

**UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA  
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM DESENVOLVIMENTO RURAL  
SUSTENTÁVEL**

**CAROLINE MONIQUE TIETZ SOARES**

**INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE  
BIOGÁS EM BIODIGESTORES MODELO BIODIGESTOR BIOMASSA PROTEGIDO COM  
ESTUFA PLÁSTICA**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO - 2016**

**CAROLINE MONIQUE TIETZ SOARES**

**INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE  
BIOGÁS EM BIODIGESTORES MODELO BIODIGESTOR PROTEGIDO COM  
ESTUFA PLÁSTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, para obtenção do título de mestre.

Prof. Dr. Armin Feiden – Orientador  
Profa. Dra. Adriana Maria De Grandi – Coorientadora1  
Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva – Coorientador2

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO - 2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S676i

Soares, Caroline Monique Tietz

Influência das variações da temperatura na produção de biogás em biodigestores modelo Bioköhler protegido com estufa plástica./Caroline Monique Tietz Soares. Marechal Cândido Rondon, 2016.

74 p.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Maria De Grandi

Coorientador: Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
Campus de Marechal Cândido Rondon, 2016

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Desenvolvimento Rural  
Sustentável

1. Digestão anaeróbia. 2. Metano. 3. Dejetos bovinos. I. Feiden, Armin. II.  
De Grandi, Adriana Maria. III. Silva, Nardel Luiz Soares da . IV. Universidade  
Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.

CDD 21.ed. 665.7

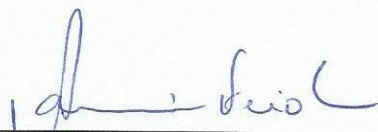
CIP-NBR 12899

CAROLINE MONIQUE TIETZ SOARES

**INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE  
BIOGÁS EM BIODIGESTORES MODELO BIODIGESTOR PROTEGIDO COM  
ESTUFA PLÁSTICA**

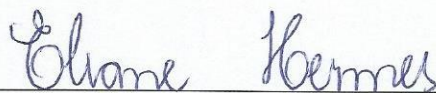
Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável - mestrado, Área de Concentração "Desenvolvimento Rural Sustentável", para a obtenção do título de "Mestra em Desenvolvimento Rural Sustentável", **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Marechal Cândido Rondon, PR, 25 de fevereiro de 2016.



---

Prof. Dr. Armin Feiden – Membro-Presidente  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eliane Hermes - Membro  
Universidade Federal do Paraná



---

Prof. Dr. Wilson João Zonin - Membro  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e seu infinito amor.

Ao meu esposo Pedro Rodrigo Hillesheim Soares, pelo seu amor, amizade e compreensão nas horas que precisei me ausentar em função do estudo.

Aos meus pais, irmã e cunhado, Arno Edgar Tietz, Oraide Tietz, Danieli Cristina Tietz Krause e Vily Krause, por todas as orações, apoio nos momentos difíceis e por sempre estarem ao meu lado torcendo pela conquista de mais essa etapa.

Ao professor Dr. Armin Feiden, quem muito admiro, pela orientação, ensinamentos transmitidos e confiança que a mim depositou.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Campus de Marechal Cândido Rondon, ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável (PPGDRS) e a todos seus professores e funcionários pela contribuição na minha vida acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

A Bioköhler Biodigestores e seus funcionários por toda ajuda e pela oportunidade de aprendizagem conjunta.

Ao professor Dr. Élcio Silvério Klosowski por ter cedido dados meteorológicos da Estação Experimental.

Aos pastores Leide e Vilmar Vorpagel, que sempre torceram por mim e me apoiaram no decorrer dos estudos.

A minha “irmã tecnológica” Érica Vanessa Julião do Nascimento, pelos momentos de estudos e também de muitas risadas.

A todos os amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

*"Deve haver uma maneira melhor de fazer as coisas que queremos, de forma a não estragar o céu, ou a chuva ou a terra".*

*Paul McCartney*

## RESUMO

SOARES, Caroline Monique Tietz. M. Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro - 2016. **Influência das variações da temperatura na produção de biogás em biodigestores modelo Bioköhler protegido com estufa plástica.** Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden, Co-orientadores: Profa. Dra. Adriana Maria De Grandi e Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva.

O processo de digestão anaeróbia tem sido aplicado para o tratamento de efluentes tanto em países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. Dentre os fatores mais importantes que afetam a eficiência deste processo está a temperatura, pois o desenvolvimento dos micro-organismos e a produção de biogás é função da temperatura operacional do biodigestor. Este trabalho buscou verificar a influência das variações da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite, em biodigestor Bioköhler protegido por uma estufa plástica. O experimento foi realizado em um biodigestor de 20 m<sup>3</sup> localizado na Estação Experimental Antonio Carlos dos Santos Pessoa, pertencente à UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon, no período de 03/08/2014 a 07/02/2015. Foram obtidos dados de temperatura interna ao biodigestor e a estufa, bem como de temperatura externa ao biodigestor, densidade dos afluentes e efluentes, valores de sólidos totais, fixos e voláteis, volume de biogás produzido e teor de CH<sub>4</sub> presente neste biogás. Os resultados indicaram que os micro-organismos atuaram na faixa mesofílica e houve indício de que a produção de biogás foi influenciada pela variabilidade da temperatura, entretanto, a estufa evitou alterações bruscas nesta temperatura. Os resultados também evidenciaram que a capacidade média esperada de produção de biogás esteve em torno de 12 m<sup>3</sup> por dia e obteve-se uma média de 57,33% de CH<sub>4</sub> neste biogás. Houve remoção de sólidos voláteis e esta foi satisfatória.

**Palavras-chave:** digestão anaeróbia; metano; dejetos bovinos.

## ABSTRACT

SOARES, Caroline Monique Tietz. M. Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February – 2016. **Influence of the temperature variations in the production of biogas in Bioköhler biodigesters covered with greenhouse plastic film.** Advisor: Dr. Armin Feiden, Co-advisor: Dr. Adriana Maria De Grandi and Dr. Nardel Luiz Soares da Silva.

The anaerobic digestion process has been applied for the treatment of effluents both in developed countries as well as underdeveloped countries. Amongst the most predominant factors that affect the efficiency of this process is the temperature, considering the microorganisms' development and the biogas production constitutes the temperature biodigester operational function. This study aimed at verifying the influence of temperature variation in the production of biogas from dairy cattle manure, in a Bioköhler biodigester covered with greenhouse plastic film. The experiment was performed in a 20 m<sup>3</sup> biodigester located in the Antonio Carlos dos Santos Pessoa Experimental Station belonging to UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon Campus, during the period between 08/03/2014 to 02/07/2015. Data from the internal biodigester temperature and the greenhouse was obtained in conjunction with the external biodigester temperature, affluent and effluent density, total solid values, fixed and volatile, biogas volume produced and the concentration of CH<sub>4</sub> present in this biogas. The results indicated that the microorganisms acted in the mesophilic layer and there was the indication that the production of biogas was influenced by temperature variability, nevertheless, the greenhouse avoided sudden alterations at this temperature. The results also evidenced that the medium capacity expected in the production of biogas surrounded 12 m<sup>3</sup> per day and came across with an average of 57,33% of CH<sub>4</sub> in this biogas. There was satisfactory volatile solid removal.

**Keywords:** anaerobic digestion; methane; dairy manure.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica. ....	23
Figura 2. Câmara de biodigestão coberta pela estufa plástica.....	38
Figura 3. Estábulo. ....	39
Figura 4. Amostras. ....	40
Figura 5. Região superior, intermediária e inferior da medição da temperatura interna do biodigestor.....	42
Figura 6. Registrador eletrônico. ....	43
Figura 7. Medição da temperatura ambiente (a) e estação climatológica automática (b).....	43
Figura 8. Densímetro.....	44
Figura 9. Forno mufla (a) e dessecador (b).....	45
Figura 10. Balança analítica (a) e estufa (b).....	45
Figura 11. Amostra natural (a), seca (b) e cinzas (c). ....	46
Figura 12. Medidor de gás (a) e detector de gás portátil (b).....	46
Figura 13. Quantidade de sólidos voláteis do afluente e efluente e a remoção dos sólidos voláteis. ....	47
Figura 14. Dados médios de densidade dos afluentes e efluentes do biodigestor para cada tratamento. ....	49
Figura 15. Variação média da temperatura interna e externa ao biodigestor. ....	51
Figura 16. Variação média da temperatura dentro da estufa, do biodigestor e ambiente.....	52
Figura 17. Variação média da temperatura dentro da estufa. ....	55
Figura 18. Temperatura média por tratamento às 01:00 (a), 09:00 (b) e 17:00 (c) h.....	56
Figura 19. Média da produção de biogás acumulado em cada tratamento relacionada a média de temperatura interna e externa do biodigestor. ....	58
Figura 20. Produção média de biogás (m <sup>3</sup> ) por tratamento.....	59
Figura 21. Produção média de metano (m <sup>3</sup> ) por tratamento. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de temperatura do crescimento microbiano. ....	30
Tabela 2. Composição média da mistura gasosa do biogás. ....	32
Tabela 3. PCI de diferentes gases. ....	32
Tabela 4. Dados da temperatura da estufa, externa, sua diferença, média geral da diferença e variação acima ou abaixo da média. ....	53
Tabela 5. Dados da temperatura da estufa, do biodigestor na sua porção intermediária, sua diferença, média geral da diferença e variação acima ou abaixo da média. ....	54
Tabela 6. Dados médios do teor de CH <sub>4</sub> presente no biogás produzido em cada tratamento. ....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

APHA: American Public Health Association

°C: Grau Celsius

Ca: Cálcio

CENBIO: Centro Nacional de Referência em Biomassa

CH<sub>4</sub>: Metano

CH<sub>3</sub>COOH: Ácido acético

Co: Cobalto

CO<sub>2</sub>: Gás carbônico

Cu: Cobre

DQO: Demanda Química de Oxigênio

Fe: Ferro

FUNTEC: Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Toledo

g: grama

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

h: Hora

H<sub>2</sub>: Hidrogênio

H<sub>2</sub>O: Água

H<sub>2</sub>S: Ácido sulfídrico

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K: Potássio

Kg: Quilograma

kJ: Quilojoule

Km: Quilômetro

K<sub>2</sub>O: Óxido de potássio

L: Litro

m: Metro

Mg: Magnésio

mL: Mililitro

MS: Matéria Seca

ms: Milissegundo

N: Nitrogênio

Na: Sódio

NH<sub>3</sub>: Amônia

Ni: Níquel

ONU: Organização das Nações Unidas

P: Fósforo

PCI: Poder Calorífico Inferior

pH: Potencial Hidrogeniônico

PNUMA: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Pentóxido de fósforo

S: Enxofre

Se: Selênio

SF: Sólidos Fixos

ST: Sólidos Totais

SV: Sólidos Voláteis

TDH: Tempo de Detenção Hidráulica

Zn: Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1.1	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
3.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	16
3.1.1	<b>Tripé da Sustentabilidade</b> .....	<b>18</b>
3.1.2	<b>Aproveitamento de Biomassa Residual como Fator de Desenvolvimento Rural Sustentável</b> .....	<b>19</b>
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS BOVINOS .....	20
3.3	DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	22
3.3.1	<b>Hidrólise</b> .....	<b>23</b>
3.3.2	<b>Acidogênese</b> .....	<b>24</b>
3.3.3	<b>Acetogênese</b> .....	<b>25</b>
3.3.4	<b>Metanogênese</b> .....	<b>25</b>
3.4	FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	26
3.4.1	<b>pH</b> .....	<b>26</b>
3.4.2	<b>Nutrientes</b> .....	<b>27</b>
3.4.3	<b>Tempo de Retenção</b> .....	<b>27</b>
3.4.4	<b>Agitação do Sistema</b> .....	<b>28</b>
3.4.5	<b>Materiais Tóxicos</b> .....	<b>28</b>
3.4.6	<b>Temperatura</b> .....	<b>29</b>
3.5	BIOGÁS.....	31
3.6	BIOFERTILIZANTE .....	33
3.7	BIODIGESTOR.....	33
3.8	ESTUFA .....	35
3.9	SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS FIXOS E SÓLIDOS VOLÁTEIS .....	36
3.10	DENSIDADE.....	36
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
5.1	REMOÇÃO DE SÓLIDOS .....	47
5.2	DENSIDADE DOS DEJETOS .....	48

5.3	TEMPERATURA.....	50
5.3.1	<b>Variações na Temperatura .....</b>	<b>50</b>
5.3.2	<b>Produção de Biogás em Função da Temperatura .....</b>	<b>58</b>
5.4	PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....	58
5.4.1	<b>Rendimento de Biogás por ST e SV Adicionados .....</b>	<b>59</b>
5.4.2	<b>Rendimento de Biogás por ST e SV Removidos.....</b>	<b>60</b>
5.4.3	<b>Produção de Biogás por m<sup>3</sup> de Biodigestor .....</b>	<b>60</b>
5.5	PRODUÇÃO DE METANO.....	61
5.5.1	<b>Rendimento de Metano por ST e SV Adicionados.....</b>	<b>62</b>
5.5.2	<b>Rendimento de Metano por ST e SV Removidos .....</b>	<b>62</b>
5.5.3	<b>Produção de Metano por m<sup>3</sup> de Biodigestor .....</b>	<b>62</b>
5.6	RECOMENDAÇÕES .....	62
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em virtude das mudanças motivadas pela ação do homem na natureza e a resposta da mesma a estas ações, a qualidade do meio ambiente, nos últimos anos, tem sido alvo de preocupação de grande parte da população que habita a Terra.

A questão ambiental passa a ser encarada sob a ótica da possibilidade de se manter, num mesmo cenário, o desenvolvimento da nação sem o aumento significativo no uso dos recursos não renováveis, bem como na geração de resíduos.

A agropecuária passou por um rápido avanço tecnológico nas últimas décadas, em virtude da necessidade de se expandir a produção de alimentos para a manutenção do bem estar da população mundial, a qual está em constante crescimento. Diante disto, torna-se evidente a necessidade de avaliar o impacto dessas práticas na saúde humana, animal e também no meio ambiente (AMORIN et al., 2004; SOUZA; CAMPOS, 2007).

Neste sentido, os mais variados setores envolvidos na produção animal começam a buscar alternativas a fim de atender a dois requisitos: questões legais e exigência do mercado interno e externo, com o objetivo de que seus produtos possam não só competir, mas tenham boa aceitação no mercado (LUCAS JUNIOR; SANTOS, 2000).

Os resíduos orgânicos provenientes da atividade agropecuária, em muitas regiões, são frequentemente responsáveis pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, em razão do carreamento deste material, rico em matéria orgânica e agentes patogênicos, pela ação das chuvas (AMARAL et al., 2004).

Dentre os resíduos agropecuários, o da bovinocultura merece destaque, tendo em vista que o Brasil é dono do segundo maior rebanho efetivo de bovinos do mundo, suplantado apenas pela Índia. Dado que a Índia não se utiliza de seu gado bovino para fins comerciais, devido a questões religiosas, o rebanho bovino brasileiro é considerado o maior rebanho comercial do mundo (BRASIL, 2014; SCHLESINGER, 2009). Segundo dados de 2015 do IBGE, o efetivo nacional de bovinos em 2014 chegou a aproximadamente 212,3 milhões de cabeças, com maiores concentrações no Centro-Oeste e Norte. O estado do Paraná conta com mais de 9,1 milhões de cabeças.

Sendo assim, um volume considerável de dejetos é gerado todos os dias, tornando-se necessária a adoção de técnicas para dispor, manejar, tratar e utilizar estes resíduos, tendo como objetivo a manutenção da qualidade ambiental, também buscando meios de obter maior rentabilidade nesta atividade (REIS et al., 2007).

Atualmente, a digestão anaeróbia através da utilização de biodigestores é considerada um dos principais processos empregados para o tratamento de resíduos (MIRANDA et al., 2006). A adoção de biodigestores no meio rural contribui para a integração e sustentabilidade com o aproveitamento de efluentes, os quais normalmente têm baixo ou mesmo nenhum valor comercial. Estes efluentes agropecuários podem ser convertidos em duas grandes fontes de exploração: biogás e biofertilizante (QUADROS et al., 2009).

O biogás é formado por gases distintos, sendo que o  $\text{CH}_4$  e o  $\text{CO}_2$  estão presentes em maior quantidade, podendo suas concentrações médias chegarem, respectivamente, entre 40-75% e 25-40%, dependendo da eficiência do processo (CASTANÓN, 2002). Já o biofertilizante, quando aplicado ao solo, proporciona nutrientes para as plantas e reduz os efeitos nocivos de lançamentos de material orgânico no ambiente (MENDONÇA, 2009).

A eficiência do processo de digestão anaeróbia é afetada por uma série de fatores que vão desde a natureza da matéria-prima utilizada, condições ambientais, à operação do sistema, desenho do biodigestor, entre outros. A combinação harmônica destes fatores, associada ao fator economicidade é o que dita a eficácia do sistema (BATISTA, 1980; MASSÉ et al., 2008; SOUZA et al., 2005).

Dentre os fatores mais importantes está a temperatura - pois o desenvolvimento dos micro-organismos - e conseqüentemente a produção de biogás é função da temperatura operacional, ou seja, ela afeta diretamente a dinâmica do processo, o que justifica a importância deste estudo conforme os objetivos detalhados na sequência (SANTOS, 2004; CASTRO; CORTEZ, 1998).



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a influência das variações da temperatura na produção de biogás durante o processo de biodigestão anaeróbia de dejetos da bovinocultura de leite, em biodigestor modelo Bioköhler protegido com estufa plástica.

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

- a) analisar a densidade dos afluentes (entrada) e efluentes (saída) do biodigestor;
- b) quantificar e estudar as variações da temperatura interna do biodigestor em relação à temperatura ambiente;
- c) verificar e estudar a influência da temperatura externa e interna do biodigestor na produção de biogás;
- d) quantificar e estudar o teor de  $\text{CH}_4$  presente no biogás produzido e suas variações;
- e) realizar o balanço de massa do biodigestor.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo sustentabilidade surgiu em 1987 e foi utilizado pela primeira vez na seguinte frase proferida pela norueguesa Gro Harlem Brundtland, ex-primeira ministra de seu país: “Desenvolvimento sustentável significa suprir as necessidades do presente, sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprirem suas próprias” (WCED, 1987).

Entretanto, este conceito começou a ser delineado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment – UNCHE), realizada em junho de 1972, em Estocolmo, na Suécia, a qual foi a primeira conferência das Nações Unidas em relação ao meio ambiente e também a primeira grande reunião em âmbito internacional para discutir as atividades humanas em relação ao meio ambiente (NUNES, 2013).

Esta conferência de Estocolmo resultou em um plano de ação, baseado em princípios de preservação e melhoria do ambiente natural, gerando três resultados importantes (LAGO, 2006):

- Foi criado o PNUMA;
- Foi publicada a primeira Declaração Mundial sobre o Meio Ambiente Humano;
- Os países concordaram em criar um órgão específico para lidar com o tema.

Em 1982, a ONU apresentou uma avaliação dos 10 anos de vigência das ações propostas pela Conferência de Estocolmo, a qual verificou-se que a maioria dos desafios ambientais identificados permaneceu sem solução e também, por muitos motivos, esses desafios haviam aumentado. Inclusive, o paradigma de como reduzir a pobreza nos países de baixa renda por meio do aumento da produção e industrialização da economia sem que esse processo resultasse em degradação ambiental e aumento da poluição, permanecia sem resposta (MENEZES, 2015).

Tanto os países desenvolvidos e os em desenvolvimento não estavam dispostos a ceder o crescimento econômico, até então fundamentado apenas no consumo sem a mínima preocupação com o meio ambiente. Contudo, as ameaças ambientais, como desmatamento, poluição, chuva ácida, buraco na camada de ozônio, indícios iniciais da mudança climática, entre outras, não poderiam ser desconsideradas (MENEZES, 2015).

Era imprescindível o desenvolvimento de um conceito, método ou ferramenta que conciliasse desenvolvimento econômico com proteção ambiental, e com esse propósito em mente, Javier Pérez de Cuellár, então Secretário Geral da ONU, no ano de 1983 formou uma comissão independente para estudar estas questões e propor ações, soluções e medidas. Javier indicou Gro Brundtland para presidir os trabalhos da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Em 1987, a Comissão publicou seu primeiro relatório com o título: Nosso Futuro Comum, mais conhecido como relatório Brundtland (WCED, 1987; SILVA, 2008).

A ONU convocou, vinte anos após a conferência de Estocolmo, a Segunda Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a qual foi realizada no Rio de Janeiro em 1992. A ECO92 uniu mais de 100 Chefes de Estado para tratar do assunto, obtendo resultados significativos: mais de 100 países concordaram em adotar a Agenda 21, que reafirmou a relevância da preservação dos recursos naturais para a sobrevivência das futuras gerações, por meio da Segunda Declaração Mundial sobre o Meio Ambiente, e estabeleceu que cada país deveria se comprometer com a criação de sua própria Agenda 21, com ações que viessem a auxiliar a sociedade a alcançar o desenvolvimento sustentável (SEIFFERT, 2011).

Outro resultado foi em relação às normas da série ISO 14000, as quais apresentam importante função dentro de um contexto micro, em nível organizacional. As normas da série ISO 14000 estabelecem uma base comum para uma gestão ambiental eficaz no mundo inteiro sendo aplicáveis em diferentes tipos de organizações (SEIFFERT, 2011).

No ano de 1997, Quioto, no Japão, sediou a Conferência das Partes 3, sendo o documento produzido na ocasião, o Protocolo de Quioto, um dos marcos mais relevantes para a preservação do meio ambiente, isso por estabelecer compromissos mais rígidos para a redução da emissão de gases de efeito estufa, principais motivadores do aquecimento global. Foram realizadas seis Conferências Mundiais sobre o tema, de 1997 até os dias de hoje (SILVA; SILVA, 2015).

A Agenda 21, documento de 40 capítulos e que constitui a mais abrangente tentativa já realizada de promover um novo padrão de desenvolvimento, chamado “desenvolvimento sustentável”, cita no seu capítulo 9 (proteção da atmosfera) a necessidade de governos e outros organismos controlarem as emissões atmosféricas de gases que provocam o efeito estufa, baseando suas ações na

eficiência, produção, transmissão, distribuição e consumo da energia, e em uma dependência cada vez maior de sistemas energéticos ambientalmente saudáveis, sobretudo de fontes de energia novas e renováveis (BRASIL, 1992).

Tendo em vista isso, a atual presidente do Brasil Dilma Rousseff, afirmou em setembro de 2015, na Cúpula da ONU sobre desenvolvimento sustentável, que o Brasil tem a meta de reduzir em 43% a emissão dos gases do efeito estufa até o ano de 2030 (G1, 2015). Para atingir esta meta, segundo a presidente, são objetivos para a área de energia:

“Primeiro, a garantia de 45% de fontes renováveis no total da matriz energética [...] Segundo, a participação de 66% da fonte hídrica na geração de eletricidade. Terceiro, a participação de 23% das fontes renováveis, eólica, solar e biomassa, na geração de energia elétrica. Quarto, o aumento de cerca de 10% na eficiência elétrica. Quinto, a participação de 16% de etanol carburante e demais fontes derivadas da cana-de-açúcar no total da matriz energética” (G1, 2015).

### **3.1.1 Tripé da Sustentabilidade**

No ano de 1994, John Elkington expôs um conceito expandido de sustentabilidade, que ficou conhecido como Tripé da Sustentabilidade (Triple Bottom Line, em inglês). Segundo este conceito, para ser sustentável uma organização, negócio ou empreendimento deve ser: financeiramente viável, socialmente justo e ambientalmente responsável (GARCIA, 2006).

Este conceito causou uma revolução, pois na época ninguém tinha conhecimento de como crescer sendo sustentável ou como avaliar ou mensurar os resultados alcançados. O conceito era na verdade um método pragmático e eficaz na medição da sustentabilidade no ambiente corporativo. Conforme Slaper e Hall (2011), John Elkington esforçou-se para fazer “medições” de sustentabilidade em meados dos anos 1990, englobando um novo esquema conceitual, o qual foi além de métodos tradicionais que mediam lucros, retorno sobre investimento e valor para o acionista, incluindo fatores ambientais e dimensões sociais.

Em resumo, o tripé da sustentabilidade identificou as três dimensões que deveriam ser abordadas para garantir a sustentabilidade de um empreendimento, bem como para mensurar os resultados obtidos. Ao longo das décadas diversos

pesquisadores contribuíram para a atualização do conceito. Além das três dimensões abordadas, alguns autores incluíram a dimensão cultural (NURSE, 2006), tecnológica (BUARQUE, 2002), e geográfica ou espacial (SACHS, 1993).

Segundo Garcia (2006), para o desenvolvimento sustentável ser considerado pleno, as três dimensões devem ser, necessariamente, contempladas e preferencialmente equilibradas, interagindo de forma holística.

### **3.1.2 Aproveitamento de Biomassa Residual como Fator de Desenvolvimento Rural Sustentável**

O rápido crescimento da população mundial associado ao acelerado desenvolvimento e, de modo consequente, a necessidade de atender não só em quantidade, mas também qualidade, a crescente demanda de água, alimento e energia tem obrigado a humanidade a mudar sua mentalidade (AMORIN et al., 2004).

O atual modelo de desenvolvimento irracional e a qualquer custo, baseado unicamente na maximização de lucros, com a exaustão de recursos naturais, geração e disposição inadequada de resíduos provocando enormes desequilíbrios, danos ambientais e desperdício, é insustentável (AMORIN et al., 2004).

A nova questão que se coloca para os governantes deste planeta e os cidadãos é a de parcimônia com os recursos naturais, por intermédio da prática do conceito de sustentabilidade ambiental, na qual o homem compreenda humildemente que pertence ao meio ambiente e não o contrário. Sendo assim, o quesito ambiental deve receber a devida atenção, tornando-se cada dia mais de valor não só econômico, mas também sócio-cultural (ANDRADE et al., 2002).

Isto posto, a ciência deve colaborar para fomentar este desenvolvimento sócio-econômico-cultural, por meio do aproveitamento máximo dos recursos. Todavia, concomitantemente, deve buscar a redução dos impactos ambientais resultantes da inserção de novas tecnologias (GALINKIN; BLEY, 2009).

É fundamental que a agricultura de altos insumos, e também os pequenos produtores rurais, se adequem ao conceito de eco-eficiência e atendam as exigências de certificações e selos de qualidade ambiental do mercado (ANDRADE et al., 2002).

Em busca da construção deste novo modelo de desenvolvimento que deseja alcançar a autonomia e não a dependência, a diminuição das desigualdades sociais e permite conciliar desenvolvimento econômico com um mínimo de impactos adversos ao meio ambiente, surge a possibilidade de agregação de valor a um produto que antes não possuía nenhuma importância econômica direta em uma propriedade rural (EHLERS, 1999; GALINKIN; BLEY, 2009).

Os resíduos agropecuários se corretamente tratados produzem biogás, o qual pode promover não só autonomia energética de diversos produtores rurais, mas também contribui para a redução do chamado efeito estufa, bem como o uso do biodigestor promove o saneamento rural, prevenindo a poluição e conservando os recursos hídricos. Os recursos hídricos são finitos e vulneráveis, assim sendo, devem ser racionalmente utilizados para usos prioritários, como para consumo humano, e não como depósito de resíduos (SOUZA; CAMPOS, 2007; AMARAL et al., 2004; MONTEIRO, 2009).

O biodigestor ainda permite a obtenção do biofertilizante, utilizado como adubo orgânico em substituição aos químicos, transformando a problemática dos resíduos em uma solução, além de cooperar para criar possibilidades de permanência de trabalhadores no meio rural, contribuindo para a sua saúde, bem estar, satisfação, economia, maior autonomia, entre outros benefícios (AQUINO et al., 2014; ANDRADE et al., 2002).

No Brasil, segundo Buarque (2008), este novo modelo de desenvolvimento sustentável é uma meta a ser alcançada a curto, médio e longo prazos e exigirá uma quebra de paradigmas por contrariar interesses já cristalizados. A rapidez para a implementação de mudanças depende principalmente da capacidade de transformar conceitos em fatos concretos que afetem a qualidade de vida dos habitantes e suas futuras gerações.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS BOVINOS

Até a década de 70, os dejetos produzidos pela atividade de criação de animais não constituíam maiores problemas para a sociedade, pois a concentração destes animais nas propriedades era pequena. Entretanto, o confinamento e a intensificação da produção trouxeram consigo a multiplicação do volume de dejetos produzidos por unidade de área, os quais ainda continuam sendo descartados a céu

aberto ou lançados em cursos d'água sem tratamento prévio, tornando-se uma fonte poluidora e um fator de risco tanto para a saúde dos animais quanto para a humana (MATOS et al., 1998).

Segundo Gonsalves Neto e Carvalho (2010), a frequência diária de defecação dos bovinos é bastante variável, desde 2,4 a 15,5 vezes por animal por dia, ocupando uma área também variável de 0,05 a 0,5 m<sup>2</sup> por animal por dia. A eliminação da urina é, assim como a defecação, um ato involuntário nos bovinos, e da mesma forma também é determinado principalmente, pelo tipo de dieta. A frequência de micção pode variar de 4 a 10 vezes por dia (DEGASPERI, 2003).

Vieira Júnior et al. (2012) citaram que os bovinos geralmente urinam de 8 a 12 vezes por dia e defecam de 11 a 16 vezes por dia. Cada vez que o bovino urina o volume médio excretado varia de 1,7 a 2,3 litros, sendo que os valores referidos tendem a variar de acordo com a estrutura do animal, da dieta e principalmente de condições climáticas.

De acordo com estudos realizados por Oliveira (1993), a produção de resíduos líquidos de bovinos de leite é em média 9,4 L por dia e em relação ao esterco, a ordem de grandeza é de 10 a 15 Kg por animal por dia. Já Pauletti (2004) registrou 9,1 Kg de urina e 23,5 Kg de esterco, considerando a quantidade de dejetos produzidos por bovinos com peso de 453 Kg.

A composição dos dejetos de bovinos está associada ao sistema de manejo adotado, podendo apresentar variações na concentração de seus componentes, dependendo da diluição e da modalidade como são manuseados e armazenados (OLIVEIRA, 1993; SILVA, 2009).

Morse et al. (1992) estimaram que diariamente cada gado leiteiro excreta no composto (fezes + urina) cerca de 168 g de K, 119 g de Ca, 55 g de Na, 54 g de P e 46 g de Mg.

Pesquisas feitas por Konzen e Alvarenga (2007) demonstraram que o estrume sólido de bovino apresenta pH entre 7,0 a 7,5; 45 a 70% de MS; 15 a 25 Kg m<sup>-3</sup> de N; 8 a 12 Kg m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 8 a 15 Kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O; Já as fezes misturadas com a urina apresentam pH entre 6,8 a 7,5; 12 a 15% MS; 4,5 a 6,0 Kg m<sup>-3</sup> de N; 2,1 a 2,6 Kg m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 2,8 a 4,5 Kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O; e o chorume (estrume + urina + água de lavagem) apresentam pH entre 7,0 a 7,5; 10 a 15% MS; 1,5 a 2,5 Kg m<sup>-3</sup> de N; 0,6 a 1,5 Kg m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 1,50 a 3,0 Kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O.

Nestes efluentes pecuários comumente encontram-se uma variedade de micro-organismos patogênicos, os quais fazem parte do trato digestivo dos animais. Segundo Sobsey et al. (2001), protozoários (*Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia* e *Balantidium coli*), bactérias (*Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Campylobacter spp.*, *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio spp.*, *Leptospira spp.* e *Listeria spp.*) e vírus (vírus da hepatite E, reovírus, rotavírus, adenovírus, calicivírus e vírus da influenza) estão entre as principais categorias de micro-organismos com potencial patogênico.

### 3.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA

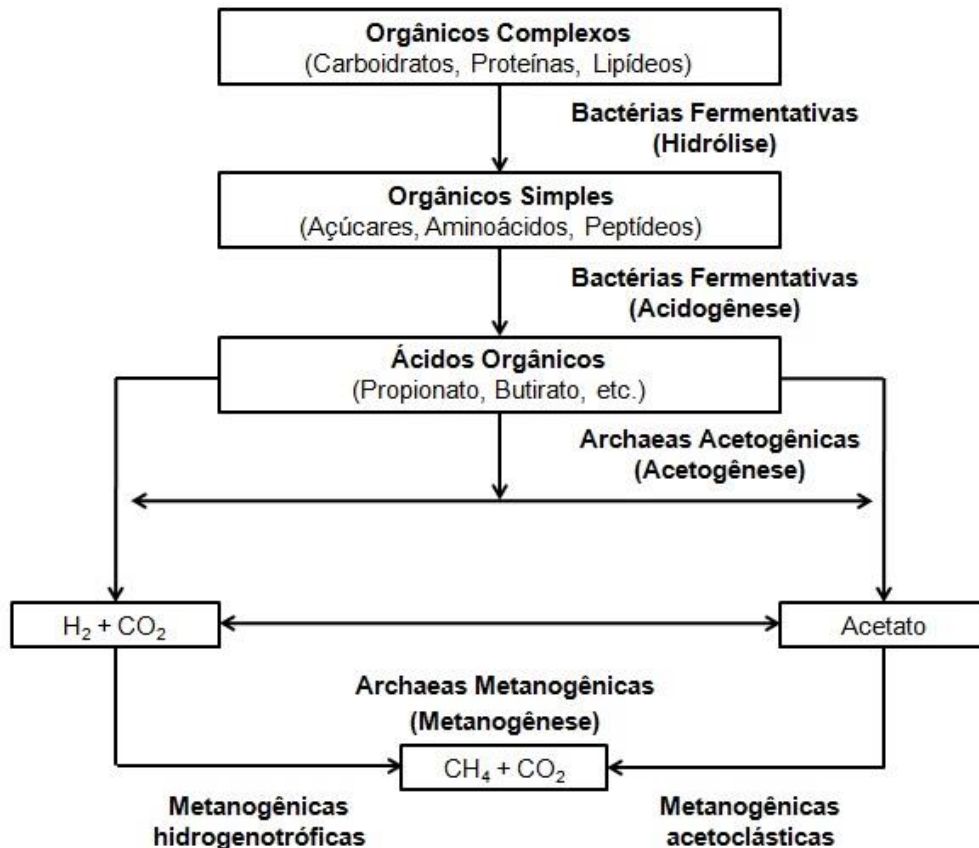
A digestão anaeróbia de compostos orgânicos é um processo que ocorre de forma natural, em que sistemas de tratamentos biológicos de resíduos passaram a ser uma imitação, porém com o incremento da tecnologia (REICHERT, 2005).

Baseia-se na atividade de uma associação de micro-organismos, perante condições anaeróbias e controladas de operação, objetivando a conversão biológica da matéria orgânica complexa em compostos químicos mais simples, principalmente metano, o qual foi descoberto em 1776 pelo italiano Alessandro Volta, através da observação de bolhas que resultavam da decomposição de restos vegetais presentes em áreas alagadas, passando, em primeira instância, a ser denominado como “gás dos pântanos” (CHONG; CHONG, 2008).

Esse processo complexo pode ser dividido em quatro etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 2007), conforme a Figura 1.



Figura 1. Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica.



Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007).

### 3.3.1 Hidrólise

A hidrólise, primeira etapa da digestão anaeróbia, é realizada através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Consiste na quebra de matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídeos) em materiais solúveis mais simples (açúcares, aminoácidos e ácidos graxos de cadeia longa), que possam ser assimilados pelos micro-organismos (FARIA, 2012; SALOMON, 2007).

Existe a possibilidade de esta etapa ser mais lenta que as demais, limitando o processo global da digestão anaeróbia, sendo que os principais fatores associados são: tempo de retenção, temperatura, pH, tamanho e distribuição das partículas (FARIA, 2012). Contudo, segundo Monnet (2003), essa etapa de degradação anaeróbia pode ser acelerada por meio da adição de compostos químicos, proporcionando um maior rendimento na produção de metano.

Segundo Anderson et al. (2003), a composição de micro-organismos que são ativos nesta etapa está em função do tipo de substrato contido no sistema. Entre os gêneros de bactérias hidrolíticas que se destacam na digestão anaeróbia pode-se citar:

- *Clostridium*, *Micrococcus* e *Staphylococcus*: gêneros produtores de lipases para degradação de lipídeos à ácidos graxos;
- *Bacteroides*, *Butyvirio*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Proteus*, *Peptococcus* e *Bacillus*: gêneros produtores de proteases para degradação de proteínas à aminoácidos;
- *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Acetivibrio*, *Eubacterium*: gêneros produtores de amilases para degradação de polissacarídeos à açúcares menores.

### 3.3.2 Acidogênese

Na acidogênese, os compostos provenientes da etapa anterior são absorvidos e metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas, as quais excretam substâncias simples, como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, alcoóis, ácido láctico, compostos minerais ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , entre outros), além de novas células bacterianas (ABREU, 2007; BOHRZ, 2010).

A maioria das bactérias desta etapa é considerada anaeróbia estrita, porém, segundo Bohr (2010), aproximadamente 1% delas consiste em bactérias facultativas, as quais podem metabolizar a matéria orgânica por via oxidativa, usando o oxigênio molecular, eventualmente presente, como acceptor de elétrons, removendo resíduos de oxigênio dissolvido no sistema. Fato importante, pois permite eliminar qualquer efeito tóxico aos micro-organismos estritamente anaeróbios que dão sequência a biodigestão.

Os gêneros de bactérias acidogênicas mais comuns em reatores anaeróbios são: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Butyribacterium*, *Propionibacterium*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Desulfobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus* e *Escherichia* (MENDONÇA, 2009).

### 3.3.3 Acetogênese

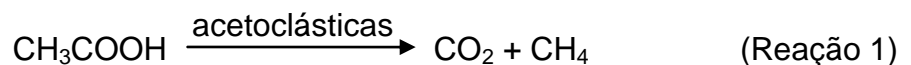
As archaeas acetogênicas são as responsáveis pela transformação dos produtos gerados na etapa acidogênica em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono (substratos intermediários que serão metabolizados pelas archaeas metanogênicas) (SALOMON, 2007).

Os gêneros das archaeas acetogênicas encontradas em processos anaeróbios são: *Syntrophobacter* e *Syntrophomonas* (CHERNICHARO, 2007).

### 3.3.4 Metanogênese

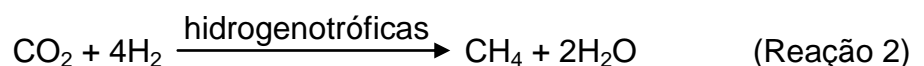
A metanogênese, etapa final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos, é a responsável direta pela produção de metano e dióxido de carbono. Segundo Pinheiro (2006), as archaeas metanogênicas aproveitam um limitado número de substratos (ácido acético, metanol, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metilaminas e monóxido de carbono) e são divididas em dois grupos:

Metanogênicas acetoclásticas – o acetato é utilizado como fonte de energia e carbono. Através da redução do ácido acético produzem gás carbônico e metano (Reação 1), sendo responsáveis por 60 a 70% de toda produção de metano (MENDONÇA, 2009).



Os gêneros de metanogênicas acetoclásticas mais encontrados são: *Methanosarcina* e *Methanosaeta* (CHERNICHARO, 1997).

Metanogênicas hidrogenotróficas – utilizam o gás carbônico como fonte de carbono e são aceptoras de átomos de hidrogênio, sendo que este atua como fonte de energia (Reação 2) (LOUZADA, 2006).



Os principais gêneros de metanogênicas hidrogenotróficas encontrados em reatores anaeróbios são: *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanobrevibacter*, *Methanoculleus* e *Methanocorpusculum* (BITAR, 2003; MORRIS, 2011).

### 3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia pode ser afetada por diferentes fatores, os quais estão relacionados com o substrato, com as características do biodigestor, bem como com as condições de operação. Se um determinado fator provoca desequilíbrio no processo, este se deve principalmente a uma maior sensibilidade das archaeas metanogênicas, que deixam de produzir o metano, ocasionando o aumento na concentração dos ácidos orgânicos voláteis e também outros produtos intermediários, inibindo ainda mais a produção do biogás (OLIVEIRA, 2009; MEYSTRE, 2007).

#### 3.4.1 pH

Alterações nesse fator afetam sensivelmente os micro-organismos envolvidos no processo de digestão anaeróbia, podendo revelar-se de formas variadas, modificando suas estruturas e, conseqüentemente, fazendo-os perder suas características originais, aumentando ou diminuindo sua toxicidade (MEYSTRE, 2007; SALOMON, 2007).

Portanto, é de fundamental importância buscar manter uma faixa adequada, a qual possibilite o desenvolvimento máximo da maior parte dos micro-organismos envolvidos, uma vez que o pH está diretamente relacionado às concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultando do equilíbrio entre populações de micro-organismos e a alcalinidade total do sistema. Qualquer desequilíbrio no sistema acarreta em um acúmulo de ácidos orgânicos no meio e em consequência, queda do pH (PEREIRA et al., 2009).

Segundo Campos et al. (2006), normalmente os micro-organismos têm o seu pH ótimo próximo a neutralidade, com o nível ideal entre 6,5 e 7,5. Em condições

acima ou abaixo desta faixa a produção de metano decresce, tendendo a cessar (SOARES, 1990).

### **3.4.2 Nutrientes**

A presença de concentrações adequadas de macro e micronutrientes é fundamental para que os processos de tratamento de efluentes sejam operados com êxito (BOHRZ, 2010).

A quantidade de N e P - nutrientes essenciais em todos os processos biológicos - em relação à matéria orgânica presente, depende da eficiência dos micro-organismos em obterem energia para síntese a partir das reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico (LOUZADA, 2006).

Segundo Annachhatre (1996), a relação DQO:N:P de 300:5:1 em sistemas anaeróbios é recomendada durante a fase de partida do reator, embora razões menores, tais como a de 600:5:1 possam ser mantidas durante a operação do reator no estado de equilíbrio. Speece (1996) considerou que a relação de 500:5:1, em geral, é suficiente para atender às necessidades de macronutrientes pelos micro-organismos anaeróbios.

O S, além dos nutrientes já citados, também é considerado essencial e sua concentração, em geral, deve ser da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo (MALINA; POHLAND, 1992).

Já o Fe, Co, Zn, Ni, Cu e Se estão entre os micronutrientes considerados essenciais, atuando como estimulantes de processos anaeróbios (SALOMON, 2007; LOUZADA, 2006).

### **3.4.3 Tempo de Retenção**

É o tempo necessário para que um substrato qualquer seja totalmente digerido no biodigestor, ou seja, é o tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluente do digestor (COMASTRI FILHO, 1981). Seu valor depende da biomassa utilizada, do tipo de digestor, além de outros fatores, mas em geral pode variar de

dias, em certos biodigestores rurais, a apenas algumas horas, em biodigestores industriais (SALOMON, 2007; MAZZUCCHI, 1980).

O tempo de retenção é definido pela relação entre o volume do digestor e o volume da carga diária. Quando combinado com a taxa de decomposição dos sólidos voláteis é responsável pela eficiência do digestor. Desta forma, o menor tempo de retenção e o maior de decomposição são resultados dos melhores digestores (SALOMON, 2007).

#### **3.4.4 Agitação do Sistema**

Sejam os sistemas de agitação feitos através de agitação mecânica, retorno de gás produzido, recirculação do lodo ou até pela liberação de gás na forma de pequenas bolhas, permitem um maior contato entre os micro-organismos e a matéria orgânica, evitando a formação das chamadas “zonas mortas”, as quais são resultado da sedimentação do lodo e podem causar perda de parte da capacidade útil do reator (BOHRZ, 2010).

A aplicação de agitação no sistema de tratamento de resíduos garante melhor contato entre a biomassa ativa e a alimentação; uniformidade física, química e biológica em todo o reator; bem como a dispersão rápida dos produtos metabólicos da digestão e de qualquer substância tóxica que entre no sistema, minimizando assim os efeitos inibidores da atividade microbiana; além de prevenir a formação de espuma (bolhas esbranquiçadas) e o desenvolvimento de gradientes de temperatura no interior do reator (MONNET, 2003; VITORATTO, 2004).

#### **3.4.5 Materiais Tóxicos**

Segundo Chernicharo (2007), a adequada degradação dos compostos orgânicos por qualquer processo biológico depende da manutenção de um ambiente favorável para os micro-organismos.

Qualquer composto presente no substrato em concentrações suficientemente elevadas pode ser tóxico, entretanto, a toxicidade de materiais pode ser evitada no processo, enquanto as concentrações se mantiverem toleráveis ao

crescimento microbiano por formação de complexos insolúveis ou precipitação, adaptação dos micro-organismos e utilização de compostos antagônicos (CHERNICHARO, 2007; CHEN et al., 2008).

A toxicidade por sais está associada ao cátion do sal. A ordem crescente de inibição, com base na concentração molar é:  $\text{Na}^+$  (0,032 N),  $\text{NH}_4^+$  (0,25 N),  $\text{K}^+$  (0,15 N),  $\text{Ca}^{2+}$  (0,11 N) e  $\text{Mg}^{2+}$  (0,16 N). Porém, se a biomassa adaptar-se às condições, estas concentrações podem passar a valores mais elevados (MENDONÇA, 2009).

Já a toxicidade por sulfetos depende da DQO do afluente, sendo que quanto maior for a DQO, maior será a produção de metano e maior a quantidade de sulfetos na forma gasosa, retirados da fase líquida e, portanto, menores serão os problemas com toxicidade no reator. Admite-se que na relação de DQO por sulfatos maior que 10 não ocorrerão problemas inibitórios (MENDONÇA, 2009; VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Cromo, cromatos, arsênio, cianeto, entre outros, são tóxicos inorgânicos, os quais em baixas concentrações são adversos ao tratamento anaeróbio, porém, podem ser tolerados quando estão combinados com sulfetos, formando compostos que são insolúveis (sais de sulfeto), sem efeito adverso ao processo (SALOMON, 2007; VITORATTO, 2004).

### **3.4.6 Temperatura**

Dentre os fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies, isso em virtude dos micro-organismos não possuírem meios de controlar sua temperatura interna, a qual é então determinada pela temperatura ambiente externa (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Lettinga et al. (1996), na maioria dos processos biológicos, três faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano (Tabela 1).

Tabela 1. Faixas de temperatura do crescimento microbiano.

<b>Faixa</b>	<b>Intervalo (°C)</b>
Psicrófila	Entre 0 e $\cong$ 20
Mesófila	Entre 20 e $\cong$ 45
Termófila	Entre 45 e 70, e acima

Fonte: Adaptado de Lettinga et al. (1996).

Apesar de a formação microbiana do metano poder ocorrer em condições extremas de temperatura, de 0 a 97 °C, para Chernicharo (1997), dois níveis ótimos tem sido associados à digestão anaeróbia, de 30 a 35 °C na faixa mesófila e de 50 a 55 °C na faixa termófila. A maior parte dos biodigestores tem sido projetada na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termófila.

Segundo Metcalf e Eddy (1991), a temperatura ótima para a faixa mesófila varia entre 30 a 38 °C e para termófila entre 49 a 57 °C. Já Grady et al. (1999) destacaram que as temperaturas ótimas para as faixas mesófilas e termófilas variam de 30 até 40 °C e 50 a 60 °C, respectivamente.

De acordo com Soares (1990), quando o processo é operado na faixa termófila, há maior instabilidade nos parâmetros de controle, e quando ocorre variação da temperatura esse problema se agrava, o que pode afetar mais seriamente o processo.

Estudando a influência da temperatura no desempenho de reatores com esterco bovino, Castro e Cortez (1998) relataram que a faixa mesófila, de 30 a 40 °C apresentou-se a mais favorável à produção de biogás e à eficiência na degradação de sólidos de esterco bovino.

Souza (2001), ao observar a eficiência da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos de suínos (terminação) nas temperaturas de 25, 35 e 40 °C, sob efeito ou não de agitação, com tempos de retenção hidráulica de 30, 25, 15 e 10 dias, concluiu que o melhor desempenho foi verificado na temperatura de 35 °C.

Massé e Masse (2001), ao estudar o efeito das temperaturas de 20, 25 e 30 °C no tratamento de águas residuárias de abatedouro em biodigestor anaeróbio sequencial, relataram que a produção de metano decaiu quando o biodigestor foi operado na temperatura de 20 °C.

Segundo Van Haandel e Lettinga (1994), em temperaturas altas a velocidade das reações biológicas é maior, o que resulta em uma operação mais



eficiente e em um tempo de retenção hidráulica reduzido. Ainda de acordo com os autores a digestão anaeróbia também é possível em baixas temperaturas (10°C), porém a eficiência e a carga orgânica diminuem consideravelmente com o arrefecimento.

Speece (1996), observou que há um declínio de aproximadamente 34% da atividade dos micro-organismos para cada 5 °C de queda de temperatura. O autor considerou a temperatura ótima na faixa de 25 a 30 °C para processos mesofílicos.

Segundo Mckinney (1962), em virtude da água que existe em quase 80% do corpo celular dos micro-organismos, a grande parte deles não pode crescer em baixas temperaturas. O micro-organismo perde temperatura para o ambiente e, conseqüentemente, a velocidade das reações intracelulares é reduzida. Entretanto, uma pequena parcela de micro-organismos tem a habilidade de resistir a baixas temperaturas, pois possuem pouca água em seu corpo celular, porém a taxa de crescimento e de reação metabólica nestes é muito baixa.

De acordo com Parkin e Owen (1986), é mais importante impedir a ocorrência de variações bruscas de temperatura do que operar na faixa considerada ótima, uma vez que estas oscilações afetam a população microbiológica presente no reator.

### 3.5 BIOGÁS

O termo biogás é utilizado para denominar o produto obtido a partir da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio) de resíduos orgânicos. Sua composição é a porcentagem de gases, que varia de acordo com o substrato a ser biodigerido, as condições de funcionamento da biodigestão, bem como o tipo de biodigestor utilizado, entre outros fatores (FARIA, 2012).

A composição média dos gases produzidos a partir da biodigestão anaeróbia está descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Composição média da mistura gasosa do biogás.

<b>Gases</b>	<b>Intervalo (%)</b>
Metano	40 - 75
Dióxido de Carbono	25 - 40
Hidrogênio	1 - 3
Nitrogênio	0,5 - 2,5
Oxigênio	0,1 - 1
Ácido Sulfídrico	0,1 - 0,5
Amônia	0,1 - 0,5
Monóxido de Carbono	0 - 0,1

Fonte: Adaptado de Castanón (2002).

O potencial teórico de energia do biogás está em função da quantidade de metano contida no gás, o qual determina o seu PCI. O poder calorífico do biogás varia, mantendo-se entre 22.500 a 25.000 kJ/m<sup>3</sup>, admitindo o metano com aproximadamente 35.500 kJ/m<sup>3</sup>. A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os PCI's de diferentes gases (SALOMON, 2007).

Tabela 3. PCI de diferentes gases.

<b>Gás</b>	<b>PCI (kJ/m<sup>3</sup>)</b>
Metano	35.558
Propano	92.109
Butano	117.230
Gás Natural	31.819
Biometano	23.027

Fonte: Adaptado de Castanón (2002).

De acordo com o CENBIO (2001), o uso do biogás, de forma geral, apresenta inúmeras vantagens, dentre elas:

- Geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;
- Possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede;
- Redução das emissões de metano para a atmosfera;
- Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo aumento do efeito estufa;

- Geração de empregos.

### 3.6 BIOFERTILIZANTE

Esta é a denominação comumente usada para designar a biomassa fermentada, rica em nutrientes, que fica no interior do biodigestor, em sua maioria sob forma líquida. Quando aplicada ao solo melhora suas qualidades físicas, químicas e biológicas (COLDEBELLA, 2006).

Segundo Pereira et al. (2012), os adubos químicos podem substituir a matéria orgânica, porém não suprem as qualidades físicas e biológicas fornecidas por ela. O uso excessivo do adubo químico ainda pode causar a mineralização do solo, endurecendo-o, o que dificulta a entrada de ar e água, facilitando a ocorrência de erosão e deixando o solo indefeso e propenso a invasões por insetos, fungos e nematóides, devido à presença de sais, os quais destroem as bactérias que vivificam o solo.

O biofertilizante apresenta maior concentração de nutrientes do que o resíduo original devido à perda significativa de carbono, hidrogênio e oxigênio. A composição média do biofertilizante é de 1,5 a 2,0% de nitrogênio, 1,0 a 1,5% de fósforo e 0,5 a 1,0% de potássio, além de apresentar vários micronutrientes como: cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco (OLIVER, 2008).

### 3.7 BIODIGESTOR

A interação do homem com a natureza, que se iniciou com uma pequena interferência nos ecossistemas, atualmente tem culminado em uma forte pressão exercida sobre os recursos naturais.

Os avanços da produtividade agrícola desencadearam uma série de impactos ambientais e sociais negativos: poluição atmosférica, destruição de florestas e da fauna, erosão dos solos, contaminação dos alimentos, concentração de terras e riquezas, intensos fluxos migratórios para os centros urbanos, entre outros (EHLERS, 1999).

Em virtude da intensificação da insatisfação com o status da agricultura moderna, esta passou a buscar um modelo no qual a dimensão da sustentabilidade estivesse presente, contribuindo para a disseminação da chamada agricultura sustentável, que busca conciliar desenvolvimento econômico com uma menor quantidade de impactos adversos ao meio ambiente (EHLERS, 1999).

A geração de novas fontes alternativas de energia é um fator importante na busca dessa sustentabilidade ambiental. Leite (1997) afirmou que a questão energética assume o caráter de desafio para os países em desenvolvimento e constata ainda que no Brasil, o qual ainda não atendeu às necessidades elementares de grande parte de sua população, o crescimento da demanda de energia tende a permanecer elevado.

As atividades poluentes ou potencialmente poluentes, como muitas produções animais, necessitam obter licenciamento ambiental para sua implantação e operação, conforme a Resolução CEMA nº 65, de 01 de julho de 2008, que dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências.

No caso específico da criação dos animais, exige-se a instalação de dispositivos para tratamento dos dejetos, como esterqueiras, lagoas ou biodigestores, conforme a Resolução SEMA nº 31, de 24 de agosto de 1998 e a Instrução Normativa IAP/DIRAM nº 105.006, de 23 de junho de 2009. A primeira dispõe sobre licenciamento ambiental, autorização ambiental e outros procedimentos. A segunda, voltada aos procedimentos de licenciamento de suinocultura, tem como finalidade estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locacionais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas.

Considerando que o produtor precisa implantar um dispositivo de tratamento de resíduos, em função das exigências do licenciamento, justifica-se que este seja um biodigestor, visto que o mesmo, além de tratar os resíduos ainda produz biogás e biofertilizante, permitindo a agregação de valor a um produto que antes não possuía importância econômica direta, além de garantir condições sanitárias melhores para a vida humana (GALINKIN; BLEY, 2009).

O biodigestor se trata basicamente de uma estrutura projetada e construída a fim de produzir a situação mais favorável possível ao desenvolvimento de micro-

organismos especializados, típicos de situações de total ausência de oxigênio, que possuem a capacidade de degradar a biomassa e transformá-la em substâncias mais simples, como produtos gasosos e biofertilizante (GALINKIN; BLEY, 2009).

A classificação dos biodigestores varia de acordo com o modo de operação, que pode ser contínuo ou batelada. No sistema contínuo, os abastecimentos com o material orgânico a ser tratado são periódicos e contínuos, assim como a saída do substrato já tratado. Já o sistema em batelada recebe um volume total, sendo este retido até o final do processo de degradação, e posteriormente retirado (MACHADO, 2011).

No meio rural do Brasil, biodigestores fáceis de serem operados e que apresentam custos reduzidos cada vez mais ganham visibilidade. A escolha do biodigestor adequado para a quantidade e tipo de resíduo presente em uma propriedade é a chave para o desenvolvimento e processo apropriados (LUCAS JUNIOR; SANTOS, 2000). Frente a isto, no município de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Paraná, foi desenvolvido um modelo inovador de biodigestor de sistema contínuo, conhecido como Bioköhler, para atender inicialmente a demanda de pequenas propriedades rurais com bovinocultura de leite (GEBRAN; SANTOS, 2011).

O biodigestor modelo Bioköhler assemelha-se ao chinês, e possui diversas vantagens: é auto-limpante, ocupa espaço reduzido (instalado na vertical) e é de fácil montagem e instalação (GEBRAN; SANTOS, 2011).

A economia financeira obtida através do aproveitamento do biogás e biofertilizante gerado, melhoria ambiental, bem como ganhos sociais, estão dentre os benefícios pretendidos com a implementação desses sistemas de tratamento (SILVA, 2009).

### 3.8 ESTUFA

Estrutura normalmente feita de materiais semitransparentes e que tem como objetivo acumular e conter o calor, mantendo assim uma temperatura maior em seu interior que no exterior. É comumente composta de uma caixa e uma fonte de calor. Em uma estufa, na qual a fonte de calor é o sol, a energia que entra através da radiação solar aquece o ambiente interno e não se perdem as correntes de calor.

Conforme Sosa, Chao e Río (1999), os micro-organismos envolvidos na formação de biogás são extremamente sensíveis a mudanças no meio. Assim, variações bruscas de temperatura afetam o desempenho destes, podendo até mesmo levá-los a morte, o que acarreta na redução considerável da produção de biogás.

Dentro deste contexto, a estufa se aplicada de forma a cobrir a estrutura de um biodigestor, poderá minimizar o efeito do resfriamento noturno, bem como proporcionará proteção da parte superior deste quanto à questão do resfriamento causado pela lavagem do biodigestor com água fria proveniente da chuva.

### 3.9 SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS FIXOS E SÓLIDOS VOLÁTEIS

Para se interpretar quantitativamente em uma amostra a presença total de matéria que não seja água, ora na forma de substâncias dissolvidas, coloidais ou em suspensão, é necessário realizar a análise de sólidos totais. O teor de sólidos totais é obtido pela pesagem do resíduo da evaporação de uma amostra, correspondendo ao resíduo da desidratação desta (LABIOGÁS, 2014).

Os sólidos fixos são obtidos pela submissão do resultado da determinação dos sólidos totais à ignição por uma temperatura específica, sendo que a fração orgânica volatiliza-se e a inorgânica permanecerá como sólidos totais fixos, designado em geral como cinzas (LABIOGÁS, 2014).

Já os sólidos voláteis podem ser interpretados como o conteúdo orgânico dos sólidos, obtidos pela diferença entre o resultado de sólidos totais e sólidos fixos. Essa determinação é realizada a fim de caracterizar a matéria biodegradável, ou seja, quanto maior este valor, maior é o potencial de produção de biogás (LABIOGÁS, 2014).

### 3.10 DENSIDADE

A densidade é uma grandeza física que varia com a temperatura e a pressão. É inversamente proporcional ao volume, ou seja, quanto maior o volume ocupado por determinada massa, menor será a densidade (FOGAÇA, 2013).

#### 4 METODOLOGIA

O embasamento científico desta pesquisa, quanto aos objetivos, foi classificado como pesquisa explicativa, a qual segundo Gil (1999) visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Quanto aos procedimentos técnicos adotados, foi classificado como uma pesquisa experimental, que consiste na realização de experimentos, a partir da definição, observação e controle das variáveis e sua influência sobre determinado objeto (GIL, 1996).

A pesquisa foi conduzida, no período de 03 de agosto de 2014 a 07 de fevereiro de 2015, junto a Estação Experimental Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos Pessoa, situada na Linha Guará do município de Marechal Cândido Rondon - PR, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Marechal Cândido Rondon (as coordenadas geográficas são em latitude 24,531997 S, longitude 54,019335 W e altitude de aproximadamente 420 m, no sistema de referência geodésica SIRGAS 2000).

Marechal Cândido Rondon, faz parte da região Oeste do Estado do Paraná, denominada de planalto de Guarapuava. Está localizado entre os paralelos de 24° 26' e 24° 46' latitude Sul e 53° 57' e 54° 22' longitude Oeste e encontra-se na classificação climática com a denominação de clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração de chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22° C e a dos meses mais frios é inferior a 18° C (MAACK, 2002; PREFEITURA MUNICIPAL DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON, 2015).

Com um território de 748,002 Km<sup>2</sup> e uma população estimada para o ano de 2015 de 50.808 mil habitantes (IBGE, 2015), o município possui relevo predominante do tipo suave ondulado (declividades de 3% a 8%) a ondulado (declividades de 8% a 20%), o qual propicia formas em patamares e colinas sub-tabulares (LEMOS; SANTOS, 1996).

Encontram-se, em termos de solos, os Latossolos Vermelhos Eutroféricos (áreas de topo), os Nitossolos Vermelhos Eutroféricos (áreas de média vertente) e em menor extensão os Neossolos Litólicos (áreas de fundo de vale) (EMBRAPA,

1999) e, em termos de vegetação, subtropical, pereniólia (PREFEITURA MUNICIPAL DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON, 2015).

A economia local baseia-se na agropecuária (soja, mandioca, milho, frutas, fumo, feijão, aveia, arroz, amendoim, gado bovino de leite, aves, suínos, silvicultura, pesca), na agroindústria (laticínios, alimentos), na indústria (extrativa, construção, transformação, móveis, alimentos) e nos serviços, principalmente (FERRARI, 2009).

A análise dos resultados obtidos foi feita a partir do agrupamento dos dados relativos a períodos de três semanas, formando 9 tratamentos que iniciaram em meses mais frios e terminaram em meses mais quentes. A determinação desta concentração foi feita a fim de facilitar a manipulação e exposição dos dados.

O biodigestor experimental presente na estação era da marca Bioköhler, com câmara de biodigestão em fibra de vidro, formada pela união de duas caixas d'água de 10.000 L cada, sendo uma caixa d'água normal e a outra tendo o seu fundo arredondado, contendo uma saída para manutenção, permitindo a abertura da mesma em caso de necessidade. Ambas as caixas possuíam material reforçado em função da pressão hidráulica do líquido e do gás. A câmara de biodigestão detinha capacidade de 20 m<sup>3</sup>, com volume útil de 19,56 m<sup>3</sup>, estava instalada no sentido vertical, possuindo sistema de alimentação contínuo e coberta por uma estufa plástica (Figura 2).

Figura 2. Câmara de biodigestão coberta pela estufa plástica.



Fonte: O autor (2014).



Uma das extremidades da câmara de biodigestão, a inferior (referente à porção de uma caixa d' água) era totalmente enterrada e a outra extremidade, a qual possuía o fundo arredondado, ficava fora do solo. A canalização de afluente e biogás era toda subterrânea para proteção do sol, chuva e possíveis impactos que poderiam danificá-la.

O dejetos bovino era raspado do estábulo presente na estação (Figura 3) e acumulado no início do encanamento, onde era misturado com água e a mistura resultante escoava por dentro do encanamento e se deslocava por gravidade até a caixa de alimentação do biodigestor. Este deslocamento ocorria por diferença hidráulica, visto que a mistura era feita de forma a manter uma concentração de sólidos totais entre 8 e 12%, que naturalmente é fluida e se comporta como um líquido (CASTRO; CORTEZ, 1998).

Figura 3. Estábulo.



Fonte: O autor (2014).

Após ser encaminhada para a caixa de alimentação, a mistura de água e dejetos era quantificada através da aferição da altura atingida pela solução. Posteriormente, promovia-se a coleta da amostra do afluente do biodigestor.

O biodigestor então era alimentado por esta mistura de água e dejetos bovinos (raça holandesa) provenientes da própria estação, os quais eram alimentados com feno, ração e silagem. As vacas permaneciam no estábulo por aproximadamente 4 horas.

Sendo o biodigestor em estudo de sistema contínuo, a mesma quantidade de carga diária de matéria orgânica que nele entrava saía na forma de biofertilizante, o que permitia a realização da segunda coleta do material (efluente).

Terminado a alimentação do biodigestor realizava-se a segunda medida da altura da mistura presente na caixa de alimentação, sendo que esta a bomba não conseguia succionar.

Após as aferições realizava-se o cálculo do volume de entrada a partir da Equação 1:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot p \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

V = volume;

$\pi = \rho i$ ; proporção numérica que tem origem na relação entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro, tendo valor aproximado de 3,14;

r = raio; a caixa de entrada tem diâmetro de 1 m, sendo o raio de 0,5 m, logo,  $r^2 = 0,25$ ;

p = profundidade; diferença entre as medidas da caixa de entrada antes e depois de o biodigestor ser alimentado.

As coletas das amostras para efetuar as análises foram realizadas semanalmente, geralmente nas quintas-feiras, totalizando 54 amostras, sendo 27 de afluentes e 27 de efluentes.

As amostras foram acondicionadas em garrafas PET de 500 mL (Figura 4) e armazenadas em congelador para posterior análise.

Figura 4. Amostras.



Fonte: O autor (2014).

Durante o experimento, ocorreram de forma pontual reduções no tempo de alojamento das vacas no estábulo. Isto se sucedeu em função de outro experimento e, portanto, de forma previsível e conhecida. Buscando minimizar os efeitos da diminuição esperada de dejetos, em virtude da redução do tempo de alojamento, procurou-se compensar esta com uma carga orgânica equivalente, na forma de cama de aviário, a qual foi fornecida por produtor da região. Para tanto, considerou-se que uma redução de 1 h equivaleria à adição de aproximadamente 19 Kg de cama de aviário.

A operação e o manejo do biodigestor eram realizados diariamente no período da tarde.

O TDH foi calculado de duas formas. A primeira, utilizando-se a Equação 2, sendo o volume da biomassa total em fermentação igual ao volume útil e a alimentação diária foi medida pela média das alimentações semanais, obtendo-se assim um TDH de 49,83 dias, o que deu aproximadamente 50 dias. Este valor baseou-se na média da vazão de 189 dias.

A segunda forma utilizou uma média dos tempos de detenção hidráulicas dos tratamentos que representavam um período de três semanas. Neste caso, usou-se como referência a vazão, determinada a partir da vazão dos dias de coleta das amostras utilizadas para a determinação do balanço de sólidos. Portanto, esta última determinação está baseada em apenas 27 repetições, sendo assim menos precisa, dando um total de 42,62 dias, o que representa aproximadamente 43 dias.

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

V = volume útil do biodigestor (m<sup>3</sup>);

Q = vazão (m<sup>3</sup>/dia).

O experimento consistiu no monitoramento das variáveis: temperatura interna do biodigestor, temperatura interna a estufa, temperatura ambiente (externa ao biodigestor), densidade dos afluentes e efluentes, valores de sólidos totais, fixos e voláteis, volume de biogás produzido e teor de CH<sub>4</sub> presente no biogás.

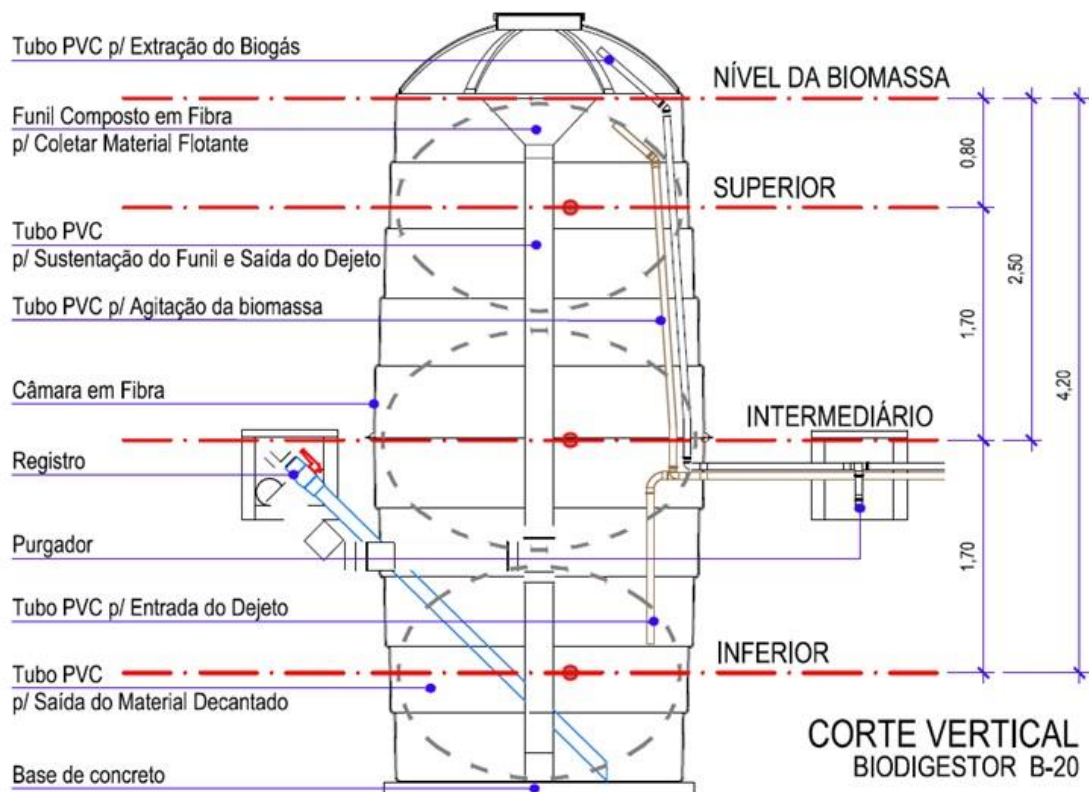
A temperatura interna do biodigestor foi medida diariamente, com o auxílio de 3 termopares tipo J, sendo o termopar superior colocado a 0,80 m abaixo do nível

máximo da biomassa em fermentação (temperatura biodigestor superior), o intermediário a 2,50 m (temperatura biodigestor intermediário) e o inferior a 4,20 m (temperatura biodigestor inferior), conforme a Figura 5.

A temperatura interna a estufa também foi medida diariamente com o subsídio de 4 termopares tipo J, sendo os termopares posicionados de forma: (a) com que ficassem na parte do biodigestor em que o sol refletia durante o período da manhã (temperatura estufa manhã); (b) parte do biodigestor em que o sol refletia durante o período da tarde (temperatura estufa tarde); (c) um intermediário a altura mediana do biodigestor, próximo ao solo (temperatura estufa médio); e, (d) um que representasse a temperatura interna da estufa (temperatura estufa), localizado em uma área com a menor influência direta do sol.

Os dados foram armazenados em intervalos de 15 minutos por meio de um registrador eletrônico FieldLogger (Figura 6), marca Novus, com 8 canais analógicos por módulo, precisão de 0,2% da faixa máxima, o que equivale a  $\pm 1$  °C. Antes do início das medições os termopares passaram por calibração, e os valores de correção foram inseridos no software do registrador eletrônico, de forma que os dados gravados no mesmo já estivessem corrigidos.

Figura 5. Região superior, intermediária e inferior da medição da temperatura interna do biodigestor.



Fonte: Tietz et al. (2014).

Figura 6. Registrador eletrônico.



Fonte: O autor (2014).

A temperatura ambiente (temperatura externa) foi medida no local do experimento por um termopar tipo J, embora não apresentasse a altura exigida pelas estações oficiais, nem a proteção utilizada pelas mesmas, conforme observa-se na Figura 7 (a).

Para comparar com dados oficiais, portanto, foram obtidas informações da Estação Climatológica Automática de Marechal Cândido Rondon – PR, Código A 820, localizada na própria estação experimental (Figura 7 (b)). As temperaturas foram medidas por um sensor de temperatura do ar, elemento sensível sensor resistivo de platina Pt 100, da marca Vaisala, modelo HMP45A, classe B, com temperatura de operação de - 40 a + 60 °C, tempo de resposta de 500 ms e acurácia de  $\pm 0,2$  °C.

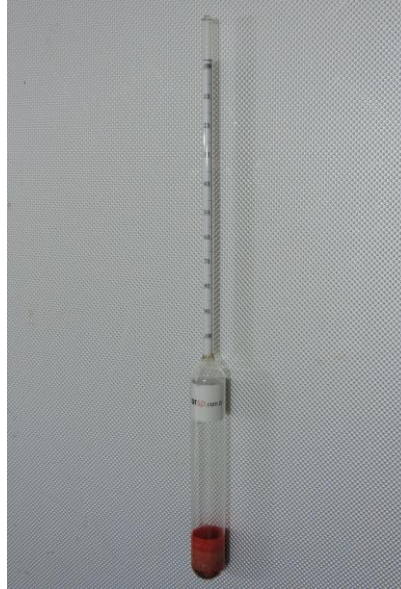
Figura 7. Medição da temperatura ambiente (a) e estação climatológica automática (b).



Fonte: O autor (2014).

A densidade dos afluentes e efluentes foi analisada com o uso de um densímetro para massa específica da marca Incoterm, modelo número 5582, de escala 1,000 a 1,100 g/mL, aferido a 20 °C (Figura 8).

Figura 8. Densímetro.



Fonte: O autor (2014).

Os sólidos totais, fixos e voláteis foram calculados para o afluente e efluente, podendo-se calcular então os valores de carga orgânica, rendimento de biogás por m<sup>3</sup> de biodigestor e as taxas de remoção de carga orgânica.

A determinação da série de sólidos ocorreu de acordo com os métodos estabelecidos pela APHA (1995), sendo o método 2540-B correspondente aos sólidos totais e o 2540-E aos sólidos fixos e voláteis (CEPPA, 2014).

O procedimento consistiu em primeiramente levar os cadinhos ao forno mufla (Figura 9 (a)) a 600 °C para calcinarem por um período de duas horas. Depois de retirados da mufla os mesmos foram esfriados em um dessecador (Figura 9 (b)) e, após, pesados em balança analítica (Figura 10 (a)), encontrando-se o peso do cadinho vazio (P1).

Posteriormente, os cadinhos foram preenchidos (aproximadamente 4/5 do seu volume total) com amostra natural de afluente ou efluente do biodigestor e, foram novamente pesados, encontrando-se o peso do cadinho vazio + amostra natural (P2) (Figura 11 (a)). Em seguida, os cadinhos com as amostras foram levados para a estufa (Figura 10 (b)) a 105 °C por no mínimo 12 horas. Após foram



resfriados em dessecador e promoveu-se novamente a pesagem, encontrando-se o peso do cadinho vazio + amostra seca (P3) (Figura 11 (b)).

Após estes procedimentos, as amostras foram levadas novamente à mufla por um período de duas horas a 600 °C, resfriadas em dessecador e pesadas, obtendo-se assim o valor do cadinho vazio + cinzas (P4) (Figura 11 (c)).

Para obtenção dos resultados dos sólidos totais, voláteis e fixos, em gramas, foram feitos os seguintes cálculos:

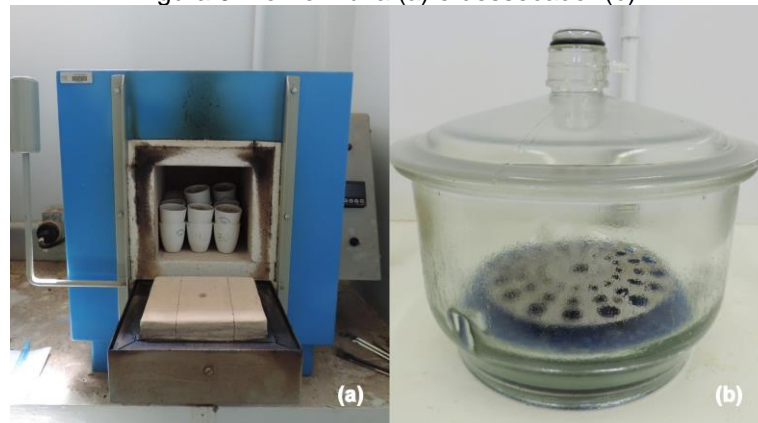
$$\text{Sólidos Totais} = P3 - P1$$

$$\text{Sólidos Voláteis} = P3 - P4$$

$$\text{Sólidos Fixos (cinzas)} = P4 - P1$$

Para tanto, os equipamentos utilizados foram os disponíveis nos Laboratórios de Solos, Alimentos e Cromatografia da FUNTEC, situados no município de Toledo – PR.

Figura 9. Forno mufla (a) e dessecador (b).



Fonte: O autor (2015).

Figura 10. Balança analítica (a) e estufa (b).



Fonte: O autor (2015).

Figura 11. Amostra natural (a), seca (b) e cinzas (c).

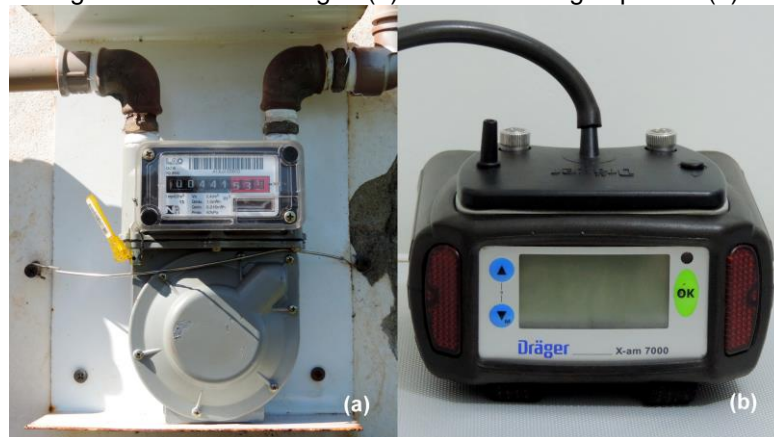


Fonte: O autor (2015).

O volume de biogás produzido foi quantificado através de um medidor de gás modelo G 0,6 fabricado pela LAO Indústria (Figura 12 (a)). Projetado para medição de consumo doméstico de gás natural, GLP ou manufaturado, o equipamento é provido de um sistema de irreversibilidade, evitando a totalização da produção de gás no sentido contrário ao da instalação. Este volume foi registrado de forma contínua e a leitura feita diariamente, antes da alimentação do biodigestor.

O teor de  $\text{CH}_4$  presente no biogás produzido foi medido por um detector de gás portátil da marca Dräger X-am 7000 (Figura 12 (b)), obtendo os dados por meio de sensores infravermelhos.

Figura 12. Medidor de gás (a) e detector de gás portátil (b).



Fonte: O autor (2014).



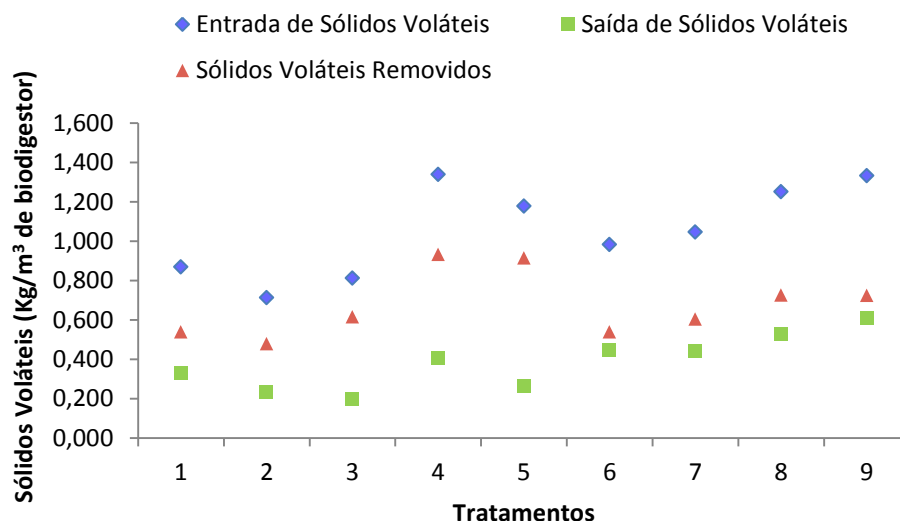
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 REMOÇÃO DE SÓLIDOS

Os sólidos voláteis obtiveram média nos afluentes correspondente a 1,059  $\text{Kg/m}^3$ , apresentando um desvio padrão médio de 0,231  $\text{Kg/m}^3$ , sendo que os valores mínimos e máximos registrados foram, respectivamente, 0,713 e 1,340  $\text{Kg/m}^3$  de sólidos voláteis presentes no dejetto. Os efluentes apresentaram como valores de sólidos voláteis a média de 0,384  $\text{Kg/m}^3$ , com desvio padrão médio de 0,138  $\text{Kg/m}^3$ , sendo os valores mínimos e máximos registrados, respectivamente, 0,197 e 0,608  $\text{Kg/m}^3$ .

Com base nesses valores, pode-se calcular a remoção dos sólidos voláteis por  $\text{m}^3$  do biodigestor. Este parâmetro teve como média o valor de 0,675  $\text{Kg/m}^3$  de biodigestor, sendo o desvio padrão médio de 0,163  $\text{Kg/m}^3$  de biodigestor, enquanto os valores mínimos e máximos encontrados foram, respectivamente, 0,479 e 0,933 por  $\text{Kg/m}^3$  de biodigestor. Na Figura 13 está representado o comportamento, em tratamentos, dos sólidos voláteis dos afluentes e efluentes, com sua respectiva remoção.

Figura 13. Quantidade de sólidos voláteis do afluente e efluente e a remoção dos sólidos voláteis.



Fonte: O autor (2015).

Colocando estes valores em termos de porcentagem, a remoção dos sólidos voláteis por  $\text{m}^3$  de biodigestor apresentou média de 63,76%, com desvio padrão

médio de 8,82%, com valores mínimos e máximos de 53,84 e 77,44%, respectivamente.

Leite e Povinelli (1999) estudaram o comportamento dos sólidos totais e voláteis no processo de biodigestão anaeróbia com resíduos sólidos urbanos e industriais, encontrando uma variação de remoção dos sólidos voláteis de 43,8 a 47,7% (este número varia devido à heterogeneidade dos resíduos).

Mendonça (2009), que estudou o tratamento anaeróbico de efluentes de bovinocultura de leite, encontrou remoções de sólidos voláteis de 30,2 a 86,3%, estes valores foram variáveis de acordo com o tempo de detenção hidráulica.

Amaral et al. (2004) obtiveram redução de sólidos voláteis de 26,42 à 40,64%, com média de 34,29%. Já Orrico Junior et al. (2010) em estudo com cama de aviário em diferentes biodigestores, obtiveram uma média de 44,05% de retirada de sólidos voláteis.

Weber et al. (2014), estudando a biodigestão de bovinos de leite obtiveram um valor médio de redução de sólidos voláteis de 55,10%, com desvio padrão médio de 19,23%, com valores mínimos e máximos de 8,02 e 82,01%, respectivamente.

Blanco et al. (2014), ao analisarem a produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura e cama de aviário em um biodigestor modelo Bioköhler alcançaram uma média de 64,23% de redução dos sólidos voláteis, sendo o desvio padrão médio de 10,76% e os valores de máximo e mínimo, respectivamente, de 84,99 e 49,84%.

Sendo assim, pode-se afirmar que os dejetos de bovinocultura de leite neste experimento apresentaram remoção de sólidos voláteis superior ou permaneceram dentro da faixa de variação obtida pelos autores citados.

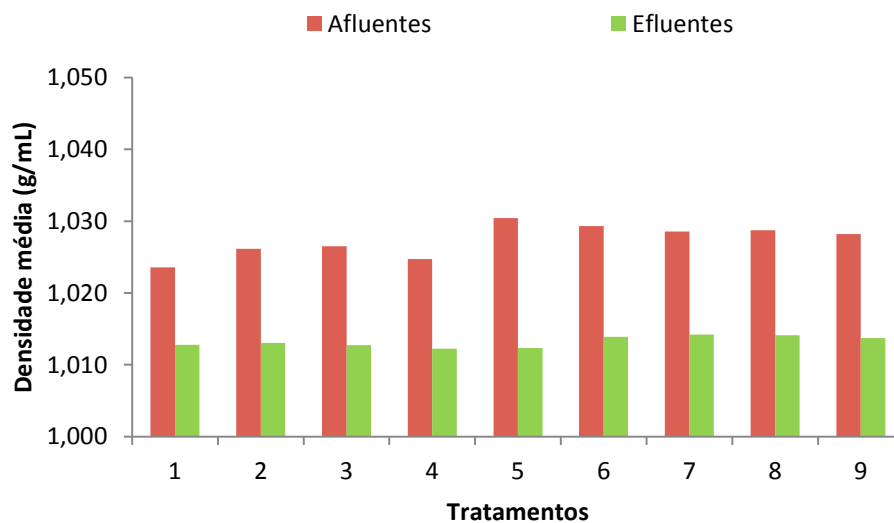
Tratando-se da remoção dos sólidos totais encontrou-se, em porcentagem, uma média de 56,76% por m<sup>3</sup> de biodigestor. Comparando este dado com os obtidos por Zschornack (2013) e Farias et al. (2012), em seus estudos, os quais obtiveram uma remoção de sólidos totais de 35,35% e 47,63%, respectivamente, observou-se que o presente trabalho atingiu uma remoção aceitável.

## 5.2 DENSIDADE DOS DEJETOS

A densidade é o produto entre massa e volume. Os dejetos de entrada do biodigestor apresentaram média de densidade de 1,027 g/mL, sendo que os valores

mínimo e máximo médio dos tratamentos registrados foram, respectivamente, 1,024 e 1,030 g/mL, apresentando desvio padrão de 0,002 g/mL. O valor médio deste parâmetro registrado para os dejetos de saída foi de aproximadamente 1,013 g/mL, tendo-se como valores mínimo e máximo médios 1,012 e 1,014 g/mL, respectivamente, com desvio padrão de 0,001 g/mL. Na Figura 14 observa-se tanto os dados médios de densidade dos afluentes, quanto dos efluentes do biodigestor para cada tratamento.

Figura 14. Dados médios de densidade dos afluentes e efluentes do biodigestor para cada tratamento.



Fonte: O autor (2015).

Pode-se verificar que a análise foi estável, não apresentando nenhuma variação significativa no período.

Averiguou-se uma diminuição deste parâmetro dos afluentes para os efluentes, portanto, pode-se deduzir que ocorreu uma redução da massa dos dejetos da saída, já que, segundo a equação da densidade, massa e densidade são proporcionais. Pode-se comprovar assim que a densidade diminuiu devido à remoção de sólidos da matéria, pois estes sólidos são a massa carbonácea do dejetos.

Weber et al. (2014) e Zschornack (2013), em seus estudos, também encontraram a densidade do afluente maior do que a do efluente do biodigestor em todos as semanas analisadas, comprovando assim que a densidade reduziu igualmente, em virtude da remoção de sólidos.

### 5.3 TEMPERATURA

Na região Oeste do Paraná, para otimizar a absorção de calor, os digestores tipo Bioköhler tem-se utilizado de pintura negra para absorver o máximo de energia solar. Durante o dia, a energia que é captada pela superfície negra na forma de ondas curtas, é absorvida e reemitida na forma de ondas longas (REUTER, 2003). Assim, o biogás e a superfície da massa líquida são aquecidos.

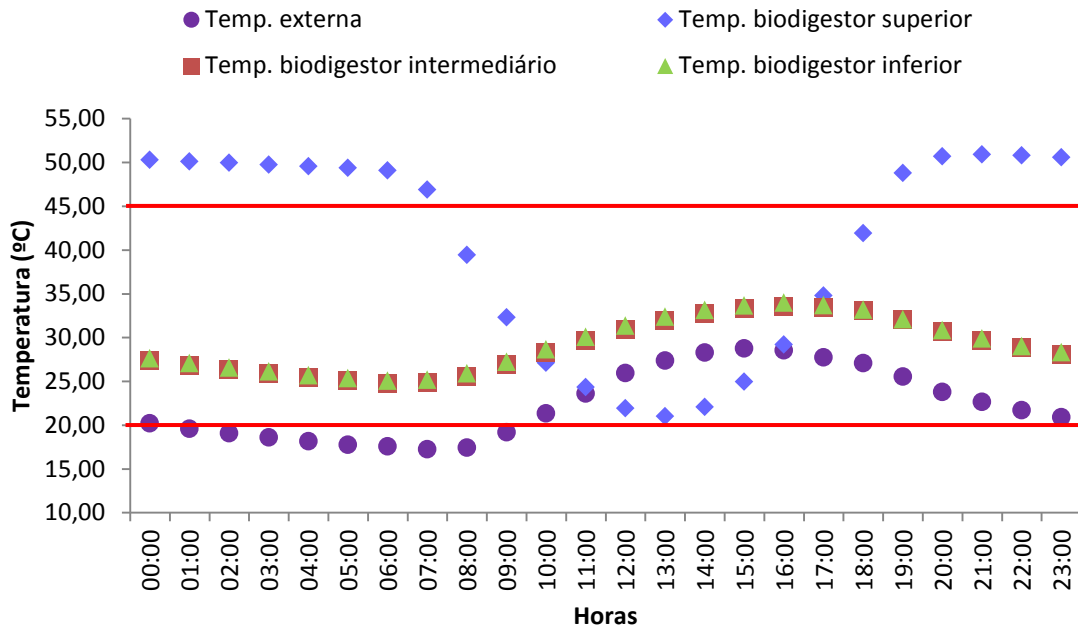
Durante a noite, a superfície negra tende a perder calor de uma forma bastante intensa, anulando então o ganho diurno (FEIDEN et al., 2004). Para que essa perda seja minimizada, foi construída uma estufa plástica, a qual teve como objetivo acumular e conter o calor.

A perda noturna ainda ocorreu, mas de uma forma mais lenta, pois a temperatura média da estufa era maior do que a temperatura externa. Além disso, como a energia recebida durante o dia foi dispersa em um grande volume de líquido, cujo calor específico é elevado, a perda se concentrou nas paredes externas e, portanto, tornou-se mais lenta devido a necessidade de migração das massas quentes do centro para as paredes. Assim, o ganho diário passa ser maior que a perda noturna e a eficiência da biodigestão é maior em função da maior temperatura média atingida pela massa líquida.

#### 5.3.1 Variações na Temperatura

Os valores médios das temperaturas, durante os 9 tratamentos analisados, considerando a temperatura interna do biodigestor em três pontos diferentes (temperatura biodigestor superior, temperatura biodigestor intermediário e temperatura biodigestor inferior) e a temperatura externa ao biodigestor em um ponto (temperatura externa), estão apresentados na Figura 15.

Figura 15. Variação média da temperatura interna e externa ao biodigestor.



Fonte: O autor (2015).

De acordo com Chernicharo (2007) e Lettinga et al. (1996) existem três faixas de temperatura nas quais o crescimento microbiano é possível, sendo elas: faixa psicrófila, mesófila e termófila.

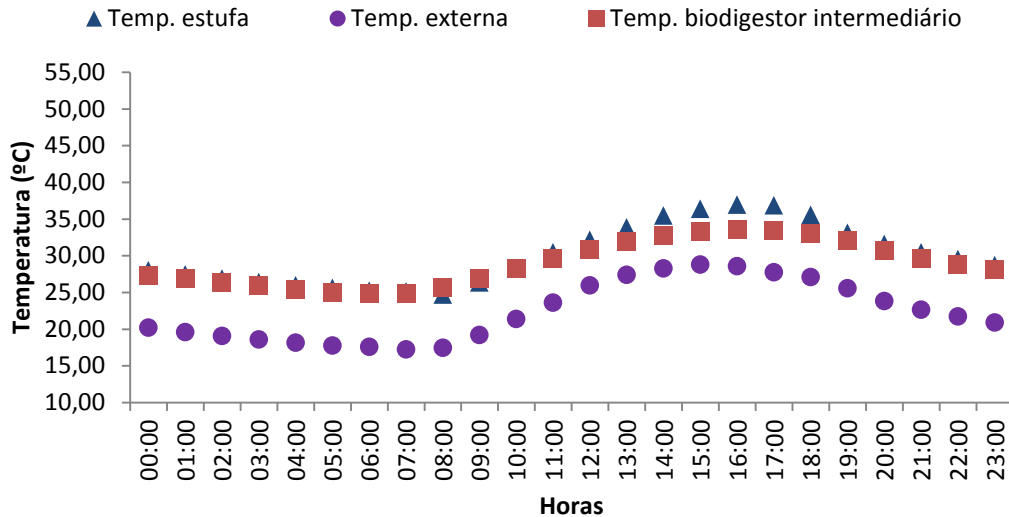
Embora o fato de que este crescimento microbiano pode ocorrer em condições extremas de temperatura, duas faixas de temperatura ótimas, nas quais o crescimento é máximo, tem sido associadas à digestão anaeróbia por diferentes autores, sendo elas: de 30 a 35 °C na faixa mesófila e de 50 a 55 °C na faixa termófila (CHERNICHARO, 1997; MAURER; WINKLER, 1980; NOGUEIRA, 1986; SINGH; ANAND, 1994).

No caso deste experimento os organismos atuaram na faixa mesofílica, pois a temperatura manteve-se na maior parte do tempo dentro da faixa de 20 a 45 °C (traço vermelho). Apenas na parte superior do biodigestor (temperatura biodigestor superior), durante cerca de 13 h, a temperatura superou os limites considerados para esta faixa, porém, nas demais 11 h a temperatura esteve abaixo dos 45 °C.

Nas partes intermediária (temperatura biodigestor intermediário) e inferior (temperatura biodigestor inferior) do biodigestor, as temperaturas médias se mantiveram dentro da faixa mesofílica, sempre superando os 25 °C.

Na Figura 16 observa-se os resultados da variação média da temperatura dentro da estufa (temperatura estufa), do biodigestor (temperatura biodigestor intermediário) e ambiente (temperatura externa).

Figura 16. Variação média da temperatura dentro da estufa, do biodigestor e ambiente.



Fonte: O autor (2015).

Analisando a Figura 16 e calculando a diferença entre as temperaturas da estufa e a externa, conforme demonstrado na Tabela 4, observou-se que nos horários mais quentes do dia, principalmente das 08:00 h às 15:00 h a diferença entre elas foi menor do que a média geral destas diferenças. Isso significa que neste período as temperaturas se aproximaram mais, o que pode ter sido causado por ação da insolação direta.

A partir das 16:00 h a diferença entre as temperaturas passou a aumentar gradualmente, isso se deu pela maior queda da temperatura externa em relação a temperatura do interior da estufa.

A partir das 20:00 h até às 05:00 h do dia seguinte ocorreu uma estabilização nas diferenças entre as temperaturas externa e da estufa, indicando que as quedas dessas temperaturas seguiram o mesmo padrão.

De qualquer forma, a Tabela 4 mostra que a média geral da diferença de temperatura entre os dois ambientes foi de 7,62 °C. A maior diferença observada foi às 17:00 h quando atingiu 9,15 °C, e a menor foi às 12:00 h, com 6,22 °C. Portanto, a estufa mostrou ter uma eficiência mínima de ganho de 6 °C, o que ocorreu nas horas mais quentes do dia.

Das 05:00 h às 08:00 h a temperatura externa atingiu os menores valores, e o ganho proporcionado pela estufa neste período foi sempre superior à 7,25 °C. Isso mostrou que, no período mais crítico, a estufa proporcionou um ganho significativo de temperatura.

Por meio da análise dos dados também foi possível verificar que mesmo nos períodos mais quentes da temperatura dentro da estufa, esta em nenhum momento passou da faixa mesofílica.

Tabela 4. Dados da temperatura da estufa, externa, sua diferença, média geral da diferença e variação acima ou abaixo da média.

Hora	Temperatura (°C)				
	Temperatura estufa	Temperatura externa	Diferença de temperatura	Média geral da diferença	Variação acima ou abaixo da média
00:00	28,01	20,18	7,82	7,62	0,20
01:00	27,40	19,58	7,83	7,62	0,21
02:00	26,86	19,05	7,81	7,62	0,19
03:00	26,39	18,58	7,81	7,62	0,18
04:00	25,95	18,13	7,82	7,62	0,19
05:00	25,57	17,76	7,81	7,62	0,19
06:00	25,20	17,55	7,64	7,62	0,02
07:00	25,12	17,22	7,90	7,62	0,28
08:00	24,67	17,42	7,25	7,62	-0,37
09:00	26,35	19,17	7,18	7,62	-0,44
10:00	28,24	21,34	6,90	7,62	-0,72
11:00	30,43	23,59	6,84	7,62	-0,78
12:00	32,15	25,93	6,22	7,62	-1,40
13:00	33,82	27,36	6,46	7,62	-1,16
14:00	35,43	28,26	7,18	7,62	-0,45
15:00	36,38	28,76	7,62	7,62	-0,01
16:00	36,93	28,54	8,39	7,62	0,77
17:00	36,86	27,72	9,15	7,62	1,53
18:00	35,52	27,05	8,46	7,62	0,84
19:00	33,11	25,53	7,58	7,62	-0,04
20:00	31,59	23,78	7,80	7,62	0,18
21:00	30,44	22,64	7,80	7,62	0,18
22:00	29,52	21,69	7,83	7,62	0,21
23:00	28,70	20,89	7,82	7,62	0,19

Fonte: O autor (2015).

Considerando a temperatura da estufa e do biodigestor, na sua região intermediária, observou-se que estas se mantiveram próximas, sendo a média geral de diferença entre elas de apenas 1,08 °C, conforme exposto na Tabela 5.

Em geral, as maiores diferenças de temperatura aconteceram nas horas mais quentes do dia. Nas horas mais críticas, quando a temperatura da estufa atingiu seu menor valor, a diferença entre as temperaturas da estufa e do biodigestor foi baixa, em torno de 1°C.

Tabela 5. Dados da temperatura da estufa, do biodigestor na sua porção intermediária, sua diferença, média geral da diferença e variação acima ou abaixo da média.

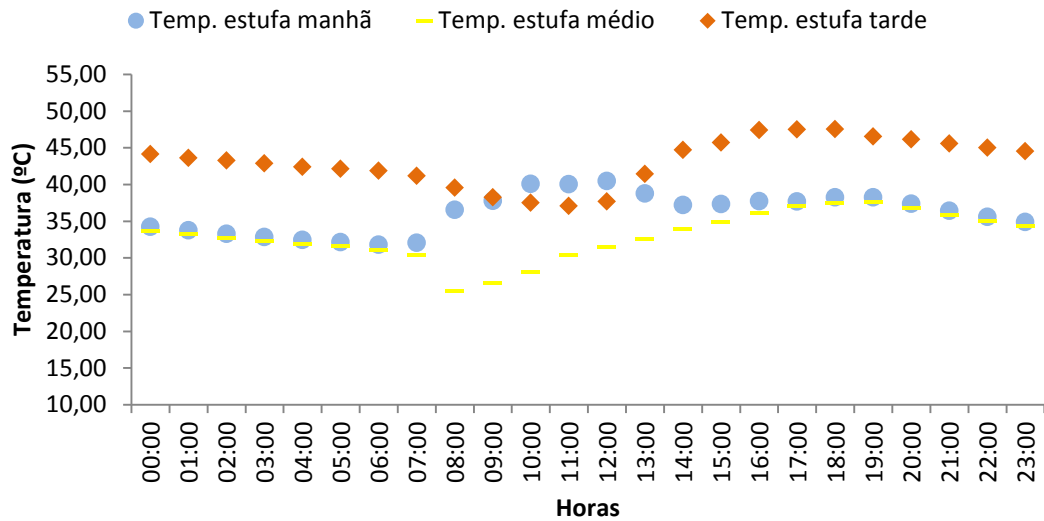
<b>Temperatura (°C)</b>					
<b>Hora</b>	<b>Temperatura estufa</b>	<b>Temperatura biodigestor intermediário</b>	<b>Diferença de temperatura</b>	<b>Média geral da diferença</b>	<b>Variação acima ou abaixo da média</b>
00:00	28,01	27,34	0,66	1,08	-0,42
01:00	27,40	26,80	0,60	1,08	-0,48
02:00	26,86	26,30	0,57	1,08	-0,51
03:00	26,39	25,84	0,55	1,08	-0,53
04:00	25,95	25,41	0,54	1,08	-0,54
05:00	25,57	25,04	0,53	1,08	-0,55
06:00	25,20	24,76	0,44	1,08	-0,64
07:00	25,12	24,83	0,29	1,08	-0,79
08:00	24,67	25,58	-0,91	1,08	-1,99
09:00	26,35	26,85	-0,50	1,08	-1,58
10:00	28,24	28,26	-0,01	1,08	-1,09
11:00	30,43	29,63	0,81	1,08	-0,27
12:00	32,15	30,89	1,26	1,08	0,18
13:00	33,82	31,93	1,89	1,08	0,81
14:00	35,43	32,74	2,69	1,08	1,61
15:00	36,38	33,32	3,06	1,08	1,98
16:00	36,93	33,57	3,36	1,08	2,28
17:00	36,86	33,37	3,49	1,08	2,41
18:00	35,52	33,04	2,47	1,08	1,39
19:00	33,11	31,99	1,12	1,08	0,04
20:00	31,59	30,70	0,89	1,08	-0,19
21:00	30,44	29,67	0,78	1,08	-0,30
22:00	29,52	28,78	0,74	1,08	-0,34
23:00	28,70	28,03	0,68	1,08	-0,40

Fonte: O autor (2015).

A Figura 17 apresenta a variação média da temperatura dentro da estufa em três pontos diferentes, sendo eles: temperatura estufa manhã, temperatura estufa médio e temperatura estufa tarde.



Figura 17. Variação média da temperatura dentro da estufa.



Fonte: O autor (2015).

Por meio da verificação dos dados expostos na Figura 17, percebeu-se que nos horários das 10:00 às 12:00 h a temperatura estufa manhã foi superior a temperatura estufa tarde, exatamente durante a incidência direta da radiação solar, diferentemente do observado no restante do dia. Isso indica que a parte do biodigestor voltado para o sol da tarde recebeu mais calor, o que resultou no aumento da temperatura desta região durante o restante do dia.

Em relação à temperatura estufa médio, observou-se que a temperatura aumentou gradativamente durante o período do dia, até as 19:00 h, quando o biodigestor recebeu a influência da insolação. Após as 19:00 h a temperatura passou a cair gradativamente, possivelmente, por efeito do resfriamento noturno até as 08:00 h quando reiniciou-se o processo de aquecimento. Tanto o aquecimento quanto o resfriamento foram amenizados pela estufa de forma que as variações foram suaves e contínuas, sem observação de alterações bruscas.

Segundo Parkin e Owen (1986) e Santos (2004), é importante evitar mudanças bruscas na temperatura, pois estas podem afetar o desempenho da digestão adversamente, podendo até mesmo interromper a produção de biogás.

Na Figura 18 observa-se os resultados da temperatura média às 01:00 (a), 09:00 (b) e 17:00 (c) h, no período de 03/08/2014 a 07/02/2015, divididos em tratamentos. Determinou-se as análises nestes três horários com a finalidade de observar a influência da temperatura no período noturno, durante a manhã e a tarde,



Na Figura 18 (a), observou-se que a média de temperatura do biodigestor na região superior manteve-se em todos os horários fora da faixa mesofílica (traço vermelho), isso se deu pois a massa aquecida, menos densa, tende a subir com a finalidade de manter as características térmicas (TOFFOLI, 2008). Já a temperatura externa ficou em alguns pontos abaixo da faixa mesofílica (nos tratamentos 1, 2 e 3), porém isso não afetou o biodigestor, em função do ganho de temperatura proporcionado pela instalação da estufa. As temperaturas do biodigestor nas regiões intermediária e inferior demonstraram um comportamento muito semelhante e ficaram dentro da faixa mesofílica, por consequência do ganho proporcionado pela estufa, o qual diminui os efeitos do resfriamento noturno.

Examinando a Figura 18 (b) foi possível observar que as temperaturas internas ao biodigestor permaneceram dentro da faixa mesofílica e, apenas nos tratamentos 1, 2, 3, 5 e 6 as temperaturas externas ao biodigestor permaneceram fora desta faixa, atingindo um mínimo de 15,09 °C no tratamento 1. Também foi possível verificar que a temperatura do biodigestor na sua região superior permaneceu quase que totalmente na faixa de temperatura considerada ótima para a produção de biogás (traço verde) na fase mesofílica, com exceção do tratamento 4, o qual atingiu o valor de 28,62 °C, muito próximo ao mínimo da faixa ideal, de 30 °C.

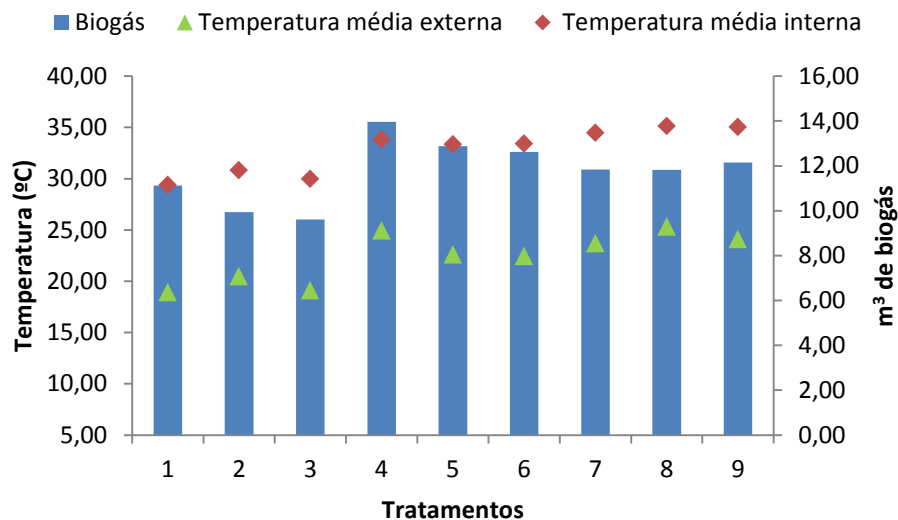
Tietz et al. (2014), ao estudar a influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite no mesmo modelo de biodigestor, encontraram no horário das 09:00 h apenas 3 de 11 semanas temperaturas na região superior do biodigestor dentro da faixa ideal, as quais foram justificadas pela influência do resfriamento noturno, diferentemente do observado neste trabalho, que alcançou uma temperatura superior no mesmo horário, proporcionada pela instalação da estufa.

Na Figura 18 (c), observou-se que as médias de temperaturas em todos os 9 tratamentos se mantiveram dentro da faixa mesofílica, inclusive com grande parte dos dados dentro ou muito próximos à faixa de temperatura ótima, isso foi resultado do aquecimento ocorrido durante o dia, o qual foi conservado pela estufa e afetou relevantemente a temperatura interna do biodigestor neste horário.

### 5.3.2 Produção de Biogás em Função da Temperatura

A Figura 19 apresenta a média de produção de biogás ( $m^3$ ) acumulado em cada um dos tratamentos relacionada a média de temperatura interna e externa do biodigestor.

Figura 19. Média da produção de biogás acumulado em cada tratamento relacionada a média de temperatura interna e externa do biodigestor.



Fonte: O autor (2015).

Nota-se, por meio da análise da Figura 19 que a produção de biogás possivelmente foi influenciada pela variabilidade das temperaturas médias interna e externa ao biodigestor. Nos tratamentos 2 e 3 a carga orgânica alimentada não foi integralmente consumida porque a temperatura estava desfavorável e, a partir da normalização da temperatura no tratamento 4, houve uma produção compensatória de gás até que o excesso acumulado foi consumido e o biodigestor voltou a uma produção média em torno de  $12 m^3$  por dia, a qual provavelmente é a capacidade esperada da carga orgânica alimentada para as condições do experimento.

### 5.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

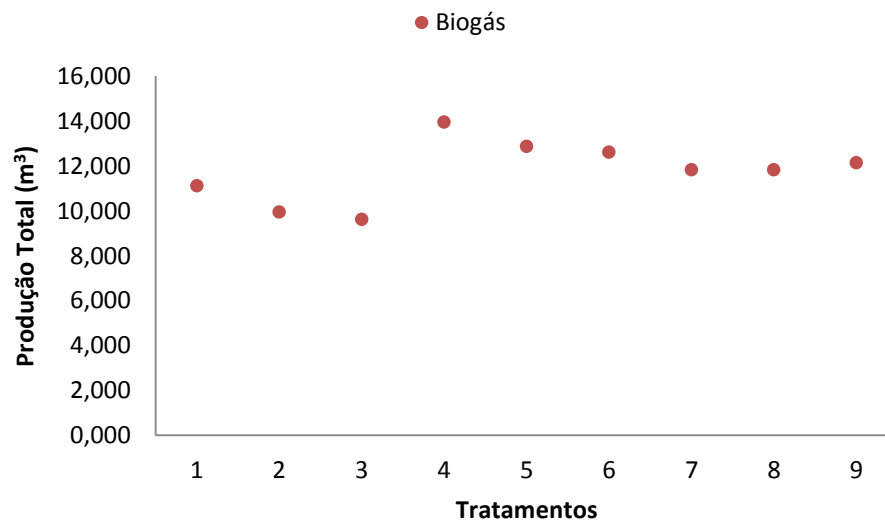
A produção média de biogás foi de  $11,771 m^3$ , com a mínima de  $9,613 m^3$  e a máxima chegando a uma produção de  $13,961 m^3$ , como é possível observar na Figura 20. O desvio padrão encontrado foi de  $1,383 m^3$ . Estes resultados foram superiores aos encontrados por Weber et al. (2014), que obtiveram uma média de

produção de 3,408 m<sup>3</sup> dia, no período de verão, alimentando o mesmo biodigestor também com dejetos bovinos e também aos dados obtidos por Zschornack (2013), o qual alcançou uma produção média de biogás de 4,63 m<sup>3</sup>, com a mínima de 0,018 m<sup>3</sup> e a máxima de 8,92 m<sup>3</sup>, encontrando um desvio padrão de 2,10 m<sup>3</sup>, alimentando o biodigestor com dejetos bovinos e cama de aviário, no período de transição outono - inverno.

Já Blanco et al. (2014), que estudaram a biodigestão com dejetos bovinos, alcançaram uma produção média de biogás de 3,94 m<sup>3</sup>. O menor volume de biogás gerado foi de 0,018 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> e o maior foi de 6,809 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. O desvio padrão médio encontrado para o estudo foi de aproximadamente 1,26 m<sup>3</sup>.

Suzuki (2012), utilizando somente cama de aviário na alimentação do biodigestor, encontrou produção média diária de 3,928 m<sup>3</sup> de biogás, sendo esta inferior à obtida nesse estudo.

Figura 20. Produção média de biogás (m<sup>3</sup>) por tratamento.



Fonte: O autor (2015).

#### 5.4.1 Rendimento de Biogás por ST e SV Adicionados

O valor médio de produção de biogás encontrado para sólidos totais e voláteis adicionados foram de 0,44 e 0,59 m<sup>3</sup>/Kg, respectivamente. Esses valores são superiores aos encontrados por Suzuki (2012), o qual usou a cama de aviário

como produto de alimentação do biodigestor, sendo 0,10 m<sup>3</sup>/Kg de sólidos totais e 0,13 m<sup>3</sup>/Kg de sólidos voláteis adicionados.

Em seu experimento Zschornack (2013) obteve 0,07 e 0,11 m<sup>3</sup>/Kg como valores médios de produção de biogás encontrados para sólidos totais e voláteis adicionados, respectivamente.

O mesmo foi observado nos dados obtidos por Feiden et al. (2004), os quais apresentaram valores médios de sólidos inferiores aos registrados neste estudo, 0,32 m<sup>3</sup>/Kg ST e 0,47 m<sup>3</sup>/Kg SV, utilizando águas residuárias da suinocultura.

#### **5.4.2 Rendimento de Biogás por ST e SV Removidos**

Para sólidos removidos, foram encontrados valores médios de 0,84 e 0,97 m<sup>3</sup>/Kg de sólidos totais e voláteis, respectivamente. Esses valores foram superiores aos encontrados por Suzuki (2012), os quais atingiram 0,14 m<sup>3</sup>/Kg ST e 0,17 m<sup>3</sup>/Kg SV.

Zschornack (2013) alcançou valores médios de 0,21 e 0,25 m<sup>3</sup>/Kg de sólidos totais e voláteis, respectivamente.

#### **5.4.3 Produção de Biogás por m<sup>3</sup> de Biodigestor**

Quando se considerou a produção específica média de biogás, o resultado obtido foi de 0,60 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de biodigestor.

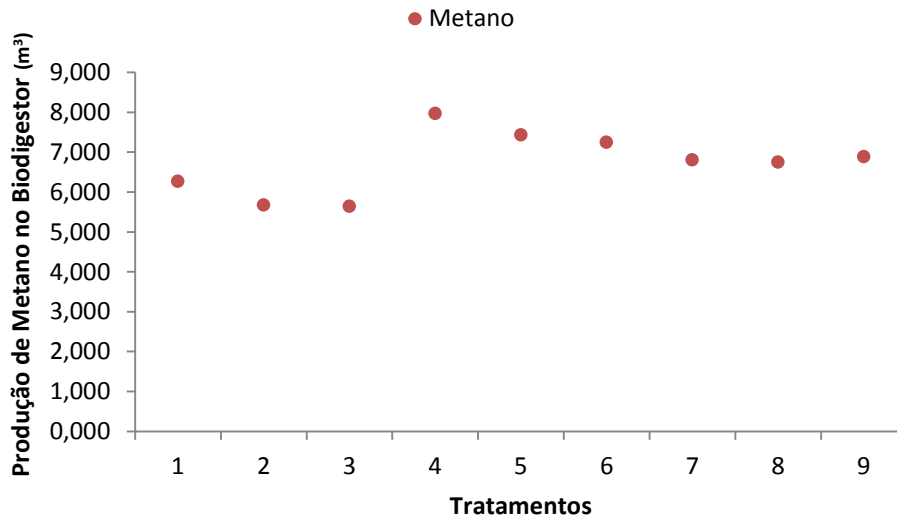
Feiden et al. (2004) obtiveram produção média diária de 0,298 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de biodigestor, com dejetos da suinocultura, sem agitação da biomassa, valor inferior ao registrado no presente trabalho. Weber et al. (2014) encontraram valor médio de 0,17 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de biodigestor, utilizando dejetos de bovinos leiteiros como fonte de alimentação.

Zhang et al. (1990), utilizando dejetos de suínos, obtiveram valor de 0,57 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de biodigestor, resultado próximo ao encontrado neste estudo. Suzuki (2012), utilizando somente cama de aviário na alimentação do biodigestor, encontrou 0,11 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de biodigestor.

## 5.5 PRODUÇÃO DE METANO

A produção média do gás metano encontrada no presente trabalho foi de 6,743 m<sup>3</sup>, com a mínima chegando a 5,643 m<sup>3</sup> e a máxima, 7,971 m<sup>3</sup> (Figura 21), tendo 0,777 m<sup>3</sup> como o desvio padrão encontrado.

Figura 21. Produção média de metano (m<sup>3</sup>) por tratamento.



Fonte: O autor (2015).

Analisando no biogás os valores de produção média de metano em termos de porcentagem, encontrou-se uma média de 57,33%, com desvio padrão médio de 0,66%, conforme se observa na Tabela 6.

Tabela 6. Dados médios do teor de CH<sub>4</sub> presente no biogás produzido em cada tratamento.

Tratamentos	CH <sub>4</sub> (%)
1	56,39
2	57,15
3	58,73
4	57,10
5	57,71
6	57,44
7	57,56
8	57,17
9	56,73

Fonte: O autor (2015).

Com base nos dados presentes na Tabela 6, constatou-se que os teores de metano se mantiveram de acordo com a literatura, que segundo Faria (2012) e Castanón (2002), deve compreender seus valores entre 40-75%. O maior teor foi observado no 3º tratamento, contando com 58,73% de CH<sub>4</sub> e o menor foi de 56,39%, no 1º tratamento - uma diferença de 2,34%.

#### **5.5.1 Rendimento de Metano por ST e SV Adicionados**

O rendimento de metano sobre os sólidos totais e sólidos voláteis adicionados apresentou valores médios de 0,25 e 0,34 m<sup>3</sup>/Kg, respectivamente.

Já Suzuki (2012), alcançou valores inferiores, 0,05 e 0,07 m<sup>3</sup>/Kg de sólidos totais e voláteis adicionados.

#### **5.5.2 Rendimento de Metano por ST e SV Removidos**

Foram encontrados valores médios de 0,48 e 0,55 m<sup>3</sup>/Kg de rendimento de metano por sólidos totais e sólidos voláteis removidos, respectivamente.

Em seu experimento Suzuki (2012) obteve 0,08 e 0,09 m<sup>3</sup>/Kg de rendimento de metano por sólidos totais e voláteis removidos, respectivamente.

#### **5.5.3 Produção de Metano por m<sup>3</sup> de Biodigestor**

Neste experimento foi obtida uma produção média específica de metano de 0,34 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de biodigestor, dado superior ao encontrado no trabalho desenvolvido por Suzuki (2012), o qual apresentou uma produção de 0,06 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de biodigestor.

### **5.6 RECOMENDAÇÕES**

Os resultados obtidos no presente trabalho indicam a necessidade de buscar conhecimentos adicionais em algumas áreas.



São necessários avanços nos estudos com a introdução de sombrite ao lado externo do biodigestor a fim de amenizar os períodos de maior insolação, em determinados horários do dia, os quais atinjam temperaturas além do ideal.

Também merece ser estudado o uso de aquecimentos externos, com o objetivo de reduzir ainda mais as variações de temperatura em épocas frias.

## 6 CONCLUSÃO

A densidade dos efluentes quando comparada à dos afluentes apresentou uma diminuição da massa presente nos dejetos, indicando que houve remoção de sólidos, o que foi comprovado pelo balanço de massa.

A partir dos dados obtidos de temperatura média nas regiões internas do biodigestor, foi possível constatar que neste experimento os micro-organismos atuaram na faixa mesofílica, na qual se tem a combinação das melhores condições para o bom desenvolvimento do processo.

Houve indicação de que a produção de biogás foi influenciada pela variabilidade da temperatura, porém a estufa instalada proporcionou que tanto o aquecimento quanto o resfriamento fossem amenizados e, assim, as variações de temperatura foram suaves e contínuas, sem alterações bruscas.

A capacidade média esperada de produção de biogás manteve-se em torno de 12 m<sup>3</sup> por dia, de acordo com a carga orgânica alimentada e as condições do experimento.

Encontrou-se, em termos de porcentagem, uma média de 57,33% de CH<sub>4</sub> no biogás produzido, a qual está condizente com o proposto por diversos autores, situando-se na faixa especificada na literatura.

A remoção dos sólidos voláteis foi satisfatória, pois esta foi superior ou permaneceu dentro da faixa de variação obtida por outros autores.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, E.F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- AMARAL, C.M.C.; AMARAL, L.A.; LUCAS JUNIOR, J.; NASCIMENTO, A.A.; FERREIRA, D.S.; MACHADO, M.R.F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Revista Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, nov./dez. 2004.
- AMORIN, A.C.; LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 16-24, jan./abr. 2004.
- ANDERSON, K.; SALLIS, P.; UYANIK, S. Anaerobic treatment processes. In: MARA, D.; HORAN, N. (Ed.) *The handbook of water and wastewater microbiology*. Academic Press, p. 391-396, 2003.
- ANDRADE, M.A.N.; RANZI, T.J.D.; MUNIZ, R.N.; SILVA, L.G.S.; ELIAS, M.J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. In: *Anais do 4º Encontro de energia no meio rural - AGRENER 2002*. Campinas: UNICAMP/NIPE, 2002.
- ANNACHHATRE, A.P. Anaerobic treatment of industrial wastewaters. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 16, p. 161-166, 1996.
- AQUINO, G.T.; BRONDANI, F.M.M.; ALVES-SOUZA, R.A.; GERON, V.L.M.G. O uso do biogás no âmbito rural como proposta de desenvolvimento sustentável. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 140-149, jan./jun. 2014.
- BATISTA, L.F. **Manual técnico, construção e operação de biodigestores**. Brasília: EMBRATER, 1980. 48 p.
- BITAR, A.L. **Mineralização e formação de gases da degradação de *Eichhornia azurea* Kunth e *Egeria najas* Planch**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências – Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, São Carlos, 2003.
- BLANCO, M.F.J.; ZENATTI, D.C.; FEIDEN, A.; WEBER, R.; TIETZ, C.M.; GIACOBBO, G. Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e cama de aviário. **Revista Acta Iguazu**, v. 3, n. 1, p. 14-27, Cascavel, 2014.
- BOHRZ, G.I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2010.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Bovinos e bubalinos**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 Global**: Capítulo 9 – Proteção da atmosfera. 1992. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/641>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

BUARQUE, S.C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável**: metodologia de planejamento. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. 180 p.

BUARQUE, S.J.C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável**: metodologia de planejamento. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

CAMPOS, C.M.M.; CARMO, F.R.; BOTELHO, C.G.; COSTA, C.C. Development and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 140-147, 2006.

CASTANÓN, N.J.B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. 66 p.

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

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Nota Técnica VII**: geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e rurais. Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/Nota%20t%E9cnica%20VII%20-%20biog%E1s.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2014.

CEPPA - Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos. Universidade Federal do Paraná - UFPR. **Laboratório**: físico-química de água e efluentes. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.ceppa.ufpr.br/pdf/FQAE.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2014.

CHEN, Y.; CHENG, J.J.; CREAMER, K.S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4044-4064, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. v. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 245 p.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: reatores anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007. 379 p.

CHONG, S.; CHONG, J. Methane: a natural gas. **Microbiology Today**, p. 124-127, 2008.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2006.

COMASTRI FILHO, J.A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular Técnica nº 9. Corumbá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA e Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá – UEPAE, 1981. 53 p.

DEGASPERI, S.A.R. Estudo do comportamento do gado holandês em sistema de semi-confinamento. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.4, p. 41-47, out./dez. 2003.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. 157 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção e Informação, 1999. 412 p.

FARIA, R.A.P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

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

FEIDEN, A.; REICHL, J.; SCHWAB, J.; SCHWAB, V. Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura. In: AGRENER GD 2004 - 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. 2004. **Anais**. Campinas: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP/NIPE. 2004.

FERRARI, W.J. **A expansão territorial urbana de Marechal Cândido Rondon-PR: a produção da cidade a partir do campo**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009.

GALINKIN, M.; BLEY, C. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2 ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009. 140 p.

GARCIA, B.G. **Responsabilidade social das empresas: a contribuição das universidades**. São Paulo: Peirópolis, 2006, v. 5, 413 p.

GEBRAN, A.C. SANTOS, V. **Modelo de acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL com exemplo de aplicação**. 2011. 86 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Elétrica, Curitiba, 2011.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

\_\_\_\_\_, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GONSALVES NETO, J.; CARVALHO, J.A. Comportamento eliminatório de ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 7, n. 3, p. 1225-1242, mai./jun. 2010.

GRADY, C.P.L.; DAIGGER, G.T.; LIM, H.C. **Biological wastewater treatment**. 2. ed., Marcel Dekker, Inc., New York, 1999, p. 599-689.

G1 – Globo Notícias. **Meta do Brasil é reduzir emissão de gases em 43% até 2030, diz Dilma**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/09/meta-do-brasil-e-reduzir-emissao-de-gases-em-43-ate-2030-diz-dilma.html>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados Agregados**. Efetivos/Rebanhos. 2015. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2&z=t&o=24&u1=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1&u2=1>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Paraná**: Marechal Cândido Rondon. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411460&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

KONZEN, E.A.; ALVARENGA, R.C. Cultura do milho, fertilidade do solo e adubação orgânica. **In: Seminário Técnico da Cultura de Milho**. Videira, 5, 2007.

LABIOGÁS – Laboratório de Biogás. Parque Tecnológico Itaipu. **Atividades Laboratoriais**: matéria seca e sólidos totais, sólidos voláteis (sv) e sólidos fixos. 2014. Disponível em: <<http://cierbiogas.org/labiogas/index.php/br/>>. Acesso em: 08 set. 2014.

LAGO, A.A.C. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo**: o Brasil e as três conferências ambientais das nações unidas. 2006. Disponível em: <[file:///C:/Users/CarolineMonique/Downloads/O\\_BRASIL\\_E\\_AS\\_TR%C3%8AS\\_CONFER%C3%8ANCIAS\\_AMBIENTAIS\\_DAS\\_NA%C3%87%C3%95ES\\_UNIDAS\\_-\\_pdf](file:///C:/Users/CarolineMonique/Downloads/O_BRASIL_E_AS_TR%C3%8AS_CONFER%C3%8ANCIAS_AMBIENTAIS_DAS_NA%C3%87%C3%95ES_UNIDAS_-_pdf)>. Acesso em: 02 mar. 2016.

LEITE, A.D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 598 p.

LEITE, V.D.; POVINELLI, J. Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 229-232, Campina Grande, 1999.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 1996, 84 p.

LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L.W.; ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment**. Part I: Anaerobic wastewater treatment. Lecture Notes, Wageningen Agriculture University, ed January, 1996.

LOUZADA, A.G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB + BFs**. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2006.

LUCAS JUNIOR, J.; SANTOS, T.M.B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. **In**: Anais do Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola. Concórdia: CNPSA, p. 27-43, 2000.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440 p.

MACHADO, C.R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. 2011. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.

MALINA, J.F.; POHLAND, F.G. **Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes**. Lancaster: Technomic (Water Quality Management Library), v. 7, 1992. 142 p.

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.

MASSÉ, D.I.; MASSE, L.; HINCE, J.F.; POMAR, C. Psychrophilic anaerobic digestion biotechnology for swine mortality disposal. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 7307-7311, 2008.

MATOS, A.T.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; GARCIA, N.C.P.; RIBEIRO, M.F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.

MAURER, M.; WINKLER, J.P. **Biogas Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen**. Karlsruhe: Verlag C.F. Müller, 1980. 142 p.

MAZZUCCHI, O.A.J. **Biodigestor rural**. São Paulo, CESP, 1980. 29 p.

McKINNEY, R.E. **Microbiology for sanitary engineers**. New York et al.: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962. 293 p.

MENDONÇA, E.F. **Tratamento anaeróbio de efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular**. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2009.

MENEZES, I.J. **A sustentabilidade do bairro Jardins Mangueiral: um estudo de caso**. 2015. 61 f. Monografia (Bacharel em Administração) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3. ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1991. 1334 p.

MEYSTRE, J.A. **Partida de um reator UASB, em escala piloto, para tratamento de efluente doméstico: estudo de caso para a região da Serra da Mantiqueira**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

MIRANDA, A.P.; AMARAL, L.A.; LUCAS JUNIOR, J. Influência da temperatura na biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos. **In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba**, p. 2928-2931, 2006.

MONNET, F. **An introduction to anaerobic digestion of organic wastes**. Remade Scotland: 2003. 48 p.

MONTEIRO, R.B.N.C. **Desenvolvimento de um modelo para estimativas da produção de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de produção de bovinos de corte**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

MORRIS, R.L. **Relating Methanogen Community Structure to Function in Anaerobic Wastewater Digesters**. Ph.D. dissertation, Marquette University. 2011.

MORSE, D.; HEAD, H.H.; WILCOX, C.J.; VAN HORN, H.H.; HISSEM, C.D.; HARRIS, B. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. **Journal Dairy Science**, Savoy, v. 75, p. 3039, 1992.

NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.

NUNES, S.A.V. **Sustentabilidade: a chave para um futuro melhor**. 2013. Disponível em: <<http://www.prb10.org.br/opiniaio/sustentabilidade-a-chave-para-um-futuro-melhor/>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

NURSE, K. **Culture as the Fourth Pillar of Sustainable Development**. Prepared for Common wealth Secretariat, London, UK. 2006.

OLIVEIRA, P.A.V. (coordenador). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA Documentos, 1993. 188 p.



OLIVEIRA, R.D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

OLIVER, A.P.M. (organização). **Manual de treinamento em biodigestão**. Versão 2.0. Fev. 2008. 18 p. Disponível em: <[http://www.ieham.org/html/docs/Manual\\_Biodigestao.pdf](http://www.ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2014.

ORRICO JUNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JUNIOR, J. Influência da relação volumoso:concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 386-394, Jaboticabal, 2010.

PARANÁ. Resolução CEMA nº 65, de 01 de julho de 2008. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências. Curitiba (PR): **Diário Oficial do Estado**, 2008.

\_\_\_\_\_. Resolução SEMA nº 31, de 24 de agosto de 1998. Dispõe sobre licenciamento ambiental, autorização ambiental e outros procedimentos. Curitiba (PR): **Diário Oficial do Estado**, 1998.

PARKIN, G.F.; OWEN, W.F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v. 112, n. 5, p. 867-920, set./oct. 1986.

PAULETTI, V. **Nutrientes**: teores e interpretações. 2 ed. Castro: Autor, v. 1, 2004. 86 p.

PEREIRA, E.L.; CAMPOS, C.M.M.; MONTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.

PEREIRA, L.; RIBEIRO, W.R.; PEREIRA, A.A.; LIMA, R.E.V. A construção e o papel ambiental de um biodigestor. **De Magistro de Filosofia**, ano V, n. 9, 2012.

PINHEIRO, D.M. **Influência da velocidade de recirculação no tratamento anaeróbio de esgoto sintético em biorreator operado em batelada sequencial contendo biomassa granulada**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON. **Dados gerais**. 2015. Disponível em: <<http://www.mcr.pr.gov.br/nossacidade>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

QUADROS, D.G.; VALLADARES, R.; REGIS, U.; OLIVER, A.; SANTOS, L.S.; ANDRADE, A.P.; FERREIRA, E.J. Produção de biogás e caracterização do biofertilizante usando dejetos de caprinos e ovinos em biodigestor de pvc flexível. **In:** 4º Congresso Internacional de Bioenergia e Congresso Brasileiro de Geração Distribuída e Energias Renováveis. Curitiba: UFPR, p. 1-10, 2009.

REICHERT, G.A. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. **In:** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005. 16 p.

REIS, N.M.O.; ROSA, P.S.G.; BERNARDES, C.L.; CALDARA, F.R. Biodigestores: uma solução eficiente na proteção do meio ambiente. **In:** Anais – V Seminário UNIFENAS Rural. Alfenas: UNIFENAS, p. 24, 2007.

REUTER, A. **Wärme Von der Sonne**. Moosburg: Solarfreunde-Moosburg. Atualizado em 03/02/2003. 24 p. Disponível em: <<http://www.solarfreund-moosburg.de/Solarthermie.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2015.

SACHS, I. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento**. São Paulo: Vértice, 1993.

SALOMON, K.R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

SANTOS, J.H.T. **Avaliação de um sistema de aquecimento do substrato na biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos**. 2004. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SCHLESINGER, S. **O gado bovino no Brasil**. 2009. 40 p. Disponível em: <[http://boell-latinoamerica.org/downloads/Texto\\_Gado\\_Boll\\_2009-4.pdf](http://boell-latinoamerica.org/downloads/Texto_Gado_Boll_2009-4.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2014.

SEIFFERT, M.E.B. **Gestão Ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

SILVA, A.R. **Análise do desempenho de indicadores de sustentabilidade ambiental em companhias de petróleo**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

SILVA, A.A. **Viabilidade técnica e econômica da implantação da atividade anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas**. 2009. 168 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

SILVA, D.J.M.; SILVA, M.A. O uso de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) no setor sucroalcooleiro: análise dos impactos na redução dos níveis de gases efeito estufa (GEES). **Revista Horizonte Científico**, v. 9, n. 1, 2015.

SINGH, R.; ANAND, R.C. Comparative performances of Indian small solid-state and conventional anaerobic digesters. **Bioresource Technology**, v. 47, p. 235-238, 1994.

SLAPER, T.F.; HALL, T.J. **The triple bottom line: what is it and how does it work?** Indiana Business Review, v. 86, n. 1, p. 4-8, 2011. Disponível em: <<http://www.ibrc.indiana.edu/ibr/2011/spring/article2.html>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

SOARES, H.M. **Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)**. 1990. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SOBSEY, M.D.; KHATIB, L.; HILL, V.; ALOCIJA, E.; PILLAI, S. Pathogens in animal wastes and the impacts of waste management practices on their survival, transport and fate. **A National Center for Manure and Animal Waste Management White Paper Summary**. Ames, IA: MidWest Plan Service, 2001.

SOSA, R.; CHAO, R.; RÍO, J. Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás. **Revista Computadorizada de Producción Porcina**, v. 6, n. 2, 1999.

SOUZA, C.F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 f. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, C.F.; CAMPOS, J.A. Avaliação do tempo de retenção hidráulica, agitação e temperatura em biodigestores operando com dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1742-1745, fev. 2007.

SOUZA, C.F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W.P.M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato: considerações sobre a partida. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 530-539, 2005.

SPEECE, R.E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville, Tenn: Archae Press, 1996. 394 p.

SUZUKI, A.B.P. **Geração de biogás utilizando cama de aviário e manipueira**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

TIETZ, C.M.; ZENATTI, D.C.; FEIDEN, A.; LUPATINI, K.N.; CORRÊIA, A.F. Influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 80-96, 2014.

TOFFOLI, L. **Corrente de convecção**. Termodinâmica. InfoEscola. 2008.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de clima quente. Editora Epgraf, 1994. 208 p.

VIEIRA JÚNIOR, L.C.; FACTORI, M.A.; CABRAL, W.B. **Distribuição das excretas de bovinos em pastagens**. 2012. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/pastagens/distribuicao-das-excretas-de-bovinos-em-pastagem-78385n.aspx>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

VITORATTO, E. **Tratamento de efluentes líquidos orgânicos**: Sistemas Anaeróbios. PROACQUA Processos de Tratamento de Efluentes e Com. Ltda (diretor técnico). São Paulo: Faculdade Oswaldo Cruz, 2004. 13 p.

WCED - World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.

WEBER, R. ZENATTI, D.C.; FEIDEN, A.; TIETZ, C.M. Produção de biogás com relação ao teor de sólidos voláteis dos dejetos de bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 43-55, 2014.

ZHANG, R.H.; NORTH, J.R.; DAY, D.L. Operation of a field scale anaerobic digester on a swine farm. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 6, n. 6, p. 771-776, 1990.

ZSCHORNACK, A.F. **Balanço de massa de biodigestor modelo Biokohler alimentado com dejetos bovinos e cama de aviário no período de transição outono – inverno**. 2013. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2013.