

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL
SUSTENTÁVEL – NÍVEL MESTRADO
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

SIDNEI GREGÓRIO TAVARES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES BIOKÖHLER DURANTE
INVERNO E PRIMAVERA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON (PR) -2015

SIDNEI GREGÓRIO TAVARES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES BIOKÖHLER DURANTE
INVERNO E PRIMAVERA**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito para obtenção de título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden
Coorientador 1: Prof. Dr. Valdecir Zonin
Coorientador 2: Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva

MARECHAL CÂNDIDO RONDON (PR) - 2015

Ficha catalográfica

Folha de aprovação

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que me coloca diante a dificuldades para me fortalecer.

Pelo apoio de minha família (pai, mãe, irmã e cunhado) que, sem eles, seria muito mais difícil.

Ao Professor Dr. Armin Feiden que, além de um ótimo orientador, é uma ótima pessoa.

Ao Professor Dr. Wilson João Zonin que, além dos ensinamentos, também sempre esteve preocupado comigo.

Ao Professor Dr. Alvorí Ahlert pelas lutas em equipe, pelas ótimas recomendações na qualificação e banca e pelos ensinamentos de ética e moralidade.

Ao Professor Dr. Aldi Feiden pelos ensinamentos e disponibilidades de ajuda nas análises laboratoriais.

Ao Professor Dr. Valdecir Zonin pelas recomendações na banca do projeto.

Ao Professor Dr. Nardel Luiz Soares da Silva, pelo trabalho exemplar na coordenação do PPGDRS.

Para todos os professores do PPGDRS, que cooperaram de alguma forma com o meu aperfeiçoamento profissional e pessoal.

A CAPES, Fundação Araucária e PTI (Parque Tecnológico Itaipu) pelo suporte financeiro através de bolsas de estudos.

Aos produtores rurais que disponibilizaram cama de aviário para o experimento.

A UNIOESTE, em específico ao programa de pós-graduação em Desenvolvimento rural sustentável por me proporcionar a oportunidade de estudar neste programa.

Para a secretária do PPGDRS Lizete, que sempre transmitiu uma paz e sensibilidade enorme ao lidar com as pessoas.

Aos meus colegas de classe interdisciplinar por terem me ensinado muitas coisas.

Nunca espere gratidão por
qualquer coisa que fizer por amor!
Mesmo porque se tu esperas alguma
coisa não é amor e sim interesse!

RESUMO:

TAVARES, Sidnei Gregório M.Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fev/2015. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES BOKÖHLER DURANTE INVERNO E PRIMAVERA.** Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden. Coorientador 1: Prof. Dr. Valdecir Zonin Coorientador 2: Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva.

O experimento foi realizado na Estação Experimental Antônio Carlos dos Santos Pessoa, que pertence à UNIOESTE – *Campus* de Marechal Cândido Rondon, no período de 29 de Julho à 01 de Dezembro de 2013. O experimento teve como objetivo verificar a influência das variações climáticas na produção de biogás. O biodigestor experimental de fluxo contínuo modelo BioKöhler, com capacidade útil de 19,56 m³, foi alimentado diariamente com dejetos de bovinos e com 30 kg de cama de aviário. Foram mensurados diariamente o volume e densidade dos dejetos de bovinos e o volume de biogás. Já as temperaturas internas foram registradas a cada 15 minutos e o restante das informações foram adquiridas da estação meteorológica que se encontra ao lado do biodigestor. Avaliando os resultados obtidos observou-se que há correlação positiva em todos os fatores avaliados. A temperatura externa e interna, a chuva e a radiação solar interferem na produção de biogás, porém a interferência da chuva foi considerada não significativa, e a temperatura interna do biodigestor é o fator com maior influência na produção de biogás. Foi possível produzir diariamente, em média, 10m³ de biogás com a adição de 36 kg de sólidos voláteis em um tempo de retenção hidráulico de 37 dias.

Palavras-chave: biodigestor. Temperatura. Dejetos.

ABSTRACT:

TAVARES, Sidnei Gregório M.Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Feb/2015. **EVALUATIONS OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS ON BIOGAS PRODUCTION IN A BIOKHOLER BIODIGESTER DURING THE WINTER AND SPRING.** Supervisor: Prof. Dr. Armin Feiden, Co-supervisor 1: Prof. Dr. Valdecir Zonin and Co-supervisor 2: Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva.

The experiment was conducted at the Experimental Station Antonio Carlos dos Santos Pessoa, which belongs to UNIOESTE - *Campus* Marechal Cândido Rondon, from July 29 to December 1, 2013. The experiment aimed to verify the influence of climate variations in the production of biogas. The continuous flow biodigester BioKöhler model, with useful capacity of 19.56 m³, was daily fed with cattle manure and 30 kg of poultry litter. There were daily measured the volume and density of the manure of cattle and the volume of biogas. Internal temperatures were recorded every 15 minutes and the rest of the information was acquired from weather station which is next to the digester. Evaluating the results it was observed that there is a positive correlation in all the evaluated factors. External and internal temperature, rainfall and solar radiation interfere in the production of biogas, but the interference of rain was determined to be negligible and the temperature inside the biodigester is the factor with the greatest influence in the production of biogas. It was possible to produce daily average of 10 m³ of biogas with the daily addition of 36 kg of volatile solids in a hydraulic retention time of 37 days.

Keywords: biodigester. Temperature. manure.

LISTA DE FIGURAS

PG

Figura 1 – Sequencias metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia.....	21
Figura 2 - Biodigestor da estação experimental.....	28
Figura 3 – Câmara de biodigestão em instalação.....	28
Figura 4 – Densímetro para massa específica	29
Figura 5 – Cilindro de PVC	29
Figura 6 – Nível de entrada	30
Figura 7 – Nível de saída	30
Figura 8 – Material para análise	30
Figura 9 – Dessecador	32
Figura 10 – Amostras prontas para estufa	32
Figura 11 – Mufla	32
Figura 12 – Fieldlogger	32
Figura 13 - Região superior, intermediária e inferior da medição da temperatura interna do biodigestor	33
Figura 14 – Medidor de gás.....	34
Figura 15 – Analisador de gás portátil	34
Figura 16 – Composição da matéria natural adicionada diariamente	35
Figura 17 – Composição da cama de aviário	35
Figura 18 – Produção de biogás	36
Figura 19 – Produção de biogás (continuação).....	36
Figura 20 – Temperatura do ar: média, média máxima e média mínima	36
Figura 21 – Radiação solar	37
Figura 22 – Chuva	37
Figura 23 – Temperatura média, máxima e mínima nos termopares superior, médio e inferior	38
Figura 24 – Produção de biogás e temperatura mínima do ar	40
Figura 25 – Produção de biogás e temperatura máxima e mínima do termopar superior	41
Figura 26 – Produção de biogás e temperaturas máxima, média e mínima do termopar médio	41

Figura 27 – Comportamento das temperaturas internas do biodigestor no dia 19/11/13	44
Figura 28 - Comportamento das temperaturas internas do biodigestor no dia 16/08/13	45

LISTA DE TABELAS

PG

Tabela 1 – Investimento inicial com instalação do biodigestor.....	25
Tabela 2 - Correlação entre os fatores e a produção de biogás	39
Tabela 3 – Diferenciações estatísticas entre as variáveis	42
Tabela 3- Diferenciações estatísticas entre as variáveis (continuação).....	43

SUMÁRIO

RESUMO:	7
ABSTRACT:	8
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. MICROBIOLOGIA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	20
2.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA	22
pH	22
Temperatura.....	22
Tempo de retenção hidráulica (TRH).....	23
2.3. TIPOS DE BIODIGESTORES.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5. CONCLUSÕES	47
6. AVANÇOS ESPERADOS, PERSPECTIVAS E SUGESTÕES	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Mesmo que as taxas de crescimento venham diminuindo desde o final da década de 1970, a população mundial duplicou desde esse tempo para 6,9 bilhões, e está projetada para aumentar consideravelmente nas próximas décadas (FAO 2012). A expectativa é de ultrapassarmos nove bilhões de pessoas em 2050, sendo que com isso a demanda global por alimentos e energia segue também nestes mesmos patamares de crescimento, ou seja, será necessário produzir mais energia e mais comida.

O aproveitamento da energia renovável e de maneira descentralizada é fundamental para o desenvolvimento humano e o futuro sustentável do Planeta. É importante pensar e desenvolver tecnologias que melhorem a vida das pessoas em todos os continentes. As diferentes formas de produção da energia devem servir para que os indivíduos tenham acesso a esse bem, independentemente do local que residem e das condições econômicas. Apesar dos avanços tecnológicos, uma parcela grande da população mundial não tem essa oportunidade devido às condições de pobreza que se encontram. (BARON 2011).

A necessidade de geração de novas fontes alternativas de energia é um fator importante na busca da sustentabilidade ambiental. Leite (1997), afirma que a questão energética assume o caráter de desafio para os países em desenvolvimento, quando se constata que os 850 milhões de habitantes das nações desenvolvidas de economia de mercado consomem mais da metade de energia do mundo, e que já atinge mais de oito bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tEP) por ano. Constata ainda que nos países em desenvolvimento como no Brasil, que ainda não atendeu às necessidades elementares de grande parte de sua população, o crescimento da demanda de energia tende a permanecer elevado.

A crescente preocupação com problemas ambientais, desde meados de 1980, apontou para um novo paradigma da sociedade moderna: a sustentabilidade. No setor agrícola, a insatisfação com o status da agricultura moderna passou a atrair a atenção de um número crescente de produtores e

pesquisadores que iniciaram o debate e contribuíram para a disseminação do termo agricultura sustentável (EHLERS, 1999)

Falar sobre sustentabilidade relacionando agricultura é um tema que está constantemente na mídia, pois é cada vez mais difícil de pensar em um futuro melhor se não houver mudança na forma de agir em relação ao meio ambiente, como também a preocupação com a saúde do agricultor e da sua família para assim garantir a melhoria na qualidade de vida para nossas futuras gerações.

Conforme Mendes (2007) o atual modelo de crescimento econômico gerou enormes desequilíbrios: “Se, por um lado, nunca houve tanta riqueza e fartura no mundo, por outro lado, a miséria, a degradação ambiental e a poluição aumentam dia-a-dia”. Diante disso, surgiu a ideia da sustentabilidade, que busca conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e, ainda, ao fim da pobreza no mundo.

Embora a sustentabilidade agrícola é defendida e almejada por diferentes segmentos produtivos e sociais, ela ainda se apresenta distante da realidade. As alternativas de manejo agrícola sustentável, que permitem a minimização de danos ambientais, esbarram muitas vezes em interesses opostos. Além disso, mesmo quando se observa uma melhoria na relação agricultura e ambiente, por meio de tecnologias consideradas menos prejudiciais, nem sempre está associada a uma sustentabilidade social, ou seja, a sustentabilidade ambiental é mais visada.

Nos últimos anos o debate sobre o papel do agronegócio e da agricultura familiar, tem sido comum apresentar esses dois “setores” como tendo interesses antagônicos. Vários estudos têm provado que, além de empregar um contingente significativo de pessoas, um segmento consolidado da agricultura familiar tem contribuído muito para as exportações e para o atendimento do mercado interno, em nada devendo às dinâmicas produtivas do agronegócio. Assim, parece equivocado associar agronegócio unicamente à agricultura patronal, bem como associar agricultura familiar exclusivamente à produção de subsistência (ASSAD, M. L. L., ALMEIDA, J, 2004).

No Censo Agropecuário de 2006 foram identificados 4.367.902 estabelecimentos de agricultura familiar, representando 84,4% do total. Neste mesmo censo foi detectado que a agricultura familiar era responsável

por 87% da produção nacional de mandioca, 70% da produção de feijão, 46% do milho, 38% do café, 34% do arroz, 58% do leite, 59% do plantel de suínos, 50% das aves, 30% dos bovinos e, ainda, 21% do trigo. Esses dados demonstram a força que possuem as pequenas propriedades tanto na questão social, por manter a população no campo e estimular uma distribuição de riquezas descentralizada, como também na produção de alimentos ao contribuir com a segurança alimentar do país. Porém há ainda uma grande dificuldade de auxiliar estas famílias e suas pequenas propriedades no que diz respeito à implantação de tecnologias, pois muitas destas ferramentas são fabricadas numa visão mais intensiva de produção, ou seja, para grandes propriedades que possuem um capital de giro maior para fazer investimentos.

Os agricultores familiares enfrentam a escassez de fontes energéticas para fins produtivos e residenciais. Na maioria das áreas rurais a disponibilidade dos combustíveis mais limpos para cocção é intermitente ou não existem, devido à falta de infraestrutura de distribuição e comercialização, além de serem relativamente mais caros que os tradicionais disponíveis nessas áreas (SANGA, 2004).

Devido a esta realidade, o biodigestor Bioköhler, por ser uma tecnologia de baixo custo, devido aos materiais utilizados e a simplicidade de instalação, pode ser considerado como uma boa alternativa, na obtenção de energia limpa (biogás) e biofertilizante, por meio da fermentação anaeróbia, realizada em câmaras de biodigestão, além de contribuir para a redução da contaminação ambiental.

A utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias, aproveitando o dejetos, o qual normalmente é dado pouco, ou mesmo nenhum valor comercial, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento: energia renovável (biogás) e adubo (biofertilizante). Com isso, permite o aumento da produção agrícola e a transformação dos produtos tradicionais rurais, agregando valor, organizando a produção, aumentando o tempo de conservação e melhorando a logística de comercialização.

O uso de biodigestores gera recursos para produção e manutenção de empreendimentos rurais em longo prazo e, dentro dos princípios da sustentabilidade, o uso deles permite ter produção de alimentos sem colocar

em risco a conservação de recursos naturais ou a diversidade biológica e cultural para as futuras gerações.

As principais vantagens do uso de biodigestores é possível agregar valor econômico devido à geração de subprodutos, como biofertilizante e biogás para geração de energia, promove a preservação ambiental através da diminuição de gases do efeito estufa e com o manejo adequado dos dejetos evitando ainda a proliferação de insetos e de doenças relacionadas à contaminação orgânica e eliminação de odores indesejáveis, garantindo condições sanitárias melhores para vida humana.

É importante também salientar que a produção de biogás, através de biodigestores, pode ser influenciada por vários fatores como o tipo de biomassa, o modelo do biodigestor, a quantidade/volume de biomassa, manejo, perfil de micro-organismos, acidez e principalmente a temperatura.

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar como a temperatura ambiente, influenciada pela radiação solar e índice de chuvas, podem interferir na temperatura interna do biodigestor e, conseqüentemente, na eficiência da produção de biogás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A alta do petróleo, ocorrida na década de 70, foi um divisor de águas, fazendo com que o homem repensasse os conceitos de desenvolvimento das nações, questionando a forma de matriz energética que predominava na maioria absoluta dos países.

Não foi só a problemática econômica provocada pela alta do petróleo que alertou o mundo diante desta questão grave que se apresentava no cenário econômico mundial. A grande questão se deu através de um novo conceito de “Desenvolvimento Sustentável” dizendo que, segundo o relatório de Brundtland (1983): *“o atendimento às necessidades do presente não pode comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras”*. A comunidade científica mundial alertou o planeta apresentando indicadores gravíssimos sobre catástrofes ambientais, teoricamente causadas pela emissão dos gases de efeito estufa (GEE), que são lançados até hoje na atmosfera pela matriz energética baseada nos combustíveis fósseis, como petróleo e carvão. Outras fontes geradoras de GEE são dos dejetos que, quando não tratados corretamente, possuem elevado potencial poluidor, não só pela liberação de gases poluentes como também pelo excesso de matéria orgânica que, se entrar em contato com água dos rios, pode provocar desequilíbrios ecológicos gigantescos.

As emissões de gases de efeito estufa foram e continuam sendo consideradas responsáveis pelo aquecimento gradual planetário. Esta configuração corroborou no aquecimento global, responsável por grandes catástrofes ambientais que estão ocorrendo de forma periódica e crescente.

Ao final da década de 80, as Nações Unidas criaram o Protocolo de Quioto, impondo regulamentação aos países desenvolvidos, estabelecendo limites de emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Diante esta problemática surge um movimento voltado para as fontes alternativas de energias renováveis. Através do desenvolvimento de várias pesquisas científicas, surgiram novas formas de

se obter energia de forma sustentável e limpa como a energia eólica, a energia solar, bioenergia, entre outras.

Santos (2004) analisa que, de forma geral, a maioria dos sistemas de produção é consumidor ativo de energia elétrica e afirma ainda que, como todo processo de produção, produz resíduo. Sendo que todo resíduo armazena alguma energia, e que alguns sistemas de produção podem reverter esses resíduos em energia, pode-se então baratear seu custo de produção e funcionar de forma energeticamente equilibrada.

Uma das opções para a produção de energia a baixo custo que vem apresentando resultados favoráveis e já difundido em vários países é o biogás. Apesar de ser conhecido há muito tempo, só mais recentemente os processos de obtenção de biogás vêm se desenvolvendo, objetivando sua utilização como energético. A ideia da produção de biogás nas propriedades rurais, indiferentemente de suas dimensões, em última análise, se associa ao atendimento de um quádruplo objetivo, conforme a Agenda 21, do Ministério do Meio Ambiente (1999).

- a) Proporcionar maior conforto ao rurícola, permitindo-lhe dispor de um combustível prático e barato que tanto poderá ser usado para fins de calefação e iluminação, como ainda para acionar pequenos motores estacionários de combustão interna.
- b) Contribuir para a economia do consumo de petróleo, pois o biogás é um combustível proveniente de fontes alternativas.
- c) Produzir biofertilizante que é um resíduo rico em nutrientes que pode ser utilizado na fertilização do solo para aumentar a produtividade dos cultivos face ao seu baixo custo de obtenção.
- d) Contribuir para a preservação do meio ambiente pela produção de biogás, o que consiste na reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes e diminuição do potencial poluidor dos dejetos.

A formação do biogás é um processo natural. Portanto, é encontrado em pântanos, lamas escuras, locais onde a celulose ou outros materiais sofrem naturalmente a decomposição. O biogás é um produto resultante da fermentação, na ausência do ar, de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo orgânico industrial ou residencial, em condições adequadas de umidade. Esta reação é denominada digestão anaeróbia. O principal componente do biogás é o metano representando cerca de 60 a 80% na composição do total de mistura.

É um gás incolor, queimado com chama azul lilás, altamente combustível, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição.

Segundo Faria (2012), o biogás pode ser definido como um produto obtido a partir da decomposição anaeróbia 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, o tipo de biodigestor a ser utilizado, entre outros fatores.

O biogás pode ser obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos de animais e de seres humanos. Segundo Souza (2005), o biogás, que é formado principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), gás amônia (NH_3), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e nitrogênio (N_2), obtido a partir do esterco, tem sido usado com frequência, principalmente na Europa, em substituição ao gás natural que tem se tornado de difícil obtenção.

A Índia tem atualmente mais de 10.000 biodigestores em operação. Dentro dessas estruturas, bactérias fermentam a matéria orgânica sob condições estritamente anaeróbias, isto é, sem a presença de oxigênio, e produzem o gás (SOUZA, 2005). Já no Brasil biodigestores ainda é um tema em acessão para pesquisa científica, fato esse que acaba impossibilitando chegar dados exatos.

Para que ocorra o tratamento de resíduos sólidos e efluentes, subprodutos orgânicos da produção rural, torna-se necessário submetê-los a um processamento composto por uma fase anaeróbia, nos chamados biodigestores, durante um determinado tempo de detenção hidráulica, objetivando-se obter a redução da carga orgânica bruta do efluente a partir da ação de micro-organismos especializados, típicos de situações de total ausência de oxigênio (GALINKIN e BLEY, 2009).

Existem inúmeros modelos de biodigestores, cada um com sua particularidade, mas todos com o mesmo fim: criar condições anaeróbias para permitir que a biomassa seja degradada. Os modelos indiano, chinês e canadense estão entre os mais difundidos e estudados (PRATI, 2010).

Segundo Oliveira (2009), a eficiência da digestão anaeróbia pode ser seriamente afetada por fatores que estão relacionados com o substrato, com as características do digestor ou com as condições de operação e ambientais.

Dos fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies. Os micro-organismos não possuem meios de controlar a sua temperatura interna que é determinada pela temperatura ambiente externa (ISOLDI *et al.*, 2001).

O clima tropical, predominante na maior parte do Brasil, favorece os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia, sendo em relação à biodiversidade detritívora, quanto das próprias condições climáticas em si, com temperaturas médias anuais que garantem os processos biológicos. Por outro lado, as condições climáticas frias por períodos prolongados em países do Hemisfério Norte reduzem e chegam até a paralisar as atividades dos ciclos biológicos, e também restringem a biodiversidade detritívora, em geral menos intensa que a encontrada no clima tropical, limitando ou pelo menos encarecendo (pois requer energia térmica para ocorrer) o emprego da biodigestão nessas regiões (GALINKIN e BLEY, 2009).

2.1. MICROBIOLOGIA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Digestão anaeróbia é a nomenclatura que se dá para a produção de metano e gás carbônico a partir de matéria orgânica na ausência de oxigênio, mediante uma população diversificada de microrganismos.

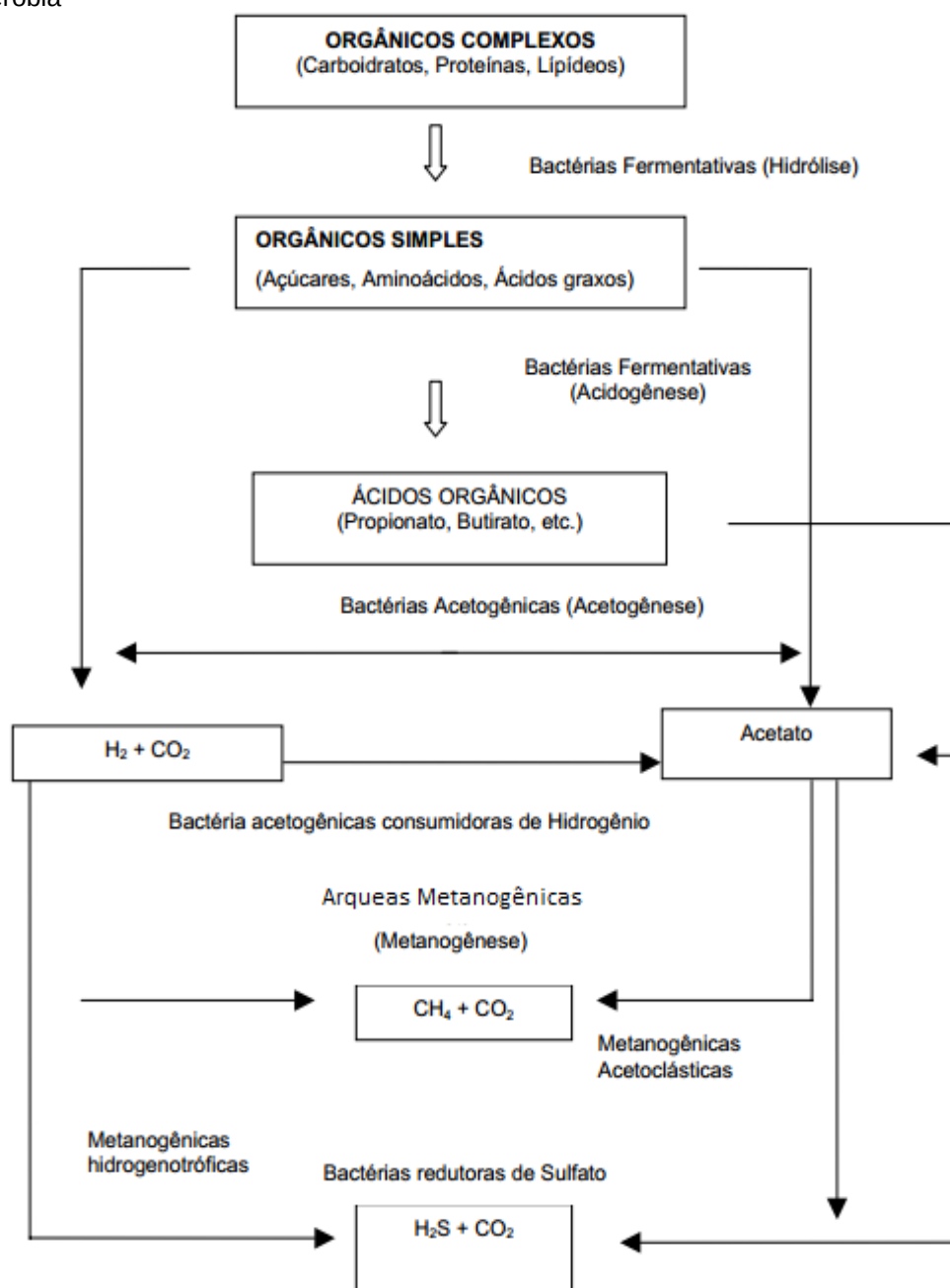
Estima-se que a digestão anaeróbia, com formação de metano, seja responsável pela completa mineralização de 5 a 10% de toda a matéria orgânica disponível na terra (CHERNICHARO, 2007).

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, composto por várias reações sequenciais (Fig. 1), cada uma com sua população microbiana específica. Para a digestão anaeróbia de material orgânico complexo, como proteínas, carboidratos e lipídios, podem-se distinguir quatro etapas diferentes no processo global da conversão (FORESTI, 1994).

Na primeira etapa, a matéria orgânica complexa é transformada em compostos mais simples como ácidos graxos, aminoácidos e açúcares, sofrendo a ação dos microrganismos hidrolíticos. Na segunda etapa as bactérias acidogênicas transformam os ácidos e açúcares em compostos mais simples como ácidos graxos de cadeia curta, ácido acético, H₂ e CO₂. Na terceira etapa, estes produtos são transformados principalmente em ácido

acético, H_2 e CO_2 , pela ação das bactérias acetogênicas. Por fim, na última etapa, as arqueas metanogênicas transformam esses substratos em CH_4 e CO_2 (HAMMER, 1996).

FIGURA 1. Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia



Fonte: Chernicharo, 2007. (Adaptado)

2.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA

Ramires (2005) nos diz que existem diversos fatores podem afetar o processo de digestão anaeróbia, podendo intensificar ou inibir parâmetros como a velocidade de crescimento e declínio dos microrganismos, a produção do biogás, a utilização de substrato, entre outros.

pH

Os microrganismos anaeróbios são sensíveis às condições ácidas e podem ser inibidos se não estiverem em sua faixa ideal, sendo que a faixa ideal se situa entre os 6,5 e 7,5 (LIU et al., 2008). Este nível é controlado através do poder tampão do digestor. O poder tampão é conferido pela presença de ácidos fracos, dos seus sais e de bicarbonatos no meio. Caso ocorra acidificação do meio deve ser adicionada uma base ao meio, de modo que o pH se mantenha dentro da faixa ideal (ESPINOZA, E.; et al. 2009).

Speece (1996) relata que o reator deve ser operado em pH entre 6,5 e 8,2. Segundo esse autor, em determinadas condições é possível à operação satisfatória do reator em pH de até 6.

Nutrientes

Podemos classificar como os principais nutrientes o nitrogênio (N) e o fósforo (P), pois são essenciais para os processos biológicos. Outros nutrientes também são de extrema importância, como o enxofre (S) que é considerado um dos nutrientes essenciais para a metanogênese. Dentre os principais micronutrientes, destacam-se: ferro, cobalto, níquel e zinco (SCHMITT; et al, 2006).

Temperatura

Um dos fatores ambientais mais importantes na digestão anaeróbia é a temperatura, sendo que afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. Os principais efeitos da temperatura incluem-se as alterações na velocidade do

metabolismo dos microrganismos, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos, principalmente de lipídios (SCHMITT; et al, 2006).

Ao crescimento microbiano, geralmente estão associadas três faixas de temperatura onde o crescimento é possível: faixa psicrófila (entre 0 e 20°C), faixa mesófila (entre 20 e 45°C) e a termófila (entre 45 e 70°C). E em cada uma dessas faixas são associados três valores de temperatura para caracterização do crescimento dos microrganismos: temperaturas máximas e mínimas que definem os limites da faixa de temperatura em que o crescimento é possível e a temperatura ótima onde o crescimento é máximo. A taxa de crescimento microbiano em temperaturas próximas à mínima é tipicamente baixa, mas aumenta exponencialmente com o acréscimo da temperatura, atingindo o máximo próximo à temperatura ótima, e caindo abruptamente com um aumento de alguns poucos graus (CHERNICHARO, 2007).

De acordo com Singh (1994), existem basicamente duas faixas de temperatura que apresentam condições ótimas para a produção de biogás (metano). A primeira é a faixa mesofílica que está entre 20°C – 40°C e a temperatura ótima está entre 30°C – 35°C. E a segunda faixa é a termofílica que fica entre 50° – 60°C. Os sistemas mesofílicos são muito sensíveis à variação da temperatura ambiente, podendo parar a produção de biogás no período de inverno em climas mais frios.

Na fase mesofílica, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas (MOURA, J. P).

Bouallagui et al. (2004) reportam que a digestão anaeróbia em processos termofílicos produzem até 41 % mais de biogás que os processos mesofílicos e 144 % a mais que os processo psicrofílicos.

Tempo de retenção hidráulica (TRH)

É definido pelo tempo em que um dado volume de líquido permanece no digestor. O valor de TRH depende do tipo de digestor, do substrato utilizado, além de outros fatores, e pode variar de dias a apenas algumas horas (SALOMON, 2007).

2.3. TIPOS DE BIODIGESTORES

Cada biodigestor possui características diversas, sendo que geralmente são divididos em biodigestores de produção descontínua ou de produção contínua.

Produção descontínua

A biomassa é colocada dentro do biodigestor que é totalmente fechado e só será aberto após a produção de biogás diminuir ou parar, o que levará mais ou menos noventa dias (dependendo do tipo de biomassa). Após a fermentação da biomassa, o biodigestor é aberto, limpo e novamente carregado para um novo ciclo de produção de biogás.

Produção contínua

A produção pode acontecer por um longo período, sem que haja a necessidade de abertura do equipamento. A biomassa é colocada no biodigestor e ao mesmo tempo o biofertilizante é retirado.

Biodigestor Chinês

Considerado como um biodigestor de produção contínua, este é construído em alvenaria, modelo de peça única. Desenvolvido na China, onde as propriedades geralmente são pequenas, justamente por isso foi desenvolvido esse modelo que é enterrado, para ocupar menos espaços. Este modelo tem custo mais barato em relação aos outros, pois a cúpula é feita em alvenaria. Também sofrem pouca variação de temperatura.

Biodigestor Indiano

Outro biodigestor considerado de produção contínua, o modelo indiano possui uma cúpula móvel, geralmente feita de ferro ou fibra. Se movimenta

para cima e para baixo de acordo com a produção de biogás. Nesse tipo de biodigestor o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa pouco espaço e a construção por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto. Caso a cúpula seja de metal, deve-se fazer uso de uma boa pintura com um antioxidante.

Por ser um biodigestor que fica no subsolo, é preciso ter cuidado, evitando infiltração no lençol freático.

Biodigestores BioKohler

A Biokohler é uma empresa de biodigestores que atua no ramo de instalação de biodigestores, indústria e comércio de equipamentos para uso do biogás. A empresa de Marechal Candido Rondon - PR, está no ramo de produção de biogás desde de 2010

A empresa fornece ainda serviços de aquecimento de frangos com biogás, impermeabilizações de lagoas, agitadores de 6 e 10cv, biodigestores canadense e convencional 600m³ com flare (um equipamento utilizado para queimar o biogás), biodigestor em fibra de vidro e o de mistura completa.

Recentemente a empresa realizou instalações em Entre Rios do Oeste, Matelândia, Toledo e Moreira Sales (PR).

Conforme a tabela 1 o investimento inicial com a instalação do biodigestor da estação experimental foi de R\$36000,00 (sem contabilizar os gastos com mão de obra, energia, manutenção e reparos). Esse valor justifica a informação de ser considerado de baixo custo de implantação.

Tabela 1. Investimento inicial com instalação do biodigestor

Recursos	Valores
Biodigestor	R\$ 22.000,00
Lagoa	R\$ 6.000,00
Sistema de compressão e automação	R\$ 8.000,00
Total	R\$ 36.000,00

Fonte: Bioköhler

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados da pesquisa foram coletados a partir do dia 29 de Julho de 2013 (segunda semana do inverno), porém o biodigestor já vinha sendo alimentado com a mesma carga orgânica média (e com os mesmos tipos de biomassa) desde Março de 2013 e, justamente por isso, não houve necessidade de efetuar um período de adaptação do mesmo, pois o biodigestor já estava adaptado. E os dados coletados foram utilizados até o dia 1º de Dezembro de 2013(três semanas antes de iniciar o verão).

O local de pesquisa foi na 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.

Nesta estação experimental encontra-se o biodigestor da marca Bioköhler (figura 2), com câmara de biodigestão em fibra de vidro, formada pela união de duas caixas d'água de 10.000 litros cada, sendo a parte inferior uma caixa d'água normal e a parte superior outra caixa d'água com a parte mais alta (topo) em um formato mais arredondado, contendo uma saída para manutenção, permitindo a abertura da mesma em caso de necessidade. Ambas as caixas têm seu material reforçado em função da pressão hidráulica do líquido e do gás. A câmara de biodigestão tem capacidade de 20 m³, com volume útil de 19,56 m³, está instalada no sentido vertical, conforme a Figura 3, e possui sistema de alimentação contínuo.

Uma das partes (uma caixa d' água) é totalmente enterrada e a outra caixa d'água fica fora do solo. A canalização dos dejetos e do biogás é subterrânea para proteção do sol, da chuva e de possíveis impactos que venham a danificá-la.

Na estação experimental há também um tambo leiteiro, com aproximadamente 24 vacas leiteiras e novilhas da raça holandesa e mais alguns bezerros, todos alimentados com pastagem, silagem, feno e ração,

sendo que os dejetos oriundos da limpeza (com água) do tambo são canalizados por diferença hidráulica (gravidade) para um reservatório onde foram feitas as análises de volume e densidade, antes de entrar no biodigestor. Estas análises são necessárias para saber quanto de matéria orgânica entrará no biodigestor para sofrer o processo de fermentação anaeróbia. Além do dejetos de bovinos, foi misturado 30kg de cama de aviário. Esse processo foi realizado diariamente no período da tarde, logo após a limpeza do tambo (aproximadamente as 17:00 horas).

FIGURA 2 – Biodigestor da estação experimental.



FONTE: O autor (2014).

FIGURA 3 – Câmara de biodigestão em instalação vertical.



FONTE: Sr. Pedro Köhler (2013)

Para analisar a densidade dos dejetos bovinos foi utilizado um densímetro para massa específica da marca Incoterm, modelo número 5582, escala de 1,000 a 1,100 g/mL, aferido: a 20 °C (figura 4). O procedimento consistiu em homogeneizar os dejetos que estavam dentro do reservatório e posteriormente coletar uma amostra que era colocada dentro de um cilindro de PVC (figura 5) e logo após mergulhado o densímetro no dejetos de bovinos. Após estabilização do densímetro na biomassa foi anotado a densidade para cada dia.

FIGURA 4 – Densímetro para massa específica Incoterm.



FONTE: Site da empresa Incoterm (2014)

FIGURA 5 – Cilindro de PVC



FONTE: O autor (2013)

Para calcular o volume de dejetos bovinos adicionado diariamente foi anotado o nível de entrada e de saída em centímetros, como mostra a figura 6 e figura 7, respectivamente. A partir dos dados do nível de entrada e saída foi possível calcular o volume adicionado a cada dia. Segue o cálculo utilizado para determinar o volume adicionado:

$$V = \pi * r^2 * p$$

Sendo:

V = Volume;

π = π ; é uma proporção numérica que tem origem na relação entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro, valor de 3,1415926;

r^2 = Raio; Caixa de entrada tem diâmetro 1metro, sendo o r = 0,5 metros, logo r^2 será 0,25;

p = Profundidade; Diferença entre as medidas iniciais e após alimentar o biodigestor.

Utilizando um dia específico como exemplo, temos:

No dia 21/09/13 o nível de entrada estava em 17cm e o nível de saída estava em 93cm. Utilizando a fórmula $V: 3,1415926 \times 0,25 \times 0,76$. Volume: $0,5969m^3$.

Figura 6 – nível de entrada



FONTE: O autor (2013)

Figura 7 – nível de saída



FONTE: O autor (2013)

As coletas para análises de sólidos foram feitas três vezes por semana, tanto na caixa de entrada como na saída do biodigestor e as amostras foram colocadas em garrafas PET (figura 8) e armazenadas em um congelador para que posteriormente fossem feitas as análises no Laboratório da Fundação para o desenvolvimento científico e tecnológico de Toledo (FUNTEC).

Figura 8 – material para análise



FONTE: O autor (2013)

O método utilizado para determinação de sólidos foi o estabelecido pela APHA (American Public Health Association) em 1995, sendo o método 2540-B correspondente aos sólidos totais; e o 2540-E aos sólidos fixos e voláteis (CEPPA, 2012).

Primeiramente os cadinhos foram levados à mufla a 600 °C para calcinar por um período de duas horas. Depois de retirados e esfriados em um dessecador (figura 9) eles foram pesados, encontrando o peso do cadinho vazio (P1). Posteriormente os cadinhos calcinados foram preenchidos, aproximadamente 4/5 do volume total, com amostra natural de dejetos bovinos, ou biofertilizante ou cama de aves (figura 10) e foram pesados novamente, encontrando o peso do cadinho vazio + amostra natural (P2).

Após estes procedimentos, os cadinhos calcinados com as amostras de dejetos bovinos, ou biofertilizante ou cama de aves foram levados para a estufa a 105°C por, no mínimo 12 horas. Depois de resfriados em dessecador foram pesados novamente, encontrando o peso do cadinho vazio + amostra seca (P3). Estas amostras foram então levadas para a mufla (figura 11) por 2 horas a 600 °C, resfriadas em um dessecador e pesadas novamente, encontrando o valor do cadinho vazio + cinzas (P4).

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

$$\text{Sólidos Totais} = P3 - P1$$

$$\text{Sólidos Voláteis} = P3 - P4$$

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

$$\text{Umidade} = P2 - P3$$

Com estes dados foi possível calcular o percentual de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), umidade (U) e sólidos fixos (SF), tanto dos dejetos bovinos quanto do biofertilizante. Seguem os cálculos para a amostra natural:

- % Sólidos totais = (Sólidos totais (g) x 100) / Amostra natural (g)
- % Sólidos Voláteis = (Sólidos voláteis (g) x 100) / Amostra natural (g)
- % Sólidos Fixos = (Sólidos fixos (g) x 100) / Amostra natural (g)

Quanto ao cálculo do tempo de retenção hidráulica (TRH) temos:

$$\text{➤ TRH (m}^3\text{/dia)} = \text{Volume do biodigestor (m}^3\text{)} / \text{vazão diária (m}^3\text{)}$$

Nos dias que foram coletadas as amostras, os cálculos para estimar a quantidade, em quilogramas (kg), foram efetuados como comentado anteriormente. Porém para os dias em que não foram coletadas amostras foi feito uma estimativa relacionando a densidade do material, ou seja, uma amostra do dia 18/10/2013 possuía uma densidade 1022g/ml^3 , 3,84% de sólidos totais e 2,79% de sólidos voláteis. Portanto os dados encontrados para a densidade 1022g/ml^3 foram utilizados para calcular o peso em quilogramas nos dias que não foram coletadas amostras.

Ao lado do biodigestor há uma pequena sala onde estão instalados alguns equipamentos como compressor, painel de controle e um registrador eletrônico FieldLogger (figura 12), marca Novus, com 8 canais analógicos por módulo, precisão de 0,2% da faixa máxima, o que equivale a $\pm 1^\circ\text{C}$.

FIGURA 9 – Dessecador



FONTE: O autor

FIGURA 10 – Amostras indo para estufa



FONTE: O autor

FIGURA 11 – Mufla



FONTE: O autor

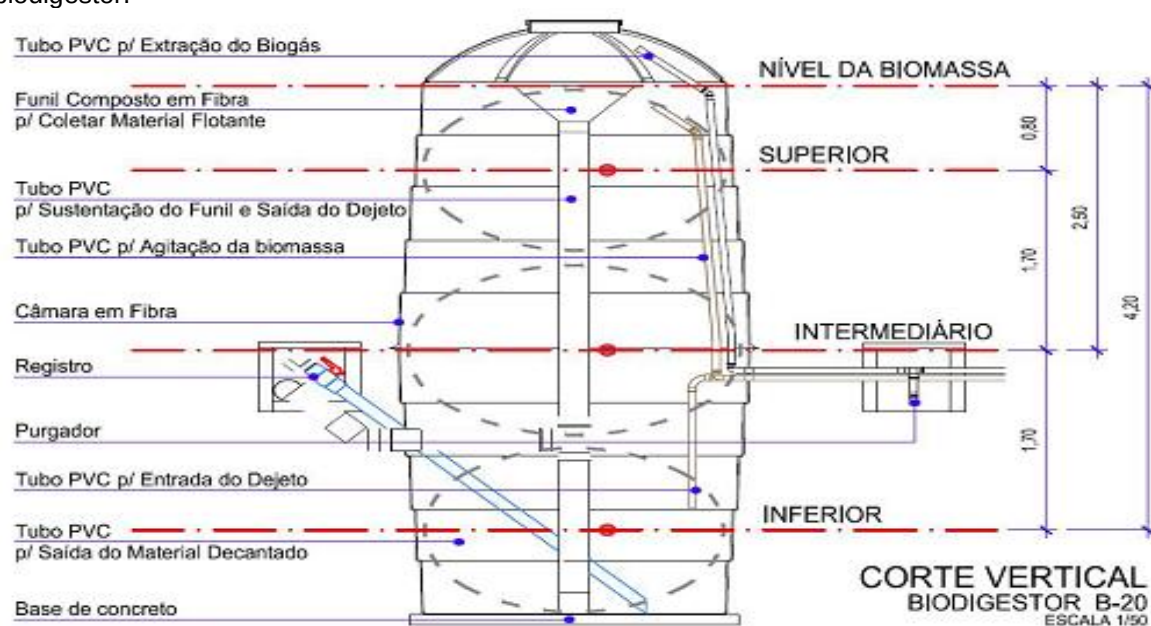
FIGURA 12 – FieldLogger



FONTE: Site da Fieldlogger de Novus

Este registrador estava programado para coletar e armazenar as informações das temperaturas internas do biodigestor em intervalos de 15 minutos. Essa temperatura interna foi medida com o auxílio de três termopares, sendo o termopar superior colocado a 80 cm abaixo do nível máximo da biomassa em fermentação, o intermediário ou médio a 2,50 m e o inferior a 4,20 m, conforme figura 13.

FIGURA 13 – Região superior, intermediária e inferior da medição da temperatura interna do biodigestor.



FONTE: Tietz (2013).

Além dos dados do volume e densidade dos dejetos que alimentaram o biodigestor, e da temperatura interna do mesmo, foram utilizados os dados da temperatura externa (do ambiente natural), sendo que estes dados foram obtidos da Estação Climatológica Automática de Marechal Cândido Rondon – PR, Código A 820, que está localizada logo ao lado da própria Estação Experimental. Os dados utilizados foram: temperaturas máxima, média e mínima do ar, radiação solar e índice de chuvas.

Já o volume de biogás produzido foi medido diariamente e antes da alimentação do biodigestor através de um medidor de gás, que foi instalado na estação experimental, modelo G 0,6 fabricado pela LAO Indústria, conforme a

Figura 14. O teor de CH₄ e CO₂ presentes no biogás produzido foi medido por um analisador de gás portátil da marca Dräger X-am 7000 (Figura 15).

FIGURA 14 – Medidor de gás.



FONTE: O autor (2013).

FIGURA 15 – Analisador de gás portátil.



FONTE: O autor (2013).

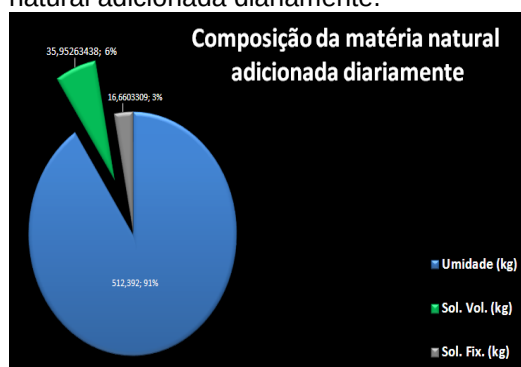
Quanto às análises estatísticas, cada dia foi considerado um tratamento e cada semana um bloco, sendo que foi possível analisar 16 blocos com sete tratamentos em cada bloco.

Os dados referentes às variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância univariada e teste de médias (FERREIRA, 2013). Após a realização da análise de variância, levou-se em consideração a significância dos fatores sobre as variáveis analisadas realizando-se a análise de correlação. Para verificar a incidência de correlação entre as variáveis foi aplicado o teste de correlação de Spearman para matriz de dados representativa à época de coleta (MENDIBURU, 2013). Todas as análises univariadas e de correlação foram efetuadas sob ambiente R (R CORE TEAM DEVELOPMENT, 2013) ao nível de 5% de significância de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

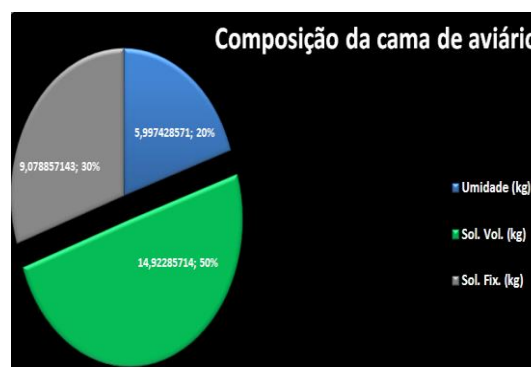
O tempo médio de retenção hidráulico (TRH) encontrado durante o período do experimento foi de trinta e sete (37) dias. Estimou-se que a carga orgânica total, adicionada diariamente, foi de aproximadamente 565 kg de matéria natural (dejetos de bovinos mais os 30 kg de cama de aviário), sendo que 52,6 kg correspondem aos sólidos totais e, destes 52,6kg, 36 kg correspondem aos sólidos voláteis e o restante 16,6kg de sólidos fixos, os 512,4 kg restantes correspondem a água (figura 16). Já a composição dos 30 kg da cama de aves (figura 17), que faz parte da carga orgânica total, foi de 20% de umidade, 50% de sólidos voláteis e 30% de cinzas ou sólidos fixos. Quanto à composição dos dejetos bovinos depende muito da diluição do mesmo e, justamente por isso, há uma grande variação de dia para dia.

Figura 16 – Composição da matéria natural adicionada diariamente.



FONTE: O autor (2014)

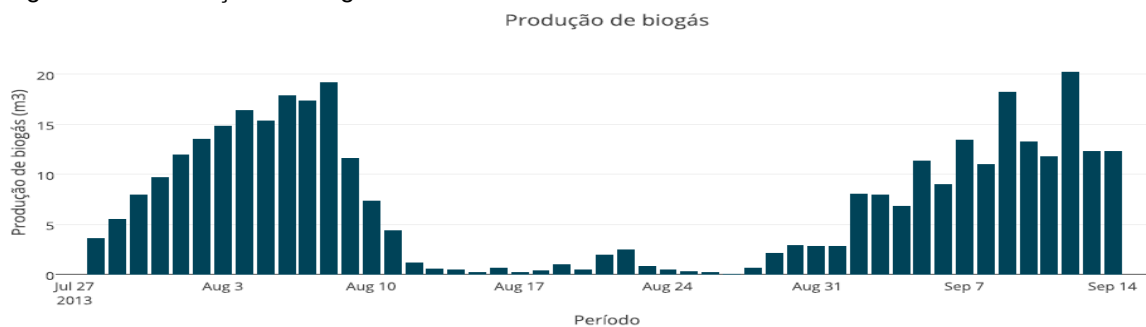
Figura 17 – Composição da cama de aviário



FONTE: O autor (2014)

A produção média diária de biogás foi de 10,021m³. A produção máxima chegou a 20,52 m³ e a mínima chegou a muito próximo de zero (figura 18 e 19). Quanto a porcentagem de gás metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂), a média encontrada foi de 59,5% e 39,5%, respectivamente. Analisando o biogás produzido em biodigestores de modelos indiano e chinês, pelo período de um ano, Silva (2005) encontrou, em média, 57,7% de CH₄ e 34,2% de CO₂.

Figura 18 – Produção de biogás



FONTE: O autor (2014)

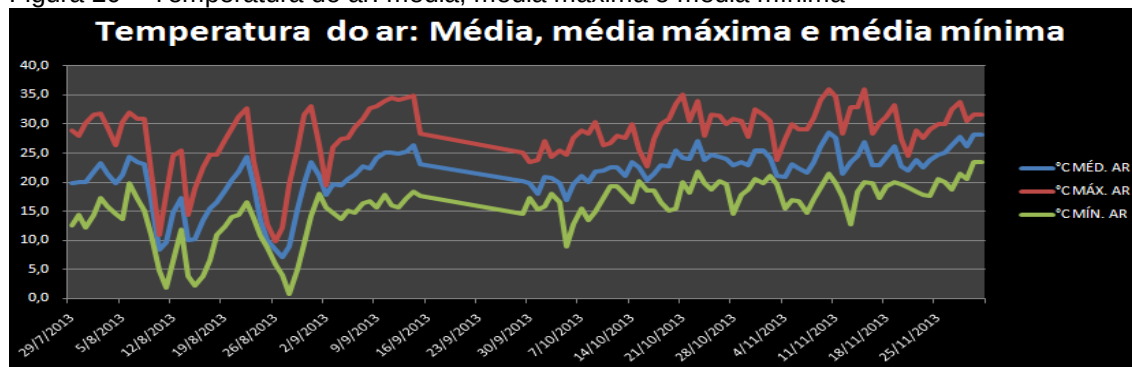
Figura 19 – Produção de biogás (continuação)



FONTE: O autor (2014)

A temperatura do ar média diária foi de 21,3 °C. A temperatura média mínima diária foi de 15,6, sendo que a temperatura mínima do ar, durante todo o experimento, foi de 0,7 °C. Já a temperatura máxima do ar encontrada foi de 36 °C (figura 20).

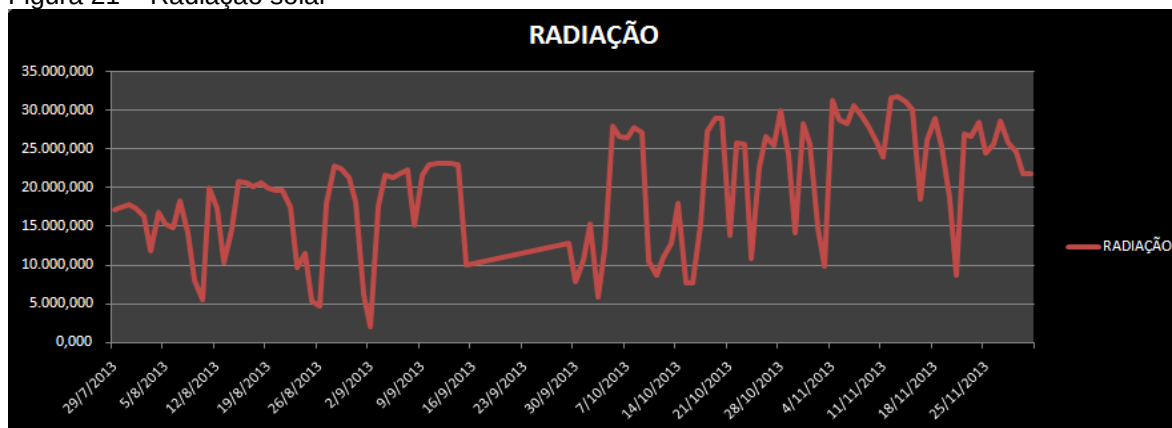
Figura 20 – Temperatura do ar: média, média máxima e média mínima



FONTE: O autor (2014)

A maior incidência de radiação solar foi de 31.702,574 KJ/m², já a menor foi de 2.030,752 KJ/m², sendo que a média foi de 19.717,1106 KJ/m² (figura 21).

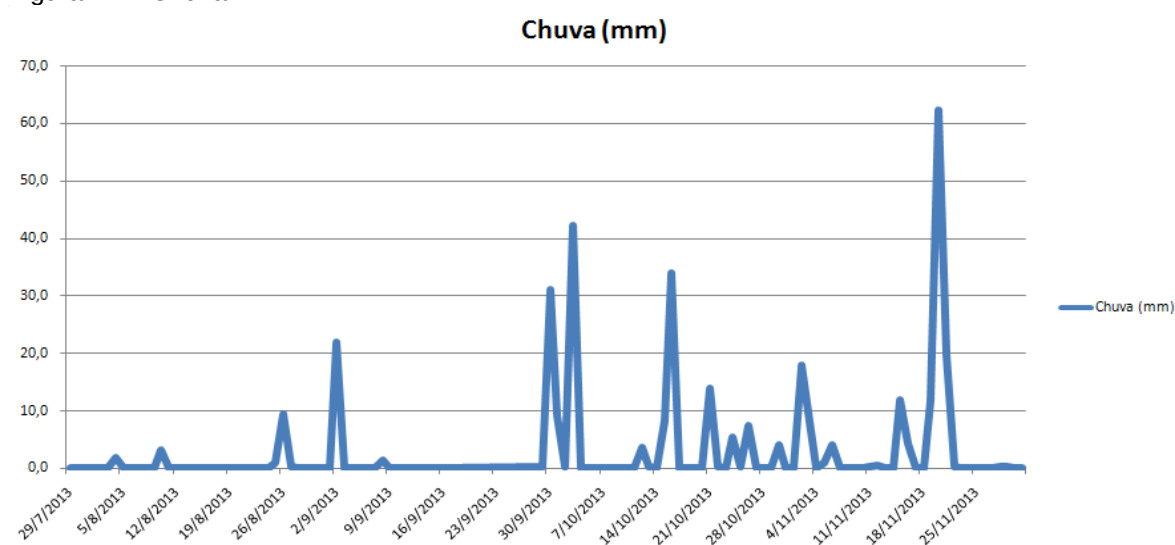
Figura 21 – Radiação solar



FONTE: O autor (2014)

O índice médio de chuva no período foi de 3mm, sendo que o máximo chegou a 62,4mm (figura 22).

Figura 22 – Chuva



FONTE: O autor (2014)

No termopar superior, a temperatura máxima encontrada foi de 42,97 °C e a mínima encontrada foi de 8,44 °C, sendo que a temperatura média foi de 27,68 °C. No termopar intermediário ou médio a temperatura máxima encontrada foi de 36,89 °C e a mínima encontrada foi de 4,7 °C, sendo que a temperatura

média foi de 24,31 °C. Já no termopar inferior a temperatura máxima encontrada foi de 36,88 °C e a temperatura mínima encontrada foi de 5,54 °C, sendo que a temperatura média foi de 24,51 °C (figura 23).

Figura 23 – Temperaturas médias, máximas e mínimas nos termopares superior, médio e inferior.



FONTE: O autor (2014)

Foram feitas análises estatísticas para determinar a correlação dos fatores envolvidos na produção de biogás (tabela 2). Foi possível perceber que há correlação positiva em todos os fatores, porém para a chuva e alimentação (que inclui a adição de matéria natural, sólidos totais e sólidos voláteis) a correlação não foi significativa. Esperava-se que houvesse influência significativa quanto à incidência de chuva na produção de biogás, mas essa hipótese foi eliminada pela análise de correlação e esperava-se que não houvesse influência significativa da alimentação, mesmo porque o objetivo da alimentação diária era de ser a mais homogênea possível. É possível perceber que tanto a temperatura do ar como a temperatura interna do biodigestor possuem correlação positiva alta em relação à produção de biogás, e que a temperatura da região média do biodigestor (representada pelo termopar M) se destaca como sendo um dos fatores de maior influência na produção do biogás, como também a temperatura máxima da região superior (representada pelo termopar S). A radiação influencia significativamente na produção de biogás, porém não tanto quanto aos fatores citados anteriormente.

Tabela 2 – Correlação entre os fatores e a produção de biogás

Variável	Correlação	Significância
Temperatura média do ar	0,62	**
Temperatura máxima do ar	0,56	**
Temperatura mínima do ar	0,54	**
Radiação	0,27	**
Chuva mm	0,11	ns
Temperatura média do termopar inferior	0,65	**
Temperatura máxima do termopar inferior	0,6	**
Temperatura mínima do termopar inferior	0,57	**
Temperatura média do termopar médio	0,65	**
Temperatura máxima do termopar médio	0,61	**
Temperatura mínima do termopar médio	0,58	**
Temperatura média do termopar superior	0,62	**
Temperatura máxima do termopar superior	0,67	**
Temperatura mínima do termopar superior	0,5	**
Matéria natural	0,1	ns
Sólidos totais	0,04	ns
Sólidos voláteis	0,03	ns

Significância= * significativo à 5%; ** significativo à 1%; ns não significativo

FONTE: O autor (2014)

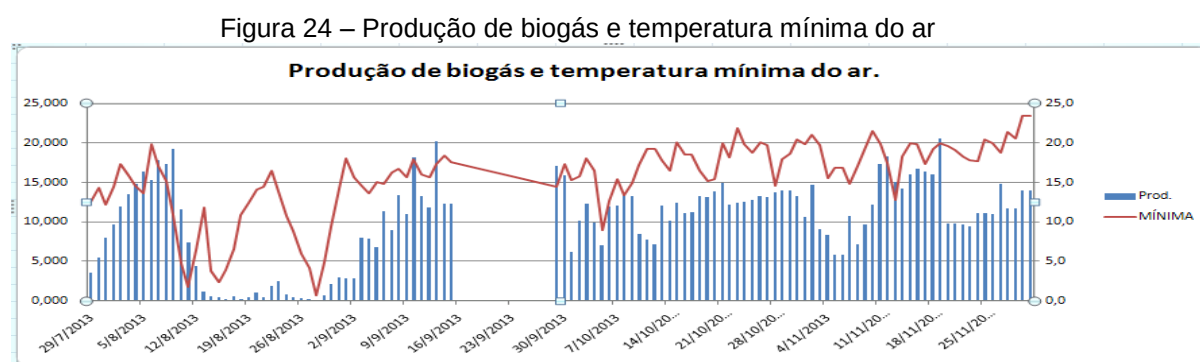
Através da análise estatística univariada (tabelas 3 e 4), pelo teste de Tukey, foi possível perceber a diferenciação estatística dentro de cada bloco, sendo que cada bloco refere-se a uma semana. A semana que teve o melhor resultado foi a semana do bloco 14, porém não houve diferença estatística entre os blocos 2, 7, 10, 11, 12, 15 e 16. Ao observar, principalmente os blocos com os piores resultados de produção de biogás, é possível perceber que há diferenças estatísticas também nas variáveis que influenciam na produção de biogás. Essa constatação fica bem visível se analisar, principalmente os blocos 3, 4 e 5. Porém, dentre todos os blocos, há um bloco (13) que se destaca por possuir produção baixa, mas sem nenhum motivo aparente. Este bloco refere-se à semana dos dias 04/11/13 a 10/11/13 e justamente neste período a temperatura média mínima do termopar intermediário chegou próximo de 20°C, demonstrando a possível influência da faixa mínima ideal de temperatura para o normal desempenho dos micro-organismos no processo de degradação da matéria orgânica.

Comparando a produção de biogás com a temperatura mínima do ar fica

visível o impacto na produção quando há uma queda significativa da temperatura do ar (figura 24). No período de 12/08/13 a 09/09/13 é possível observar que quando a temperatura do ar baixa de 15 °C para menos de 5°C há uma queda brusca na produção de biogás, beirando a zero. Essa mesma constatação é visível na figura 25, que compara a produção de biogás com as temperaturas máxima e mínima da parte superior do biodigestor e na figura 26 que compara a produção de biogás com as médias das temperaturas média, máxima e mínima do termopar médio (considerado estatisticamente o que possui maior correlação com a produção de biogás).

De acordo com Singh (1994), existem basicamente duas faixas de temperatura que apresentam condições ótimas para a produção de biogás. São elas as faixas mesofílica e termofílica. A faixa mesofílica está entre 20°C – 40°C e a temperatura ótima está entre 30°C – 35°C. Chernicharo (2007) relata três faixas de temperatura onde o crescimento microbiano é possível, sendo elas: faixa psicrófila (entre 0 e 20°C), faixa mesófila (entre 20 e 45°C) e a termófila (entre 45 e 70°C). E em cada uma dessas faixas são associados três valores de temperaturas: temperaturas máximas e mínimas que definem os limites da faixa de temperatura em que o crescimento microbiano é possível e a temperatura ótima onde o crescimento é máximo.

Segundo Singh (1994) e Tietz (2013), a faixa ideal para otimizar a digestão anaeróbia dentro da faixa mesofílica é entre 30 a 35 °C.



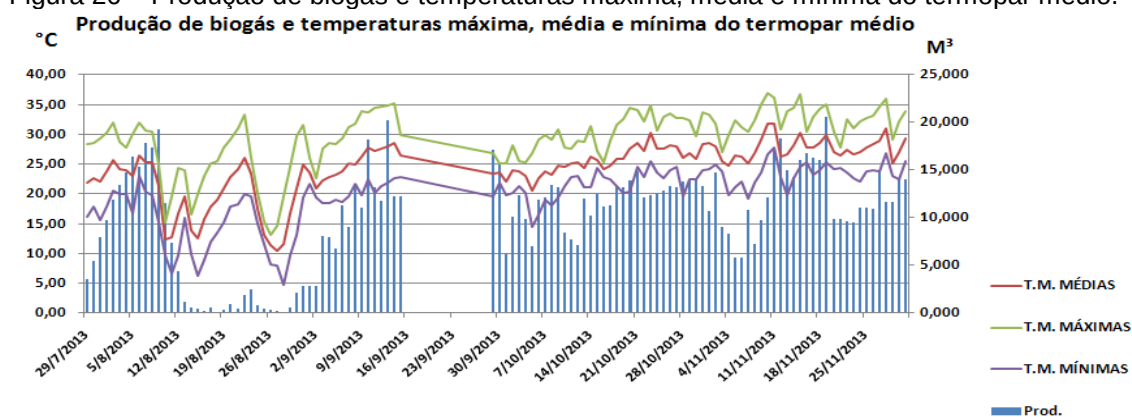
Fonte: O autor (2014).

Figura 25 – Produção de biogás e temperaturas máxima e mínima do termopar superior.



Fonte: O autor (2014).

Figura 26 – Produção de biogás e temperaturas máxima, média e mínima do termopar médio.



Fonte: O autor (2014).

Tabela 3 - Diferenciações estatísticas entre variáveis

Sem.	Produção	Difer.	°C AR Méd.	Difer.	°C AR Máx.	Difer.	°C AR Min	Difer.	Radiação	Difer.	°C Term. I Med	Difer.	°C Term. I Max	Difer.
1	9,564	cd	20,89	abc	29,46	abc	14,45714	bcd	16395,02	bc	23,59857	abcd	29,20857	abcde
2	14,997	ab	18,16	cde	24,99	bc	11,9	def	13732,76	c	21,16857	de	26,23143	cde
3	1,065	e	13,94	e	22,2	c	6,528571	f	17792,11	abc	16,91429	e	22,92286	e
4	1,05	e	18,33	cde	25,04	bc	12,97143	cde	14758,83	c	21,34	de	26,16714	de
5	1,274	e	14,84	de	22,63	c	8,171429	ef	16240,24	bc	17,62571	e	22,93	e
6	8,452	d	20,56	bcd	27,64	abc	15,27143	bcd	17401,28	abc	23,40143	bcd	28,39857	abcde
7	14,138	abcd	24,86	abc	33,36	a	16,94286	abcd	20999,24	abc	27,33571	abc	33,59429	a
8	9,628	cd	19,4	bcde	25,21	abc	14,92857	bcd	15200,25	c	22,98286	cd	26,57571	bcde
9	10,585	bcd	21,6	abc	28,01	abc	16,75714	abcd	17788,69	abc	24,61429	abcd	28,92714	abcde
10	12,19	abcd	22,66	abc	28,56	abc	17,24286	abcd	19120,19	abc	25,88571	abcd	30,13571	abcd
11	13,018	abcd	24,64	abc	31,53	ab	19,78571	ab	21540,92	abc	28,20286	ab	32,84286	ab
12	12,779	abcd	23,67	abc	29,7	abc	18,91429	ab	20995,54	abc	27,10857	abc	31,51571	abcd
13	8,777	d	23,73	abc	30,96	ab	17,38571	abcd	28847,87	a	27,36286	abc	32,69429	abc
14	16,28	a	24,27	abc	31,9	ab	17,94286	abcd	27591,21	ab	28,58286	a	33,68143	a
15	12,335	abcd	23,61	abc	28,87	abc	18,82857	ab	23363,11	abc	27,78143	abc	31,87286	abcd
16	12,602	abcd	26,63	abc	31,46	ab	21,18571	a	24684,36	abc	28,36571	ab	33,03	ab

Fonte: O autor (2014)

Tabela 4 – diferenciações estatísticas (continuação)

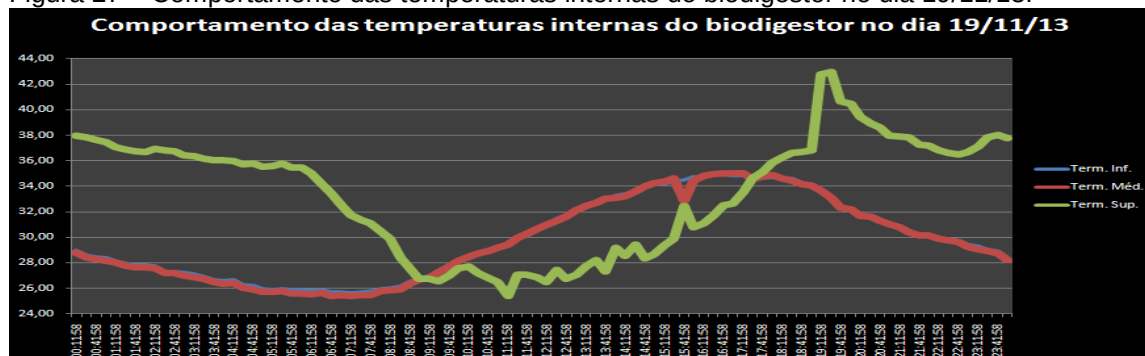
Sem.	Produção	°C Term. I Min	Difer.	°C Term. M Med	Difer.	°C Term. M Max	Difer.	°C Term. M Min	Difer.	°C Term. S Med	Difer.	°C Term S Max	Difer.	°C Term S Min	Difer.
1	9,564	18,59714	bcd	23,45	abc	29,25714	abcd	18,28143	bcd	23,75143	fg	30,76571	efg	13,99714	fgh
2	14,997	16,25	def	20,93571	cd	26,11429	cd	15,92429	def	26,37143	cde	31,81	efg	17,94429	defg
3	1,065	11,66143	f	16,42571	d	22,67714	d	10,87857	f	22,15857	g	28,75143	gh	12,81857	h
4	1,05	17,06429	cde	21,11429	cd	26,09429	cd	16,78429	cde	24,77571	ef	30,08714	fgh	16,02	efgh
5	1,274	12,76286	ef	17,07143	d	22,72429	d	12,07429	ef	21,2	g	27,28143	h	13,14429	gh
6	8,452	19,56286	abcd	23,29714	abc	28,47714	abcd	19,29143	abcd	24,91714	ef	31,33286	efg	16,88714	efgh
7	14,138	21,71143	abc	27,38286	ab	33,74286	a	21,58429	abc	28,61714	bc	35,79286	cd	18,63857	cdef
8	9,628	19,45143	abcd	22,74	bc	26,43571	bcd	19,18286	abcd	25,99	def	30,93143	efg	16,5	efgh
9	10,585	20,90714	abcd	24,45429	abc	28,92	abcd	20,66571	abcd	27,11714	cde	32,53714	ef	19,81714	bcde
10	12,19	22,00143	abc	25,74	abc	30,18	abc	21,76714	abc	27,66714	cd	33,10143	de	17,51	defgh
11	13,018	24,08143	a	28,16286	a	32,94857	ab	23,93286	a	30,53571	ab	36,49429	bc	22,30143	abcd
12	12,779	23,24286	ab	26,99429	ab	31,43286	abc	23,06	ab	31,26286	a	36,92286	bc	24,00143	ab
13	8,777	22,36429	ab	27,15143	ab	32,57714	abc	22,04714	abc	30,55	ab	37,54571	abc	23,02429	abc
14	16,28	23,93571	a	28,41286	a	33,61857	a	23,68714	ab	32,98	a	40,30714	a	24,48	ab
15	12,335	24,01571	a	27,54857	ab	31,88857	abc	23,69571	ab	32,73571	a	38,81571	ab	24,45429	ab
16	12,602	24,52	a	28,17714	a	33,05286	ab	24,23429	a	32,58714	a	38,94286	ab	25,22	a

Fonte: O autor (2014)

Analisando as figuras 27 e 28, que mostram o comportamento da temperatura no intervalo de um dia nas três regiões do biodigestor, foi possível concluir que o comportamento das temperaturas na região média ou intermediária e da região inferior são muito similares, ou seja, as duas regiões possuem as mesmas oscilações e praticamente as mesmas temperaturas.

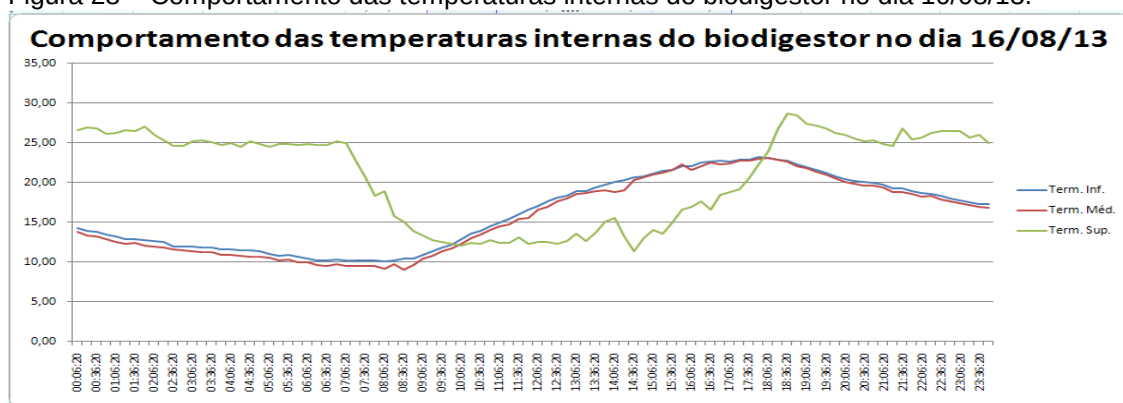
Outra constatação possível de se ter, ao analisar as figuras abaixo, é de que parece haver uma troca de calor ou uma movimentação de biomassa ou os dois casos, dentro do biodigestor. Esse fenômeno começa a ocorrer justamente quando o dia amanhece, sendo que a temperatura da parte superior começa a cair e as temperaturas da parte intermediária e inferior começam a subir. Enquanto a temperatura das partes inferior e intermediária continuam a subir até o fim da tarde, a temperatura da parte superior atinge uma estabilidade até logo após o meio dia e volta a aumentar. Quando a noite chega o processo se inverte, sendo que, enquanto as temperaturas das partes intermediária e inferior voltam a cair, a temperatura da parte superior aumenta até atingir certa estabilidade, até voltar a ocorrer o mesmo processo ao iniciar um novo dia. Este comportamento reflete o comportamento das variações de temperatura do ambiente externo, demonstrando a grande influência deste no ambiente interno do biodigestor. Porém, é preciso salientar que este processo não ocorre sempre, sendo que há alguns casos que não há essa inversão de temperaturas, mas, na maioria das vezes, o processo ocorre da mesma forma como comentado anteriormente.

Figura 27 – Comportamento das temperaturas internas do biodigestor no dia 19/11/13.



Fonte: O autor (2014)

Figura 28 – Comportamento das temperaturas internas do biodigestor no dia 16/08/13.



Fonte: O autor (2014)

5. CONCLUSÕES

Através das análises estatísticas, gráficas e bibliográficas foi possível concluir que há influência de vários fatores na produção de biogás. A existência de biomassa, micro-organismos decompositores e um ambiente propício para este processo é essencial para o processo de biodigestão, pois se não existissem o processo não ocorreria. A partir do momento em que há o fornecimento rotineiro, sem grandes variações, de biomassa para um biodigestor é possível eliminar a influência deste na variação da produção de biogás e com isso analisar com maior precisão a influência dos outros fatores ambientais. Tanto a radiação solar como a chuva são fatores que influenciam na variação da temperatura ambiente e é esta temperatura ambiente que age diretamente na temperatura interna do biodigestor.

Foi possível observar que, durante todo o experimento, não houve redução da produção de biogás decorrente de excesso de temperatura interna, demonstrando que é possível produzir biogás normalmente com temperaturas internas acima de 40°C. Por outro lado, houve drásticas reduções de produção de biogás quando houve queda da temperatura interna, influenciada pela queda da temperatura ambiente, abaixo de 20°C.

Conclui-se também que é possível produzir aproximadamente 10m³ de biogás por dia com 36 kg de sólidos voláteis oriundos de uma mistura de 30 kg de cama de aviário com dejetos bovinos nos biodigestores biokholer.

Com este experimento foi possível perceber que há influência do meio externo na produção de biogás, principalmente pela temperatura, mas também pela chuva e incidência de radiação solar. Isso tudo considerando que há um manejo adequado, alimentação rotineira e diária.

6. AVANÇOS ESPERADOS, PERSPECTIVAS E SUGESTÕES

É preciso tomar alguns cuidados extras, principalmente com a diluição dos dejetos bovinos. Quanto mais diluído for o material, menos sólidos voláteis terá disponível para a biodigestão anaeróbia e consequentemente também diminuirá o tempo de retenção hidráulica do material dentro do biodigestor. Este problema está ocorrendo na estação experimental por dois motivos: o primeiro refere-se ao manejo de limpeza efetuado pelos funcionários do tambo leiteiro que, apesar de fazer uma limpeza adequada, deixam correr água do bebedouro dos animais, água utilizada para limpeza de outros equipamentos além dos dejetos; o segundo problema refere-se às chuvas que escorrem pelo encanamento que cai direto no cilindro de retenção dos dejetos. Apesar de a área destinada para alimentação dos animais ser coberta, ainda há locais onde chove e escorre água para junto dos dejetos e uma dessas áreas corresponde justamente o local que liga a sala de ordenha à sala de alimentação.

Seria interessante fazer um experimento apenas com cama de aves, porém é necessário encontrar algum tipo de medidor de vazão de gás que seja resistente a altas taxas de gás sulfídrico e, também, seria necessário um pré-recipiente para fazer a mistura da cama com água para retirar grande parte de material inerte como pedras, aumentando assim o percentual de matéria orgânica.

Para a análise de densidade dos dejetos bovinos talvez seria mais preciso utilizar outro sistema, em vez de utilizar densímetros que são equipamentos consideravelmente caros e muito frágeis. Proponho um sistema que utilize uma balança de capacidade de no máximo 15 kg que utilize medidas em kg e gramas, e um balde com capacidade de 10 litros. Marcar neste balde uma linha exata onde ficam os 10 litros de água, pesar o balde vazio (para posteriormente descontar o peso do balde) e pesar o balde novamente com 10 litros de dejetos bovinos. Talvez esse método nos dê uma densidade mais precisa do material.

Quanto à análise de sólidos proponho que sejam utilizados cadinhos maiores, principalmente para a matéria natural, pois a representatividade dos

cadinhos de 36g pode ser muito pequena em relação a todo o material adicionado no biodigestor. Ou talvez seria interessante, pelo menos, determinar o percentual de água da matéria natural e posteriormente utilizar os cadinhos menores para determinação dos sólidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21 Brasileira. **Área temática: Agricultura Sustentável**. Ministério do Meio Ambiente. 1999.

ASSAD, M. L. L., ALMEIDA, J. **Agricultura e sustentabilidade: contextos, desafios e cenários**. Ciência & Ambiente, n. 29, 2004. p.15-30.

BARON, Sadi. Projeto Alto Uruguai: Transformando um Problema em Solução. 3º

Seminário Bioenergia: Desafios e Oportunidades de Negócios. São Paulo, 2011

BEN. **Balanço Energético Nacional 2012 – Ano Base 2011**. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Brasil 2012.

BEUX, S. **Avaliação do tratamento de efluente de abatedouro em digestores anaeróbios de duas fases**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

BOUALLAGUI H.; HAOUARI O.; TOUHAMI Y.; BEN CHEIKH R.; MAROUANI L.; HAMDI M. **Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste**. Process Biochemistry, p.1–6. 2004.

CHERNICHARO, C.A.L.; **Reatores Anaeróbios: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, 2ª Ed. v. 5, 380 p. Belo Horizonte. UFMG, 2007.

EHLERS, E. **Agricultura Sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**, 2 ed. Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária, 1999.

ESPINOZA, E. F.; PELAYO, O. C.; NAVARRO, C. J.; et al. **Anaerobic digestion of the vinasses from the fermentation of Agave tequilana Weber to tequila: The effect of pH, temperature and hydraulic retention time on the production of hydrogen and methane**. Biomass and Bioenergy, p 14 – 20. 2009

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.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese)**. R package version 1.1.2. 2013.

FORESTI, E. **Fundamentos do processo de digestão anaeróbia**. In.: Seminário Latino americano.3, 1994. Montevideo. Anais...Montevideo. p.97-110. 1994.

FUJIMOTO, R. K. **Roteiro para avaliação do desempenho de sistemas de captação de biogás em aterros sanitários: oportunidades de utilização como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007.

FULFORD, D. **Running a biogas program: a handbook**. London: Intermediate Technology Publications, 1988. Disponível em: <http://biogas.ifas.ufl.edu/ad_development/documents/Biogas_Programme.pdf>. Acesso em: 14 de Junho de 2013.

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, 140 p. 2009.

GREENPEACE; Conselho Europeu de Energias Renováveis (EREC). **Revolução energética: perspectivas para uma energia global sustentável**. São Paulo – SP. 2007.

HAMMER, J. M.; HAMMER JR., J. M. **Water and Wastewater Technology**. 3. ed. EnglewoodCliffs, Nova Jersey: Prentice-Hall, 1996.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Agricultura familiar. 2009. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1466>>. Acesso em: 14 de Junho de 2013.

ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R.; FARIA, O. L. V.; ISOLDI, L. Parâmetros de operação do reator UASB em um sistema combinado reator-UASB reator aeróbio. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 6. 2001.

KUCZMAN, O. **Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2007.

LEFF, E. **Saber Ambiental**. São Paulo: Vozes, 1998.

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

LIU, C.; YUAN, X.; ZENG, G.; et al. 2008. **Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste.**

Bioresource Technology, 99, 882 – 888. 2008.

MENDES, C. M. **Desenvolvimento Sustentável**
http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt2.html acessado em 01/10/12.

MENDIBURU, F. de. **Agricolae: Statistical procedures for agricultural research.** R package version 1.1-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. 2013.

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.

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

MOURA, J. P. **Estudo de casos das rotas tecnológicas para produção de biogás e da influencia da composição química de dejetos de matrizes suínas na qualidade do biogás gerada por biodigestor.** Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. 2005.

NEVES, V. L. V. **Construção de biodigestor para a produção de biogás a partir da fermentação de esterco bovino.** 2010. 56 f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade Tecnológica de Araçatuba, Araçatuba, 2010.

NOGUEIRA, L. A. **Biodigestão. A alternativa energética.** São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, A. B. M. **Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola.** 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, 2011.

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

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso.** 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores.** 2010. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. 2013.

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.

SANGA, G. A. **Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia**. 2004. Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas (Dissertação - Mestrado em Planejamento de sistemas Energéticos). Campinas. 2004.

SANTOS, Tânia M. B. e LUCAS JUNIOR, Jorge de. **Balanço energético em galpão de frangos de corte**. Eng. Agríc. [online]. jan./abr. 2004.

SCHMITT, F. WESCHENFELDER, S. VIDI, T. M.; Tratamento anaeróbio de **efluentes**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

SILVA, Fabio M. da, LUCAS JUNIOR, Jorge de, BENINCASA, Mario et al. **Desempenho de um aquecedor de água a biogás**. Eng. Agríc. [online]. set./dez. 2005

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

SOUZA, Cecília F., LUCAS JUNIOR, Jorge de e FERREIRA, Williams P. M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato: considerações sobre a partida** Eng. Agríc. [online]. maio/ago. 2005

SPEECE, R.E.. **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters**. Nashville, TN: Archae Press. 1996

TIETZ, C. M. **Influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite**. 2013. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso.(Tecnologia em Biocombustíveis) – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2013.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the united nations framework convention on climate change**. 1998.

VICENZI, Raul. **Biotecnologia de Alimentos**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/6703108/12/DIGESTAO-ANAEROBICA-fermentacao-metanogenica>. Acesso em: 02/10/2013