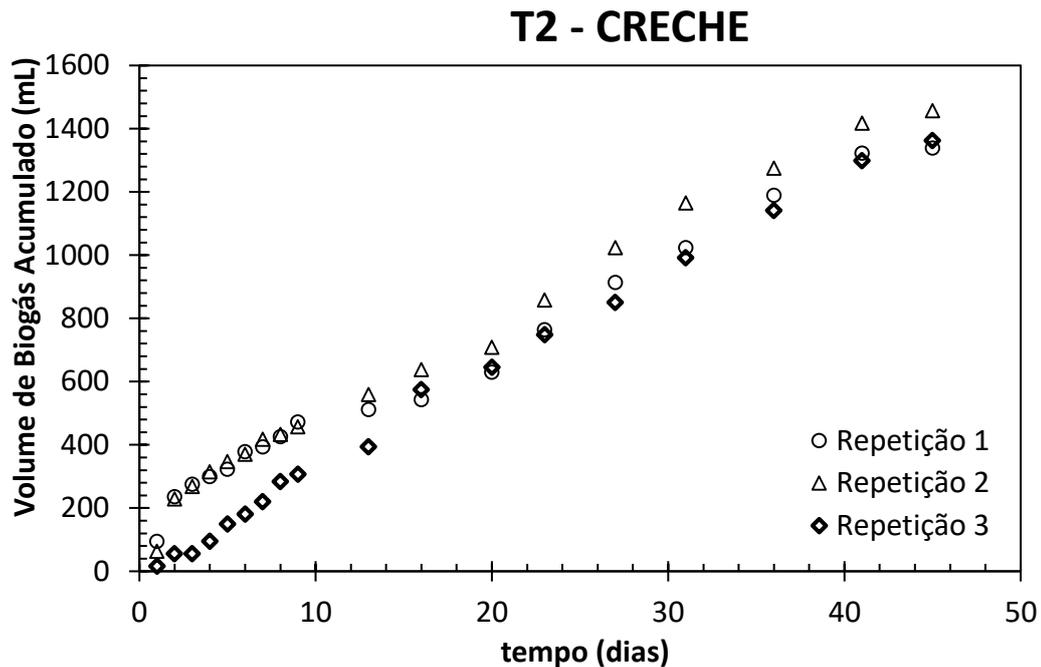


Figura 14 - Volume de biogás acumulado - T2.

A eficiência de remoção, em termos de SV e DQO, entre estes dois tratamentos (T1 e T2 - Creche) também foi um pouco diferente como pode-se observar ao longo do estudo, na T2 as eficiências foram superiores. Por estes motivos, explica-se que a produção de biogás seja maior na T2 do que na T1.

Em T3, observou-se uma demora inicial na produção, isso pode ter relação com características físico-químicas diferentes dos dejetos e a adaptação dos microorganismos ao biodigestor. Os dados seguem na Figura 15:

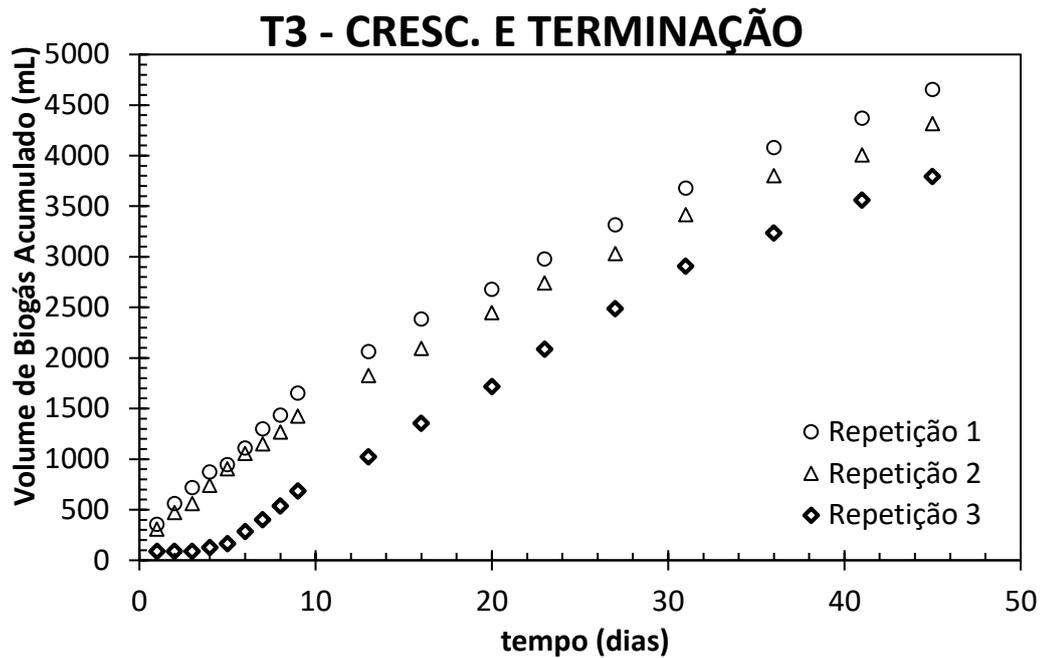


Figura 15 - Volume de biogás acumulado - T3.

Os tratamentos T4 e T5 tiveram comportamento semelhante a T3. As características dos dejetos eram muito semelhantes. A alimentação desses animais nas três granjas é a mesma, e o manejo tende a ser bastante parecido também, pois as três propriedades pertencem à mesma cooperativa e cidade e o local de onde vêm a ração também é o mesmo. As Figuras 16 e 17 mostram o comportamento de produção desses tratamentos.

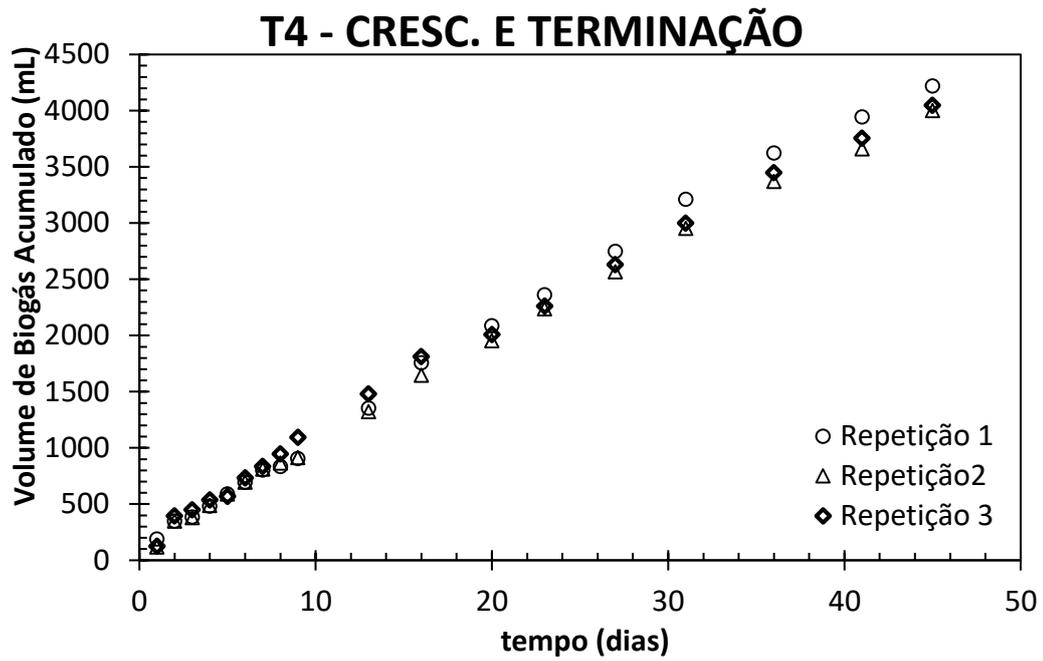


Figura 16- Volume de biogás acumulado - T4.

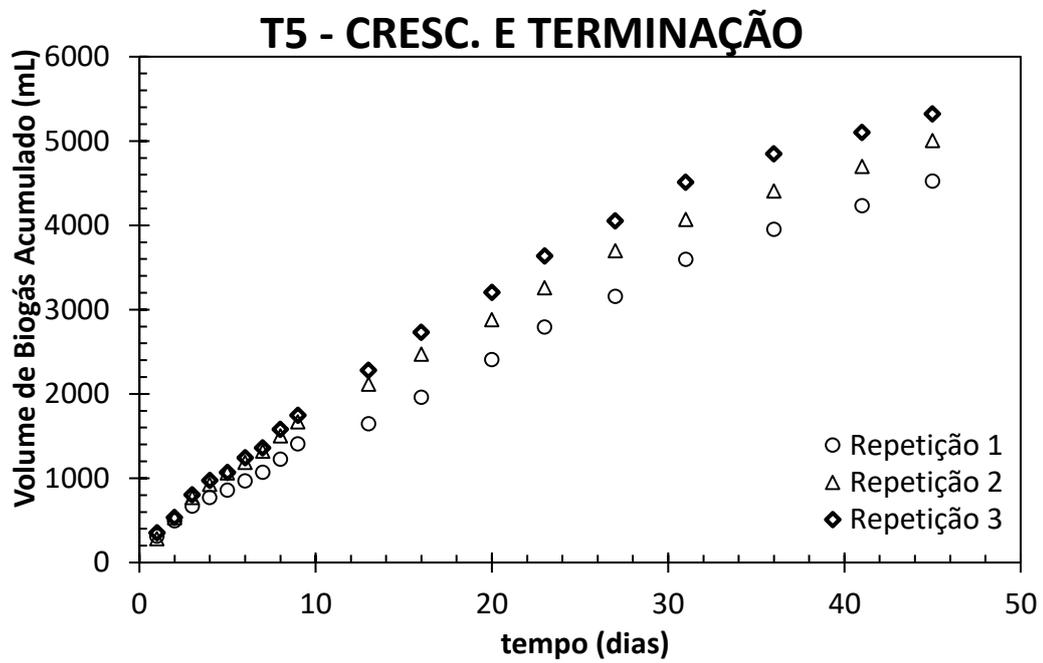


Figura 17 - Volume de biogás acumulado - T5.

No tratamento T5, percebe-se o alto volume de biogás gerado ao longo dos dias. A DQO foi determinante para essa alta produção de biogás. Percebe-se que ao final dos 45 dias, T5 ainda produzia alto volume de biogás.

Os tratamentos T6 e T7, obedecem ao mesmo tipo de manejo, já que fazem parte da mesma cooperativa. Em T6 as amostras reagiram de forma parecida em todo o estudo, não havendo variação considerável.

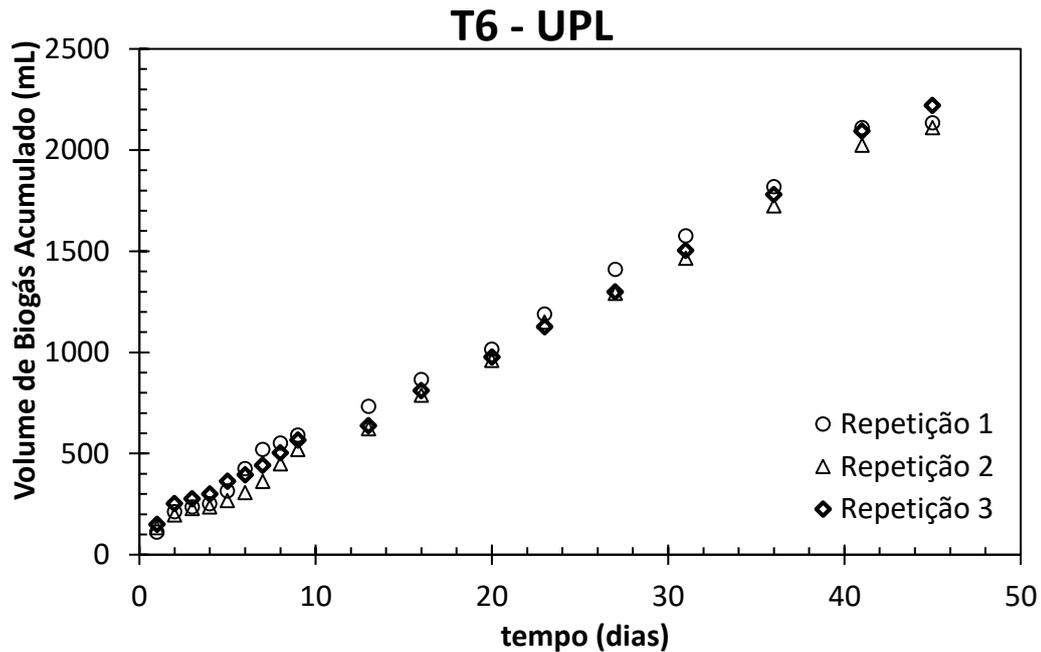


Figura 18 - Volume de biogás acumulado - T6.

Em T7, no décimo terceiro dia, houve um pico de produção, mas depois houve uma produção quase que constante. O volume de T6 e T7 mostrou-se muito semelhante. O número de matrizes e de leitões nos dois locais é o mesmo.

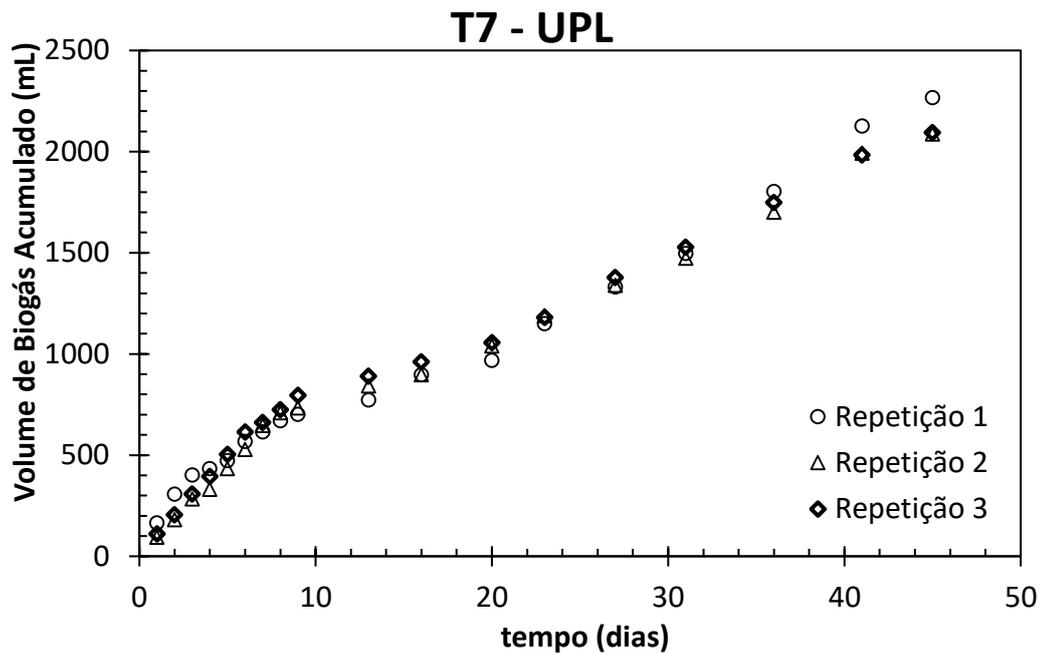


Figura 19 - Volume de biogás acumulado - T7.

Sendo assim, nos tratamentos T6 e T7 (UPL's) não houve diferenças significativas no volume final após 45 dias incubados nos biodigestores.

4.3 Concentração de gases

As análises da concentração de gases foram realizadas apenas em três momentos do experimento (15, 30 e 45 dias). Essas análises tiveram como objetivo, verificar se havia alta produção de metano.

O medidor de gases é portátil, o que facilitou a análise. Com uma mangueira acoplada ao medidor e ao mesmo tempo acoplada a torneira do biodigestor, foi possível efetuar a leitura dos principais gases (CH_4 , CO_2 e O_2), como mostra a Figura 19:



Figura 20 - Análise da concentração de gases.

Após a calibragem do equipamento, iniciou-se as análises mostrando na tela, em tempo real, qual o valor de cada um dos gases. A Figura 20 mostra de que forma os valores são apresentados no visor do equipamento.

Anal	Ajustado	Inicial	Anterior	Unida
CH ₄		62.9	0.0	%
CO ₂		19.8	52.8	%
O ₂		3.9	0.6	%
CO		6	>>>>	ppm
H ₂ S		17	>>>>	ppm
Bal		13.4	46.6	%
Estatica			4.17	mb
P. Dif.			-3.873	mb
Temp.			0.0	°C
Fluxo			0.0	m ³ /h
Energia			0.0	KW

Próximo ID Ação Especial Iniciar

Figura 21 - Tela do analisador, com valores de concentração de gases.

Na Tabela 6 é possível observar os valores em porcentagem, referentes a três gases presentes no biogás.

Tabela 6 - Percentual de concentração de CH₄, CO₂ e O₂

TRATAMENTO	15 DIAS			30 DIAS			45 DIAS		
	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂
T1	0	0	0	67,7	20,4	2,4	67,2	20,5	3,5
T2	67,9	20,5	1,3	69,3	20,7	2,6	59,9	26,3	1,6
T3	62,4	21,8	0,6	68,4	22,4	3,5	63,8	25,4	1,9
T4	69,3	19,9	3,6	71,3	23,5	1,8	72,5	19,9	2,1
T5	77,2	19,3	1,4	63,6	18,9	0,6	71,3	19,3	0,5
T6	67,8	20,3	3,5	65,5	20,4	0,4	67,8	20,5	0,9
T7	69,7	19,9	2,6	67,4	22,5	1,2	64,9	21,9	1,4

Seixas (1980) classifica como um processo bem sucedido, quando os valores de metano ficam na faixa de 60-65% do volume total. Segundo dados do IPCC (2006), para suínos na fase de crescimento e terminação, o percentual de concentração de metano deve estar acima de 60 %.

Apesar de um processo que resultou em uma boa produção de metano, a temperatura pode ter sido um fator determinante para os valores de metano nas amostras. Massé e Masse (2001) observaram um aumento de 3,5% na concentração de metano, quando subiu a temperatura de 20°C até 30°C. Durante os 45 dias, a temperatura ficou na primeira faixa, dificultando o processo de obtenção de gás metano.

4.4 Concentração de sólidos

A concentração dos sólidos totais está diretamente ligada a quantidade de resíduos inertes nos diversos tipos de substratos, quer seja de origem orgânica ou inorgânica, sendo este um indicador da massa total passiva de ser tratada. (LEITE E POVINELLI, 1999)

A taxa de bioconversão do resíduo deverá ser maior, se maior for a fração orgânica do substrato.

As análises realizadas nos dejetos suínos e nos efluentes dos 21 biodigestores mostraram que houve a redução dos sólidos totais, fixos e voláteis nas amostras.

Para sólidos totais, a Figura 21 mostra o comparativo entre o afluente e os efluentes.

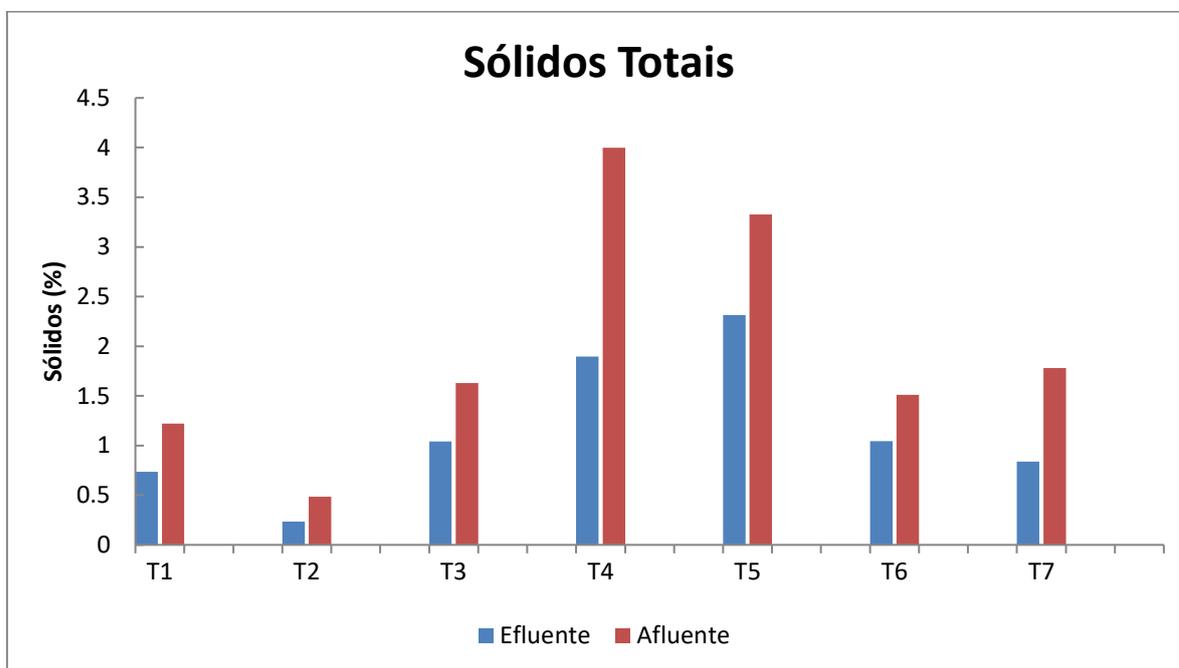


Figura 22 - Porcentagem de sólidos totais presentes no afluente e efluente.

Os sólidos totais são as substâncias que se encontram dissolvidas e em suspensão no líquido. (SAMPAIO ET AL., 2007)

Houve redução na porcentagem dos sólidos totais em todos os tratamentos. Na Tabela 7 é possível verificar a porcentagem da eficiência na remoção de ST.

Tabela 7 - Eficiência na remoção de sólidos totais

REMOÇÃO DE SÓLIDOS (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
ST	39.86	51.57	36.09	52.61	30.38	30.97	52.94

A remoção de ST foi mais eficiente no T2 (51.57%), T4 (52.61%) e T7 (52,94%) Os demais tratamentos tiveram uma remoção com valores próximos a 30%.

Para os sólidos voláteis, o percentual apresenta-se na Figura 23:

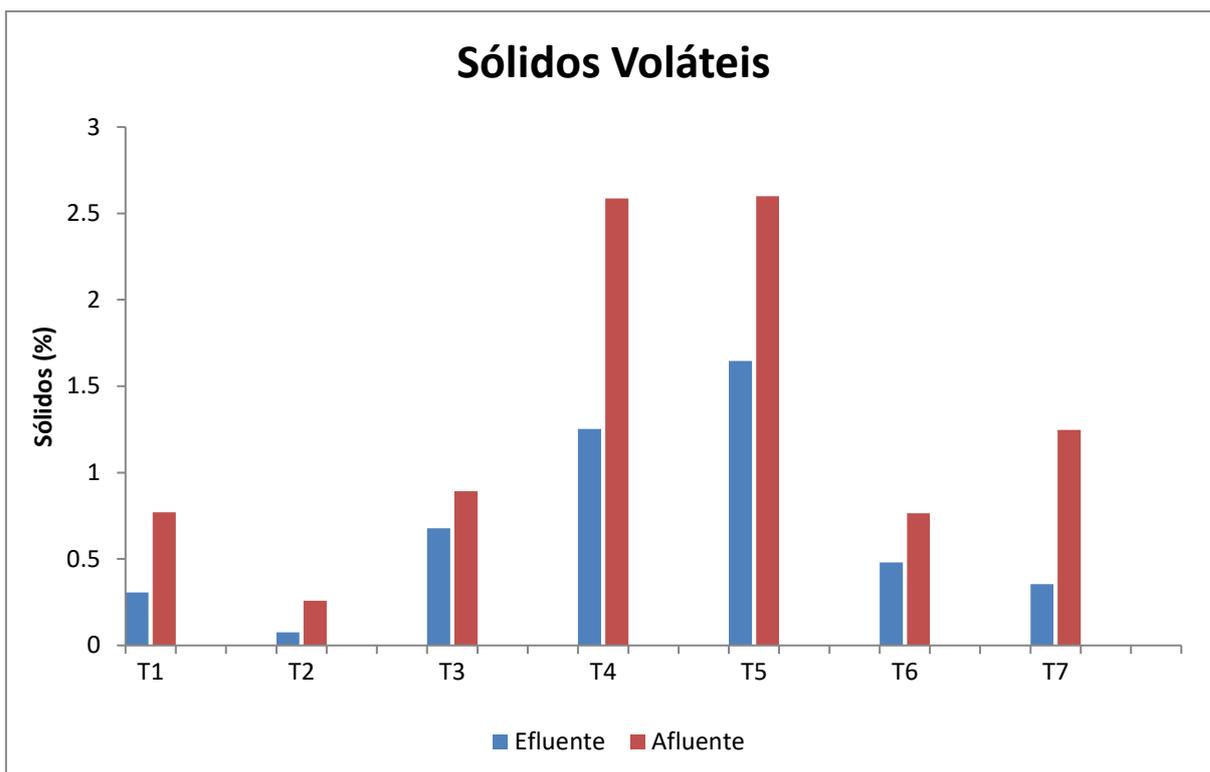


Figura 23 - Percentual de sólidos voláteis no afluente e valor médio para o efluente.

Observou-se que a concentração de sólidos voláteis era maior nos afluentes dos tratamentos T4 e T5. No entanto, como é possível visualizar na Tabela 8, o percentual de eficiência na remoção dos sólidos voláteis mostrou-se mais eficiente nos tratamentos T7 com 71,48%, T2 com 70,83% e T1 com 60,07%.

Tabela 8 - Percentual de remoção de SV

REMOÇÃO DE SÓLIDOS (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
SV	60.07	70.83	24.13	51.55	36.66	37.16	71.48

É possível que, se o experimento continuasse após os 45 dias de TRH, a produção de biogás nesses tratamentos iriam cessar rapidamente, visto que o dejetos era mais diluído, sendo possível que os organismos metanogênicos consumissem toda a carga orgânica disponível. Os demais tratamentos obtiveram valores menores na eficiência de remoção de SV. O tratamento T5, por exemplo, teve o maior volume de biogás, no entanto teve a menor eficiência na remoção, sendo assim, seria necessário maior tempo de retenção hidráulica para que a houvesse alta eficiência de remoção

Para os sólidos fixos, a Figura 23 mostra os valores obtidos para afluente e efluentes:

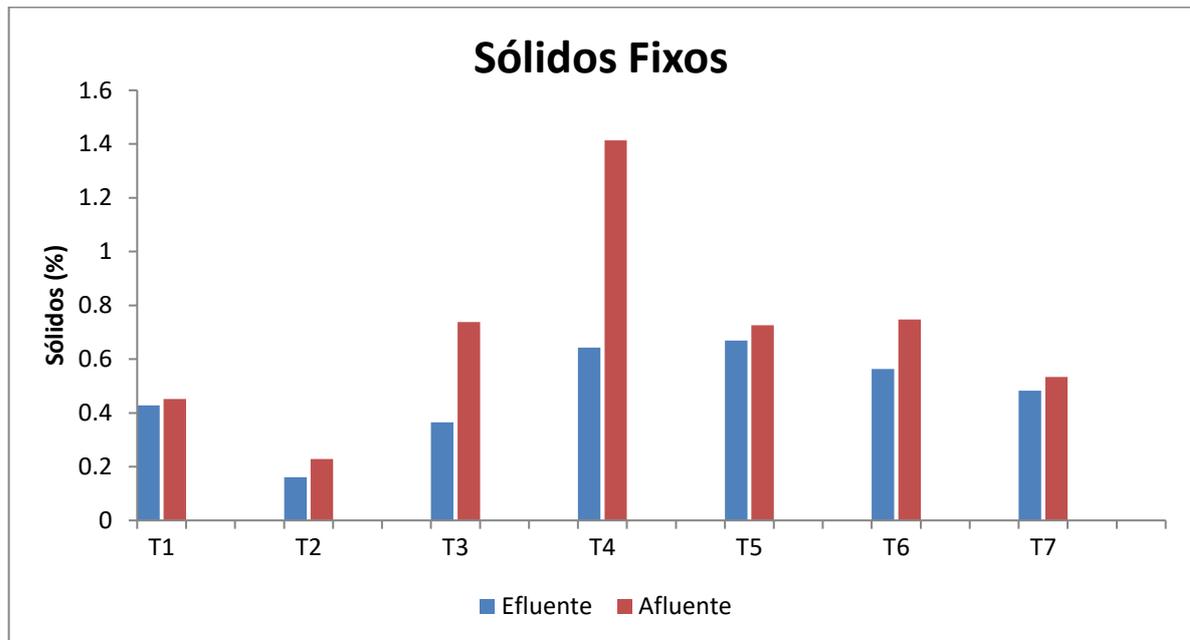


Figura 24 - Porcentagem de sólidos totais fixos presentes no afluente e efluente.

Realizou-se a análise de variância para comparação de ST, STF, STV entre os tratamentos semelhantes. A Tabela 9 mostra esses valores para os tratamentos T1 e T2:

Tabela 9 - Análise de variância com relação aos tratamentos T1 e T2

TRATAMENTO	ST	STF	STV
T1	0.734733b	0.427333b	0.307400b
T2	0.235467a	0.160267a	0.075200a
CV (%)	14.91	16.23	20.05

Houve diferenças significativas em relação aos tratamentos T1 e T2. Essa diferença deve-se a diferença nas características nos dejetos coletados nas granjas, onde em T2, apresentou-se em aspecto mais diluído que T1. As duas propriedades apresentaram grande volume de água junto os dejetos.

Na Tabela 10 é possível verificar esses valores para os tratamentos T3, T4 e T5, propriedades com criação de suínos da fase de crescimento e terminação:

Tabela 10 - Análise de variância com relação aos tratamentos T3,T4 e T5

TRATAMENTO	ST	STF	STV
T3	1.042067a	0.364733a	0.677333a
T4	1.895333b	0.642467a	1.252867b
T5	2.315400c	0.668867a	1.646533c
CV (%)	4.62	22.52	7.77

Observou-se diferenças significativas entre os ST e SV nesses tratamentos, devido a concentração da carga orgânica em cada um deles. Apesar das três propriedades serem geridas pela mesma cooperativa, o tempo de vida dos animais era diferente, o que pode ter influenciado nas características dos dejetos.

Na Tabela 11 é possível observar os valores para os tratamentos T6 e T7, que são as propriedades com matrizes e leitões em fase de amamentação e desmamados.

Tabela 11 - Análise de variância com relação aos tratamentos T6 e T7

TRATAMENTO	ST	STF	STV
T6	1.043400a	0.563333a	0.480067a
T7	0.837667a	0.482000a	0.355400a
CV (%)	14.31	36.11	18.31

Não houve diferenças significativas nas UPL's. O sistema de criação encontra-se com o mesmo número de matrizes e leitões nas duas granjas, sendo

que a gestão é feita da mesma forma, sempre mantendo o mesmo número de animais para a mesma idade.

4.5 Rendimento do volume por sólidos adicionados

Segundo Amaral et al. (2004), o melhor fator para refletir o potencial de cada dejetos na produção de biogás é o rendimento de biogás sobre os sólidos adicionados, pois elimina a interferência do teor de água presente nos dejetos. Na Figura apresenta-se os valores para o rendimento de sólidos adicionados para os tratamentos.

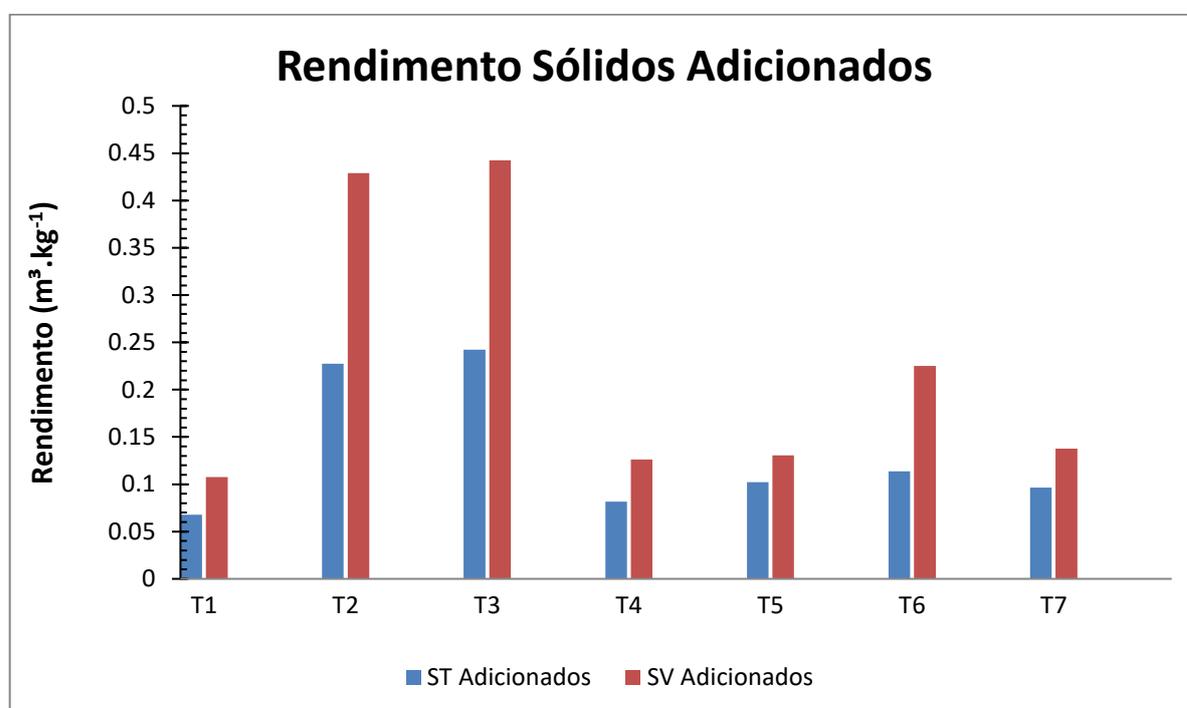


Figura 24 - Rendimento Volume sobre sólidos adicionados

Observa-se que os melhores rendimentos foram nos tratamentos T2 com um rendimento de $0,227 \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1}$ para sólidos totais adicionados e $0,428 \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1}$ para sólidos voláteis adicionados e T3 com rendimento de $0,242 \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1}$ e $0,442 \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1}$ respectivamente. A produção esperada de biogás para dejetos suínos varia de $0,300$ a $0,600 \text{ m}^3$ por kg de sólidos voláteis adicionados, segundo Oliveira (1993). Já Schultz (1996), cita uma faixa de $0,220$ a $0,637 \text{ m}^3$ por kg de sólidos voláteis adicionados. Ambos os valores obtidos se encaixam na faixa citada na literatura.

Os demais tratamentos não obtiveram um rendimento esperado, podendo-se

4.6 Rendimento do volume por sólidos removidos

Semelhante ao que ocorreu com o rendimento de biogás sobre os sólidos adicionados, é possível observar na Figura que o tratamento que se destacou foi T3, com 0,68 para ST e 2,37 para SV.

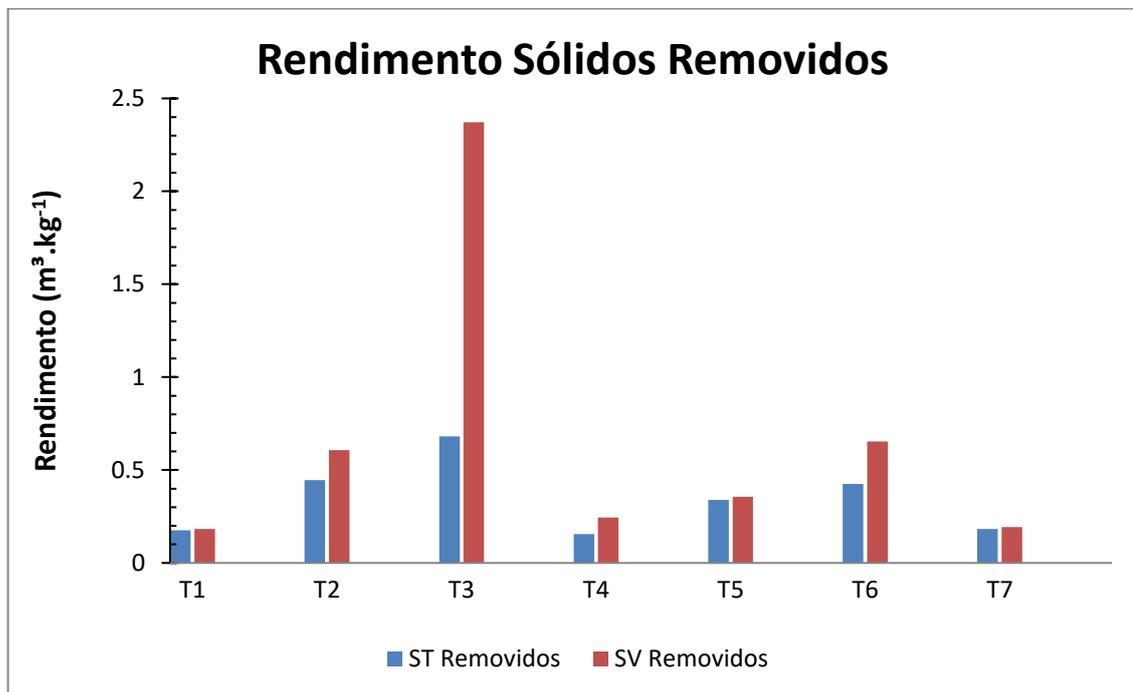


Figura 255- Rendimento Volume sobre sólidos removidos

Para os demais tratamentos, observou-se que o rendimento para ST e SV foram semelhantes. Segundo Mari (2012), isso se deve a maior remoção de sólidos voláteis em função dos sólidos fixos, de modo que a parcela de ST convertida em biogás foi, majoritariamente a de SV.

5 CONCLUSÕES

Ao finalizar o experimento foi possível observar que todos os tratamentos tiveram êxito na produção de biogás e nas remoções dos sólidos totais e voláteis. A temperatura, variando entre 21°C e 30°C, foi um fator determinante para a produção de biogás, não sendo um condição ótima para o experimento. Mesmo assim, as condições foram semelhantes às condições encontradas nas propriedades.

O tratamento T5, apresentou melhores resultados dos demais, tendo uma boa eficiência na remoção de DQO e volume de produção de biogás, no entanto apresentou uma baixa eficiência na remoção de SV, o que está diretamente ligado à produção de biogás, sendo necessário mais dias de TRH para melhor monitoramento desses resultados.

Sendo assim, o T7 mostrou-se o melhor em produção de biogás, no período de 45 dias, pois foi o que obteve a melhor eficiência na remoção dos sólidos voláteis, com 71,48%.

Estas considerações demonstram a necessidade de novos estudos para complementar e incrementar informações sobre a eficiência na remoção dos sólidos, o volume de biogás e o rendimento da produção em função dos sólidos. Acredita-se que os resultados obtidos foram importantes para identificar, em um primeiro momento, a diferenciação entre os diferentes sistemas de criação e fases dos suínos e que estudos posteriores são necessários para melhor identificação de falhas e melhorias que possam ser feitas nas propriedades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C. M. C.; et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.6, p. 1897-1902, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA 2016, **Relatório Anual 2016**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais/2016>. Acesso em 06 de junho de 2017.

BOHRZ, G. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. 2010. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. 23 p.

BRASIL, **Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997- Lei das águas**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Presidência da República – Casa Civil. DOU, de 09/01/1997.

BRUNO, M. **Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida**. 2007. 125 f. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2007

CASTRO, L. R; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.97-101. 1998.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suínica para geração de energia elétrica. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, set./out. 2010

CHERNICHARO, Carlos A. L. Reatores anaeróbios. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v. 5. Belo Horizonte: Copyright, 1997.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380 p.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** Dissertação. 2006. 73 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola / Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources. Weinheim: **WILEYVCH Verlag GmbH & Co. KGaA**, 2008.

ECKENFELDER JR, W. W. Industrial Water Pollution Control. 3. Ed, EUA: McGraw-Hill, 2000. 584 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2016. Central de inteligência de aves e suínos - estatísticas. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>> Acesso em: 15 maio 2017.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Biomass combined heat and power catalog of technologies. Combined Heat and Power Partnership, Washington, 2007.

ESPERANCINI, M.S.T.; COLEN, F.; BUENO, O. de C.; PIMENTEL, A.E.B.; SIMON, E.J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, 2007.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR). **Guia prático do Biogás**. 5ª edição, totalmente revista e atualizada, Gülzow, 2010.

FORESTI, et al. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Fundamentos do tratamento anaeróbio. PROSAB, Rio de Janeiro, p. 29-51, 1999.

FRIGG, C. D. A. **Determinação multiclasse de resíduos de agrotóxicos e medicamentos veterinários em carnes empregando LC-MS/MS**. 2012 p. 152. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

GRANATO, Eder F. Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça. 2003, Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Faculdade de Engenharia da UNESP, 2003.

GRANATO, M. **A restauração de instrumentos científicos históricos**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de

Janeiro, 2003.

GUSMÃO, M. M. F. C. C. - **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 f. Dissertação (mestrado): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2008.

HERNANDES, J.F.M **Políticas públicas na gestão ambiental da suinocultura no Vale do Taquari - RS**. 2010. 100 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós Graduação em Administração, Porto Alegre, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da Produção Pecuária**. IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em números**. IBGE vi 21, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatório de Produção da Pecuária Municipal**. IBGE, 2016

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Volume 4: **Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 2006. 87p.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: Influência da Temperatura Ambiente - ISSN 0100-88 Dezembro/2005 - Concórdia - SC

LETTINGA, G. F. Introduction in: International course on anaerobic treatment. Wageningen Agricultural University. Wageningen, 1995.

LEITE, V. D.; POVINELLI, J. **Comportamento dos sólidos totais no processo de biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais**. Tese (Doutorado) São Carlos: EESC/USP, 1997. 250p.

MASSÉ, D.I; MASSE, L.; The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*. v.76 p. 91-98, 2001.

METCALF E EDDY, *Inc. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, and Reuse*. New York :McGraw-Hill, 1991. *Print*.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo.** - Brasília: MAPA, 2016. 100 p. ISBN 978-85-7991-100-2.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Balança Comercial Brasileira. Unidades da Federação,** 2014. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/balanca-comercial-brasileira-unidades-da-federacao> . Acesso em 04 de julho de 2017.

MIRANDA, A.P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia.** 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, 2009.

NUVOLARI, Ariovaldo et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V; HIGARASHI, Martha M.H. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos.** Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2006. p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos - manual de boas práticas.** PNMA II – Gestão Integrada de Ativos Ambientais – Santa Catarina. Concórdia, 2004. 109p.

PERDOMO, C. C.; DE LIMA, G.; NONES, K. **Produção de suínos e meio ambiente.** v. 1995, p. 2000, 1990.

POWERS, W.J., Van Horn, H.H., Wilkie, A.C., Wilcox, C.J. NORDSTEDT, R.A. (1999). Effects of anaerobic digestion and additives to effluent or cattle feed on odor and odorant concentrations. *J. Anim. Sci.* 77, 1412–1421.

RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. **Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás.** In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA,** 5., 2004, Campinas. Anais. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SAMPAIO, et. al. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Revista Irriga**, Botucatu, v.12, n.4, 2007, p.557-562

SANT'ANNA JR, G. L. Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações. 2nd. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciencia, 2013.

SANTANA, A. M. **Atividade da microbiota e desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

SANTOS, M. A. A.et. al. **Esterqueiras: avaliação físico-química e microbiológica do dejetos suíno armazenado**. *Eng. Agríc.* 2007, vol.27, n.2, pp.537-543.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB,2016).

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 16, n. 3, p. 129-141, 1999.

Seixas, J. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília, DF, 1980.

SILVA, M. O. S. A. Tratamento de lodos de esgotos por digestão anaeróbia. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 1., 1982, São Paulo. Anais... São Paulo: SABESP, [1982]. p. 1-34.

SILVA, M. B. **Aspectos do comportamento de gás metano dissolvido em água de reservatórios brasileiros**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Paulo - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

SHIH, J.C.H.; Destruction of enteric pathogens in the thermophilic poultry waste digester, **Poultry Science**, v.63, p. 181-182, 1984.

SOETHE, G.C. **Aproveitamento da massa visceral da tilápia (*Oreochromis niloticus*) para produção de biogás**. 2014. 73f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel, 2014.

SORDI, A.; SOUZA, S. N. M.; OLIVEIRA, F. H. Biomassa gerada a partir da produção avícola na região Oeste do Estado do Paraná: uma fonte de energia. **Acta Sci. Technol.** Maringá, v. 27, n. 2, p. 183-190, Jul/Dez., 2005.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbica. V.44, p.88-94, jun. 1984.

SOUZA, C. F. et al. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres. Viçosa, MG.** ISSN 0034-737X , p. 128-133, mar/abr. 2009

VENZON, S.S. **Produção de biogás a partir da codigestão da cama de frango e água residuária de abatedouro de suínos.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2017

ZAHER, U. et al. Producing Energy and Fertilizer From Organic Municipal Solid Waste. **Department of Biological Systems Engineering. Washington State University.** Ecology Publication No. 07.07.024. 2007. Disponível em: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/publications/0707024.pdf>. Acesso em 02 agosto 2017.