



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

WANDERSON GOMES DA SILVA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DA DIGESTÃO
ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO.**

**PALMAS - TO
2019**

WANDERSON GOMES DA SILVA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DA DIGESTÃO
ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Ambiental, como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS - TO
2019**

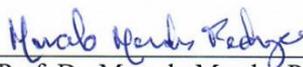
FOLHA DE APROVAÇÃO

WANDERSON GOMES DA SILVA

PRODUÇÃO DE METANO E ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA REMOÇÃO
DA MATÉRIA ORGÂNICA ORIUNDO DA CAMA DE FRANGO DO AVIÁRIO DA
FAZENDA BOM TEMPO – PALMEIRAS DO TOCANTINS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

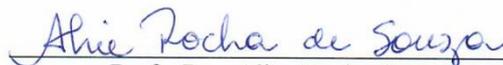
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins



Prof. Dr. Girlene Figueiredo Maciel
Universidade Federal do Tocantins



Profa. Dra. Alice Rocha de Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Aprovada em: 09 de maio de 2019
Local de defesa: sala 01 do bloco C
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S586p Silva, Wanderson Gomes da .
PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DA
DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO.. / Wanderson Gomes da
Silva. – Palmas, TO, 2019.
91 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
Profissional em Engenharia Ambiental, 2019.
Orientador: Marcelo Mendes Pedroza Pedroza
Coorientador: Emerson Guarda Guarda

1. Biogás e metano. 2. Reatores Anaeróbios. 3. Matéria Orgânica:
biomassa aviária. 4. Produção de energia elétrica.. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Ao Pai maior, o criador. Sempre presente em meus dias e em meu coração, me conduziu com segurança nas minhas decisões mais difíceis. Ele me fez entender da melhor forma, o verdadeiro motivo pelo qual passamos por esse mundo e o que realmente vale a pena lutar sem causar dor ou sofrimento alheio.

A minha avó, Joana Rodrigues da Silva, que sempre me inspirava com suas sábias palavras e me fazia perceber quão importante é correr atrás daquilo que acreditamos. Mesmo com seus 87 anos guarda em si a pureza de uma criança. Obrigado vó, por tudo que você representa em minha vida.

A meus pais, José da Guia e Josiana Gomes, por tudo que sou hoje; por ter acreditado em mim mesmo quando eu mesmo não acreditava; pelas noites de sono perdidas em que a minha ausência preenchia todo o espaço da nossa casa. Eles são o motivo de tudo, das minhas lutas, conquistas e vitórias. Sem eles eu jamais conseguiria dá um passo tão importante e tão significativo em minha vida, porque nos momentos em que pensei que estava só e em desistir, eles seguraram em minhas mãos e me conduziram ao caminho certo. A minha mãe Jô, em especial. Sem ela, nada disso faria sentido algum. Somente ela sabe extrair o melhor de mim. Obrigado mãe, por sempre me fazer sentir importante e capaz.

Não poderia esquecer-me dos meus queridos irmãos, Jerfison Gomes, Gerison Gomes, Joane Gomes e Gefran Gomes que sempre torceram pelo meu sucesso e estiveram sempre do meu lado nas minhas escolhas e nos momentos ruins. Por eles, eu superei vários medos e passei a olhar o mundo sob outro ponto de vista.

Ao meu ilustríssimo professor, Dr. Marcelo Mendes Pedroza, por acreditar em mim e nunca ter me deixado sozinho nos momentos de dúvidas, angustias e desespero. Um profissional e ser humano incomum no meio acadêmico, em que sua disposição e presteza me surpreendeu a cada dia, sendo sua paciência, compreensão e incentivo suas grandes marcas nessa caminhada. Deixou um legado de extrema relevância na pesquisa, com suas observações pontuais e enorme simplicidade, onde se colocou sempre à disposição desde o início do projeto. O seu título e extremo conhecimento não diminuía sua humildade, pelo contrario, engrandecia, e isso trouxe uma enorme contribuição para a pesquisa e para a minha vida pessoal. Obrigado professor, o senhor é o típico característico de profissional e pessoa que nos

espelha a sermos pessoas melhores nesse mundo e em acreditar que somos capazes de transformar tudo à nossa volta.

Não poderia esquecer-se dele: Edson Negreiros, proprietário da fazenda Bom tempo. Com sua paciência e atenção, acreditou no projeto, abrindo todas as portas para que o trabalho se concretizasse. Ele foi uma das pessoas que Deus colocou em nosso caminho para que tudo acontecesse. E em especial também, ao senhor Edvan gerente da granja de frangos da Fazenda Bom tempo, companheiro em todos os momentos, dedicando seu tempo e sua atenção em todos os momentos da pesquisa, não medindo esforços em sempre nos dá um retorno. A vocês: meu muitíssimo obrigado.

E, a todos os meus amigos, que não citarei nomes, mas, que de uma forma ou de outra, sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos me encorajando para eu continuar. Sem as críticas e sugestões, não teria crescido tanto e chegado tão longe.

DEDICATÓRIA

Todas as conquistas e vitórias até aqui alcançadas, dedico a eles: papai José da Guia e mamãe Josiana Gomes de Sousa e Silva. Por todos os momentos em que não me deixaram caminhar sozinho, pelo esforço e amor que nunca me deixaram faltar, por segurar em minhas mãos, sempre.

“O que é nascido de Deus vence o mundo. E esta é a vitória que vence o mundo: a nossa fé.”

João 5:4.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo caracterizar e quantificar a produção de biogás a partir da cama de frango a base de Capim Napier como substrato do processo de digestão anaeróbia, para a geração e aproveitamento de energia. O estudo foi realizado em uma planta de biogás, em escala real, localizada na Fazenda Bom Tempo (Tocantins). A planta de biogás utiliza quatro tanques de alimentação de substrato, seguidos de quatro reatores anaeróbios (com seus respectivos gasômetros) e uma lagoa de estabilização, utilizada para receber os efluentes de todos os reatores anaeróbios. O sistema possui um grupo gerador, responsável pela “queima” de biogás e produção de energia elétrica. A cama de frango foi analisada para a determinação química dos seus principais constituintes. Durante o monitoramento da planta em estudo, foram realizadas coletas de amostras na entrada e saída do sistema com o intuito de se verificar a eficiência de remoção de matéria orgânica no reator e as características químicas do biofertilizante produzido. A coleta de biogás foi realizada diretamente no gasômetro do reator, nas temperaturas ambientes (23, 28 e 34 °C). A produção e o consumo do biogás de todo o sistema foram monitorados no painel do motor-gerador. Foi determinado o perfil de temperatura dos gases de exaustão durante a combustão do biogás. Os valores de N, P, K obtidos durante a caracterização da cama de frango foram de, respectivamente, 2,92, 3,72 e 2,12 g/100g. A eficiência de remoção de DQO nos reatores foi de 51 %, representando uma carga de 79,8 kgDQO/dia. Os resultados dos teores de N, P, K nas amostras do biofertilizante foram de, respectivamente, 45, 33 e 88 g/kg. Os valores de concentrações de CH₄ e CO₂ no biogás, foram de, respectivamente, 52,5 e 47,5%. Foi verificada uma correlação positiva entre a temperatura interna do reator e a concentração de metano no biogás. A maior produção de energia ocorreu no mês de setembro (9280 kWhora/mês), e em fevereiro o sistema produziu a menor quantidade de energia no período estudado (4064 kWhora/mês). Nos meses de julho e setembro foram percebidos os maiores valores de demanda de energia na fazenda estudada (em torno de 2000 kWhora/mês), destacando os exaustores e ventiladores como os principais responsáveis pelo consumo de energia (48 % do total). Durante a queima de biogás, o motor-gerador libera gases com temperaturas superiores a 400 °C. A recuperação da energia térmica dos gases do sistema de exaustão representa uma outra alternativa para a geração de energia na fazenda estudada. A pesquisa abordou uma forma correta para o aproveitamento de dejetos de aviários, visando a geração de bioenergia. A tecnologia empregada nessa investigação científica pode contribuir com diminuição do custo de energia elétrica de propriedades rurais, proporcionando o desenvolvimento econômico e a melhoria do setor energético local.

Palavras – Chave: Reator Anaeróbio, Metano, Biofertilizante, Resíduos Sólidos Animal, Biogás, Aproveitamento Energético.

ABSTRACT

The objective of this work is to characterize and quantify the biogas production from poultry litter (Napier grass) as a substrate of the anaerobic digestion process for the generation and use of energy. The study was carried out in a biogas plant, in real scale, located at Bom Tempo Farm (Tocantins). The biogas plant uses four substrate feed tanks, followed by four anaerobic reactors (with their respective gas meters) and a stabilization pond, used to receive effluents from all anaerobic reactors. The system has a generator set, responsible for the "burning" of biogas and the production of electric energy. Poultry litter was analyzed for the chemical determination of its main constituents. During the monitoring of the plant under study, samples were collected at the entrance and exit of the system in order to verify the efficiency of removal of organic matter in the biodigester and the chemical characteristics of the biofertilizer produced. Biogas collection was carried out directly in the reactor gasometer at ambient temperatures (23, 28 and 34 °C). Biogas production and consumption of the entire system were monitored on the motor-generator panel. The temperature profile of the exhaust gases was determined during the combustion of the biogas. The results of N, P, K in the biofertilizer samples were, respectively, 45, 33 and 88 g / kg. The values of CH₄ and CO₂ concentrations in the biogas were, respectively, 52.5 and 47.5%. A positive correlation was observed between the internal temperature of the biodigester and the methane concentration in the biogas. The highest energy production occurred in September (9280 kWh / month), and in February the system produced the lowest amount of energy in the period studied (4064 kWh / month). In the months of July and September, the highest values of energy demand in the farm were observed (around 2000 kWh / month), with extractors and fans being the main responsible for energy consumption (48% of the total). During biogas burning, the engine-generator releases gases with temperatures above 400 °C. The recovery of the thermal energy of the exhaust gas represents another alternative for the generation of energy in the farm studied. The research addressed a correct way for the use of poultry manure, aiming the generation of bioenergy. The technology employed in this scientific research can contribute to a decrease in the cost of electric power of rural properties, providing the economic development and the improvement of the local energy sector.

Keywords: Anaerobic Reactor, Methane, Biofertilizer, Animal Solid Waste, Biogas, Energy Utilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 5.1: ESQUEMA DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	39
FIGURA 5.2: ESQUEMA DO SISTEMA EXPERIMENTAL ESTUDADO.....	40
FIGURA 5.3: REATORES ANAERÓBIOS COM GASÔMETROS INFLADOS COM BIOGÁS. A) MURETA COM CAIXA DE ACIONAMENTO DAS BOMBAS DE AGITAÇÃO B) GASÔMETROS INFLADOS COM BIOGÁS; C) BOMBAS USADAS PARA AGITAÇÃO DO SUBSTRATO NO INTERIOR DOS REATORES ANAERÓBIOS; D) TUBULAÇÃO DE AGITAÇÃO DO SUBSTRATO NOS REATORES ANAERÓBIOS. ..	42
FIGURA 5.4: CORTE TRANSVERSAL DOS REATORES ANAERÓBIOS E DO GASÔMETRO UTILIZADOS NA PLANTA DE BIOGÁS.	42
FIGURA 5.5: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE GASÔMETROS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.	444
FIGURA 5.6: ESQUEMA DOS PONTOS DE COLETA PARA ANÁLISE NO LABORATÓRIO.	ERRO!
INDICADOR NÃO DEFINIDO.3	
FIGURA 5.7: TRATAMENTO DOS EFLUENTES DOS REATORES ANAERÓBIOS: (A) LAGOA DE ARMAZENAMENTO DE MATERIAL LÍQUIDO EFLUENTE, (B) BIOFERTILIZANTE, (C) VISTA DOS QUATRO REATORES QUE ABASTECEM A LAGOA E (D) TUBULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DO EFLUENTE NA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO.	465
FIGURA 5.8. PAINEL ELETRÔNICO DE MONITORAMENTO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EXIBINDO O DISPLAY COM AS FUNÇÕES ATIVAS DE FUNCIONAMENTO DO GRUPO GERADOR.....	477
FIGURA 5.9: SISTEMA QUEIMADOR DE BIOGÁS: (A) MOTOR GRUPO GERADOR OTTO CICLO DE QUEIMA DE BIOGÁS; B) GERADOR/TURBINA ACOPLADO AO MOTOR DE BIOGÁS.	487
FIGURA 5.10: SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: (A) CASA DE MÁQUINA DO SISTEMA, (B) TRANSFORMADOR ELÉTRICO DE TRANSMISSÃO DA ENERGIA, (C) TUBULAÇÃO DE CONDUÇÃO DO BIOGÁS, (D) VISTA FRONTAL DA CASA DE MÁQUINA E (E) MOTORES COM AS GRADES DE PROTEÇÃO.	488
FIGURA 5.11: DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE TEMPERATURA DOS GASES DE EXAUSTÃO DE QUEIMA.....	49
FIGURA 6.1: RESULTADOS COMPARATIVOS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM DOIS TIPOS DISTINTOS DE CAMA DE FRANGO.....	566
FIGURA 6.2: CONCENTRAÇÕES DE CH ₄ E CO ₂ OBSERVADAS NO REATOR ANAERÓBIO ALIMENTADO COM O INÓCULO CN.....	599

FIGURA 6.3: CONCENTRAÇÕES DE CH ₄ E CO ₂ OBSERVADAS NO REATOR ANAERÓBIO ALIMENTADO COM O INÓCULO CZ.	599
FIGURA 6.4: DEMONSTRATIVO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DOIS PERÍODOS DO ANO.....	63
FIGURA 6.5: MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS DE GASES NO SISTEMA DE EXAUSTÃO DO MOTOR GRUPO GERADOR DA PLANTA DE BIOGÁS EM ESTUDO.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 6.6: A) AFERIÇÃO DA TEMPERATURA DO EXAUSTOR (ESCAPAMENTO DO MOTOR); B) PROCESSO CORROSIVO NA TUBULAÇÃO DO ESCAPAMENTO DE GASES PROVENIENTES DA QUEIMA DE BIOGÁS.	73
FIGURA 6.7: CORROSÃO POR GÁS SULFÍDRICO DE ALGUNS COMPONENTES DO MOTOR DE BIOGÁS.	72
FIGURA 6.8: CONSUMO MÉDIO MENSAL DE ENERGIA KW DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DO GALPÃO E PLANTA DE BIOGÁS NO VERÃO.....	663
FIGURA 6.9: CORROSÃO POR GÁS SULFICRICO DE ALGUNS COMPONENTES DO MOTOR.....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1: PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM BASE EM TRÊS TIPOS DE CAMA DE FRANGO.	25
TABELA 4.2: CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO E TEOR DE MATÉRIA SECA (MS) EM CAMAS COM VÁRIOS NÍVEIS DE REUTILIZAÇÃO.....	27
TABELA 4.3: BIOMASSA COMPARATIVA DE DIFERENTES ANIMAIS.....	30
TABELA 4.4: PARÂMETROS QUÍMICOS DA COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS ESTERCOS DE SUÍNOS, BOVINOS E FRANGOS.....	344
TABELA 4.5: COMPOSIÇÃO DA CAMA DE FRANGO	345
TABELA 5.1: PARÂMETROS E MÉTODOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES DE AMOSTRAS.	454
TABELA 5.2: CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO CG / TCD / FID UTILIZADO NA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO GÁS.....	476
TABELA 6.1: CARACTERIZAÇÃO DO PERCENTUAL DE NPK NA CAMA DE FRANGO (MATÉRIA SECA) EM TRÊS CICLOS.....	50
TABELA 6.2: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE MACRONUTRIENTES, EM G/KG, DOS EFLUENTES DOS REATORES INOCULADOS COM CAMAS DE FRANGO A BASE DE DOIS SUBSTRATOS: (A) CAPIM NAPIER (CN) E (B) CASCA DE ARROZ (CZ).	52
TABELA 6.3: PERFIL DIÁRIO DE TEMPERATURAS NAS PARTES INTERNA E EXTERNA DOS DIGESTORES ANAERÓBIOS ESTUDADOS NESSA PESQUISA.	55
TABELA 6.4: CONCENTRAÇÕES DE METANO E GÁS CARBÔNICO NO BIOGÁS PROVENIENTE DOS REATORES ANAERÓBIOS ESTUDADOS NESSA PESQUISA EMPREGANDO DOIS TIPOS DE INÓCULOS.	58
TABELA 6.5: VALORES DE CONVERSÃO ENERGÉTICA PARA DIFERENTES TIPOS DE DEJETOS.	622
TABELA 6.6: : CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE MACRONUTRIENTES EM AMOSTRAS AFLUENTE E EFLUENTE DOS REATORES ANAERÓBIOS EMPREGANDO DOIS TIPOS DE SUBSTRATO (CAPIM NAPIER E CASCA DE ARROZ).	68
TABELA 6.7 CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE MICRONUTRIENTES EM AMOSTRAS AFLUENTE E EFLUENTE DOS REATORES ANAERÓBIOS EMPREGANDO DOIS TIPOS DE SUBSTRATO (CAPIM NAPIER E CASCA DE ARROZ).	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANP: Agência Nacional de Petróleo.

CONAMA: Conselho Nacional de Meio ambiente.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio.

GEE: Gases do Efeito Estufa.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFTO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins.

INEE: Instituto Nacional de Eficiência Energética.

NA: Núcleo A.

NB: Núcleo B.

NC: Núcleo C.

TBN: Total Base Number.

TAN: Total Ácido Number.

UBABEF: União Brasileira de Avicultura.

USDA: United States Department of Agriculture.

USEPA: Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

PIN: Período de Inverno.

P₁: Ponto de entrada.

P₂: Ponto de saída.

FBT: Fazenda Bom Tempo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 JUSTIFICATIVA.....	21
3 OBJETIVOS.....	23
3.1 OBJETIVO GERAL.....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
4.1 CAMA DE FRANGO: CARACTERÍSTICAS E APROVEITAMENTO VIA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	24
4.1.1 Subprodutos da cama de frango.....	25
4.2 DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE FRANGO.....	27
4.3 PROCESSO PARA CONVERSÃO DA ENERGIA DA BIOMASSA.....	28
4.3.1 Digestão anaeróbia da cama de frango.....	29
4.4 USO DA CAMA DE FRANGO COMO FERTILIZANTE NO SOLO.....	31
4.5 POLUIÇÃO POR NUTRIENTES.....	33
4.6 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	35
4.7 CALOR NO SISTEMA DE EXAUSTÃO DO GRUPO GERADOR.....	36
4.8 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA PARTÍCULA SÓLIDA DA CAMA DE FRANGO.....	37
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
5.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DO SISTEMA EM ESTUDO.....	41
5.2.1 Preparação do material de substrato.....	42
5.2.2 Sistema de Digestão Anaeróbia.....	42
5.3 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	44
5.3.1 Análise e disposição final do biofertilizante produzido no sistema.....	46
5.4 COLETA E ANÁLISE DE BIOGÁS.....	46
5.5 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA.....	47
5.6 TEMPERATURA DOS GASES DE EXAUSTÃO AO LONGO DA OPERAÇÃO DE QUEIMA NO GRUPO GERADOR.....	49
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE FRANGO IN NATURA.	50
6.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	55
6.4 CONSUMO ENERGÉTICO DA FAZENDA BOM TEMPO.	65
6.5 CARACTERIZAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE PRODUZIDO NO SISTEMA ESTUDADO.....	68
6.7 EFEITOS DOS CONSTITUINTES DO BIOGÁS NOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.	73
6.8 PRINCIPAIS PROBLEMAS NA PLANTA DE BIOGÁS E A MANUTENÇÃO DOS REATORES.	756
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	777
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

1 INTRODUÇÃO.

Todas as grandes sociedades desenvolvidas têm sua economia baseada em uma fonte de energia de origem fóssil que, até pouco tempo era considerada quase inesgotável, baseada principalmente em fontes não renováveis, tendo como principal matéria-prima o petróleo (SULEYMAN SAKAR et al., 2014).

No entanto, a necessidade de atender a um alto consumo energético tem mostrado que alguns dos recursos naturais são finitos e que pelo alto consumo podem se esgotar. Por esse motivo, a busca constante por fontes alternativas de energia naturais renováveis tem se intensificado (FASOLIN et al., 2014).

Durante o último século, a população mundial se fez dependente significativamente de energia de fontes não renováveis, os combustíveis fósseis, os quais todas as atividades de exploração e consumo desse tipo de energia contribuíram intensivamente para o desequilíbrio do planeta, interferindo diretamente no aquecimento global e nas condições de sobrevivência do homem na Terra. Estes combustíveis, provenientes do petróleo, em vários momentos teve seu abastecimento comprometido, gerando altos preços e enormes crises políticas e econômicas (FERREIRA JR. e RODRIGUES, 2015).

Nesse sentido é crescente a busca por geração de energia limpa, pois vem de fontes renováveis e não libera substâncias poluentes ao meio ambiente durante seu processo de geração. As pesquisas sobre sustentabilidade têm tido cada vez mais sucesso e a preocupação com a emissão de gases e redução da utilização de recursos hídricos, bem como o destino adequado aos resíduos gerados vêm aumentando (GUERRA et al., 2015).

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna derivadas de hidrelétricas, 2,5% de centrais de geração que utilizam o gás natural, 2,50% utilizam o petróleo como fonte de energia, 8,2% utilizam a biomassa como fonte de energia, 2,50% é vinda de usinas nucleares, 4,1% utilizam o carvão mineral e 0,13% da matriz energética nacional é oriunda de usinas eólicas. As fontes renováveis representam 80,4% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. Do lado do consumo final, houve uma evolução de 0,9 %, com destaque para o setor agropecuário, que

apresentou um crescimento de 1,7% em relação ao ano de 2016 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

Em meio às alternativas energéticas, a biomassa destaca-se no Brasil pelo seu enorme potencial de aproveitamento residual para a produção de energia “limpa” (TOLMASQUIM, 2016). As condições climáticas aliadas aos diferentes tipos de atividades econômicas regionais favorecem a produção de matéria prima de modo a satisfazer consideráveis níveis de mercado, além de reconhecida pela comunidade científica da área energética como uma das mais relevantes novas formas de energia para produção de eletricidade tendendo a um crescente uso. Nesse sentido, torna-se necessária a identificação das espécies convenientes da biomassa, que possam proporcionar opções para substituir as fontes convencionais de energia provenientes de combustíveis fósseis (VEIGA, 2016).

Dessa forma, esse é um dos principais fatores que justifica a importância na pesquisa referente à produção de biogás a partir da biomassa sólida (excreta de frango), uma vez que é importante pensar que somente no Brasil em 2015 foram produzidos 10,2 bilhões de pintos de corte, que resultaram a produção de 13,146 mil/ton de carne (ABPA, 2016). Conseqüentemente, nesse mesmo período, se considerar a produção média de dejetos (cama de frango) de 2 toneladas para cada 1000 aves foram produzidos 20,2 milhões de cama de frango (AVISITE, 2014).

Os dejetos da avicultura são denominados cama de frango, sendo um material utilizado para revestir o piso de uma instalação avícola, com a finalidade de evitar doenças às aves em confinamento, incorporar as excretas (fezes e urinas), absorver umidade e contribuir para a redução das oscilações de temperatura no galpão (HIJAZI et al. 2016). O material absorvente pode ser constituído de vários componentes vegetais (maravalha, casca de amendoim, palha de arroz, sabugos) que finalizando cada ciclo de produção torna-se bastante heterogêneo devido ao tipo de ração, a idade e tipos de aves, a quantidade de penas e excretas, o número de ciclos criados, o tempo de permanência dos ciclos, a quantidade de ciclos que utilizam a mesma cama e a forma de armazenamento (NOGUEIRA, 2015).

Com efeito, a cama de frango possui alto potencial poluidor comparado ao do dejetos humano, sendo que a água residual produzida pela avicultura tem valor de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) superior em até oito vezes comparado a do esgoto urbano (ZHANG et al., 2016).

Estudos realizados por Jensen e Govindan (2014) demonstraram que, a produção de energia através do uso de dejetos, é de enorme relevância para o planeta, pois reduz quantidade de metano lançado na atmosfera, elimina grandes quantidades de resíduos

orgânicos e metais pesados que gera contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas devido a elevadas concentrações de nitrogênio e carbono orgânico presente no material, além da proliferação de microrganismos patogênicos associados à transmissão de inúmeras doenças, provocando a degradação dos ecossistemas aquáticos e gerando riscos à saúde humana (SILVA, 2016).

Neste sentido, a cama de frango tem considerável potencial energético que pode ser disponibilizado na forma de biogás. Assim, muitos estudos surgiram no início do século para avaliar a biodigestão anaeróbia de dejetos de aves com a finalidade de otimizar a produção de biogás (SULEYMAN SAKAR et al., 2014). A biodigestão ou digestão anaeróbia se mostra como uma boa alternativa para o tratamento deste resíduo. Este é um processo pelo qual bactérias anaeróbias, através de fermentação ocorrida em reatores, degradam a matéria orgânica, tendo como subproduto o biogás, em basicamente três estágios com diferentes grupos de microrganismos (BABAEE et al., 2013)

Gervasoni e Cantão (2011) comentam que, a biodigestão anaeróbia oferece várias vantagens como conversão de resíduos orgânicos em gás metano, o qual pode ser usado diretamente como fonte energética; redução da emissão de amônia; controle de odores e o efluente da digestão anaeróbia, que pode ser utilizado como biofertilizante nas plantações, por ser fonte de vários minerais, além de contribuir para a rápida amortização dos custos da tecnologia instalada. Além destas, a contribuição para a mitigação das emissões de gases estufa como o CH₄; a conservação de áreas destinadas a aterro de resíduos, diminuindo o acúmulo de metais no solo, além da lixiviação dos mesmos para o lençol freático (SANTOS e NARDI JUNIOR, 2013).

Este trabalho, apresenta um estudo sobre a produção de metano e energia elétrica através do processo de biodigestão anaeróbia empregando como biomassa a cama de frango, em escala real. A abrangência desse estudo se restringe à área de avicultura representada pela região Norte do Estado do Tocantins, que concentra a maior parte do confinamento de aves da região.

2 JUSTIFICATIVA.

O uso coerente e racional da energia que um país faz é um dos fatores determinantes para o seu desenvolvimento, mas que ao longo dos anos enveredaram-se pelo uso de fontes de energia não renováveis e poluentes que agridem o Planeta (DRESG et al., 2012). Atualmente, muitas tecnologias existentes surgiram da exploração das fontes de combustíveis fósseis (petróleo). Seu uso desenfreado e abusivo fez com que as reservas dessas fontes de energia enfraquecessem em passo acelerado, acentuando cada vez mais o risco ao modelo e um eventual colapso nas alterações climáticas e má gestão nas políticas da matriz energética uma vez que, devido à queima do petróleo de forma descontrolada, liberaram-se grandes quantidades de poluentes para a atmosfera do planeta, provocando o efeito estufa que ocasiona o aquecimento da superfície terrestre (LOBATO, 2011).

Em 2014, a produção de aves de corte foi de 6.148,13 milhões de cabeças e em 2017 alcançou a marca dos 7.368,60 milhões, um crescimento de 87,32% em três anos que transformou o negócio em um grande empreendimento (AVISITE, 2014).

Com a atual produção avícola no Brasil, produzem-se grandes quantidades de cama de frango, material que, atualmente, é usado como fertilizante no setor agrícola (KONZEN, 2003). No entanto, há uma preocupação por parte de ambientalistas de que o uso descontrolado da cama de frango como fertilizante pode ocasionar poluição do meio ambiente rural com a liberação de odores e gases como o metano e o dióxido de carbono (NEITZKE, 2010).

Santos (2001) e Ferrarez (2009) mostraram a viabilidade técnica e econômica do uso da cama de frango no processo de digestão anaeróbia bem como os impactos ambientais para algumas aplicações específicas. Ainda, Ferrarez (2009) fez estudos de caso coletando dados da cadeia produtiva de frango de corte na Zona da Mata em Minas Gerais no qual viabiliza a utilização do biogás para substituir o gás GLP para o aquecimento de água e cogeração de energia para o sistema elétrico de toda a planta. Por outro lado, Santos (2001), utilizou dados da produção avícola da região de Jaboticabal em São Paulo para verificar as vantagens técnicas e econômicas na substituição do gás GLP pelo biogás na geração de energia térmica através de campânulas.

Nesse sentido, a geração do biogás usando cama de frango traz aos produtores uma opção energética renovável de ótimo rendimento, custeando os gastos em energia elétrica externa. No processo produtivo da Fazenda Bom Tempo (FBT), local de estudo dessa pesquisa, são empregados diversos equipamentos elétricos, podendo citar os climatizadores,

aquecedores térmicos, alimentadores de ração, sistema de iluminação, sistema de nebulização e fornecimento de água. De acordo com informações fornecidas pelo proprietário, após a implantação dos reatores anaeróbios na Fazenda, o sistema atingiu a autossuficiência energética, sendo que a produção de energia em cada mês superou a demanda mensal de energia. Seu uso nas propriedades caracteriza-se num grande potencial energético no que diz respeito a pequenas e médias propriedades rurais.

Com o objetivo de contribuir com as pesquisas já existentes, o presente trabalho busca associar a produção de biogás com a tecnologia da digestão anaeróbia, usando uma biomassa residual (cama de frango) para a geração de energia elétrica.

3 OBJETIVOS.

3.1 Objetivo Geral.

Este trabalho tem por objetivo geral caracterizar e quantificar a produção de biogás e biofertilizante a partir da cama de frango como substrato do processo de digestão anaeróbia, visando aproveitamento de energia e biofertilizante produzido.

3.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar a biomassa (cama de frango) *in natura*;
- Avaliar a remoção de matéria orgânica no sistema de digestão anaeróbia;
- Quantificar a vazão de biogás nos reatores anaeróbios em função da carga orgânica;
- Avaliar o estudo quantitativo da geração de energia elétrica através da queima direta do biocombustível e o consumo de energia para todo o sistema estudado;
- Caracterizar o biofertilizante produzido no sistema;
- Estudar a possibilidade do aproveitamento energético do calor produzido no sistema de exaustão do grupo gerador.

4 REVISÃO DE LITERATURA.

Neste capítulo é apresentado o levantamento bibliográfico acerca da composição e reuso da cama de frango e da principal tecnologia dos reatores anaeróbios para a produção de biogás, trazendo os principais fatores físicos e biológicos que influenciam diretamente nesse processo.

4.1 Cama de frango: características e aproveitamento via digestão anaeróbia.

O Brasil é o terceiro país de maior produção de frango de corte no mundo, sendo o maior exportador. Entre 1982 e 2010 a pesquisa científica foi responsável por 20,8% do progresso técnico do setor. Nos anos 70, um frango consumia 2,2 kg de ração durante 54 dias para atingir 1,8 kg no abate, porém atualmente, cada frango abatido no Brasil consome em média 1,8 kg de ração durante 43 dias para atingir 2,5 kg (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2016). Nesse contexto, atualmente as tecnologias envolvidas no processo estão bem desenvolvidas e implicam alto consumo de energia (FERREIRA JR. e RODRIGUES, 2015).

Segundo Nascimento (2011), a produção de cama de frango é definida por diversos parâmetros zootécnicos da avicultura: características dos módulos de confinamento, manejo dos ciclos de produção, sistema de iluminação, sistema de climatização, sistema de fornecimento de água e sistema de distribuição de ração. Todos esses fatores contribuem para a produção final da cama de frango e a quantidade de umidade nela existente.

As energias renováveis que vêm sendo utilizadas são a eólica, solar, hídrica e biomassa. A que possui maior destaque é a biomassa, devido à maior disponibilidade e por esta estar entre as mais sustentáveis (NEVES, 2010). Os resíduos oriundos de aviários têm características similares, devido serem muito concentrados e ricos em nutrientes, porém possuem diferenças sensíveis no nível de teor de sólidos, matéria orgânica, nutrientes e também no nível de facilidade de degradação (CARNEIRO, 2009).

A cama de frango é todo material distribuído sobre os galpões, podendo ser de madeira, serragem, trigo, palha, casca de amendoim, casca de arroz, entre outros, que protegem os frangos de doenças (SANTOS 2001). Ela constitui em uma mistura de excretas, penas, resto de ração, tornando-a um composto orgânico rico em nitrogênio. Devido ao aumento no custo dos produtores, eles reutilizam esta cama de 8 a 12 ciclos de cria, no final

do ciclo, pode-se utilizar como substrato no processo de biodigestão anaeróbia (SAGULA, 2012). Na Tabela 4.1, verifica-se o potencial de produção de biogás quando se faz o uso de diferentes substratos de cama de frango em um e dois ciclos de confinamento de aves.

Tabela 4.1: Produção de biogás com base em três tipos de cama de frango.

Ciclo	Composição Da Cama	Produção De Biogás (m ³ /kg ST)	Produção de Cama (kg/ST)	Produção de Biogás (m ³)
1 ^o	N	0,24	1420	354
	NM	0,20	1420	297
	M	0,17	1420	243
	Média	0,21	1420	300
2 ^o	N	0,27	1197	324
	NM	0,24	1197	295
	M	0,22	1197	275
	Média	0,24	1197	293

N =Cama de Capim Napier; NM= Cama de capim Napier Maravalha; M= Capim Maravalha; ST = Sólidos Totais.

Fonte: Santos e Lucas (2001).

Com efeito, diversos fatores podem influenciar a composição física e química da cama de frango, como o número de ciclos criados na mesma cama e o tipo e a quantidade de material que é utilizado como substrato (MARÍN, 2011). Além desses fatores, cita Paganini (2004), que também a idade de abate dos animais, a densidade de confinamento, a conversão alimentar, o tipo de alimento dos frangos, a umidade do material absorvente, o tipo de piso e as condições climáticas ocorridas durante a criação.

Devido às altas concentrações de nitrogênio e fósforo, quando utilizada no solo, pode contaminar o solo e também as águas subterrâneas. O processo de biodigestão anaeróbia é uma alternativa de obtenção de energia elétrica de baixo custo, diminuindo assim o impacto ambiental e reciclando os seus resíduos (HAHN, 2004).

4.1.1 Subprodutos da cama de frango.

Os subprodutos da cama de frango são materiais colocados no aviário antes do alojamento para absorver a umidade do esterco das aves durante o seu ciclo. Essa umidade é influenciada pelo tipo de material absorvente. Por exemplo, com o uso de serragem de pinus e densidade de 10,16 e 22 aves/m², Santos (2001) obteve uma média de 33,72% de umidade para o primeiro ciclo de produção. No segundo ciclo, o mesmo autor obteve uma média de 29,26% de umidade.

Para Neitzke (2010), são vários os materiais absorventes e geralmente derivados de subprodutos industriais ou restos de cultivos agrícolas. Assim, os principais materiais absorventes usados são: maravalha, resíduos de beneficiamento de madeira, sabugo de milho triturado, casca de arroz e palhadas de cultivos em geral (GRIMES, 2004).

A densidade populacional a ser adotada é determinada por uma série de fatores como: região onde está localizada a granja, linhagem das aves, disponibilidade de equipamentos, época do ano e duração do ciclo (DAMASCENO et al., 2010). É usual a utilização da densidade populacional de até 40 aves/m² nos primeiros 21 dias de idade, com posterior transferência de alojamento e redução na densidade (CASSUCE, 2011). Ferrarez (2009) utilizou em sua análise uma densidade média de 12,46 aves/m², considerando 23% de umidade na cama de frango *in natura*. Calculou-se um valor médio de 2,04 kg de matéria seca (cama de frango) por ave.

Para se determinar o potencial de geração de resíduos de aviários é necessário determinar o coeficiente de resíduo. Esse valor é calculado pela quantidade total de resíduos secos gerados pelas aves nos períodos de alojamento, dividido pelo seu peso, como é apresentado na equação (1) (FERRAREZ, 2009).

$$C_R = \frac{\text{Kg cama}}{P_s} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

CR: Coeficiente de resíduo;

Kg cama: Quantidade de cama de frango;

PS: Peso das aves vivas.

Santos (2001) utilizou em seu experimento 0,442 kg de serragem seca por ave alojada com densidade de 16 aves/m² em cama nova. Ao final do ciclo de alojamento em teste (42 dias de alojamento) produziu-se um total médio de 1,37 kg matéria seca de cama de frango por ave, sendo que, desse total, 0,93 kg (detritos) foram acrescentados pelas aves e também que, para cada quilograma de frango vivo produzido, foram gerados em média 0,59 kg de matéria seca de resíduos. A Tabela 4.2 mostra os percentuais de N, P, K em três ciclos de reaproveitamento da cama de frango.

Esses materiais absorventes são reaproveitados inúmeras vezes em vários ciclos observando as questões sanitárias, ou seja, que os substratos sejam submetidos a tratamentos para inativação ou redução de microrganismos patogênicos (TESSARO, 2011).

Tabela 4.2: Concentração média de nitrogênio, fósforo e potássio e teor de matéria seca (MS) em cama de frango com vários níveis de reutilização.

Resíduo: Cama de Ave	Nitrogênio (N)	Fósforo (P ₂ O ₅) %	Potássio (K ₂ O)	Matéria Seca %
Ciclo 1	3,0	3,0	2,0	70%
Ciclo 2	3,2	3,5	2,5	70%
Ciclo 6	3,5	4,0	3,0	70%

Fonte: Adaptado, Kozen (2001), Santos (2005) e Fukayama (2008).

As principais razões para a reutilização da cama de frango são: custo para a aquisição dos substratos (maravalha, casca de arroz, sabugo de milho moído entre outros), custo com mão de obra para a retirada da cama do galpão, escassez de materiais substratos em regiões de grande concentração avícola e tentativa de diminuir os impactos ambientais no reuso da cama de frango, como fertilizante para o solo (PAGANINI, 2004).

4.2 Decomposição da cama de frango.

Atualmente o principal destino para a cama de frango é o uso como fertilizante do solo. Essa prática é desejável economicamente, pois a cama representa um recurso bastante usado nas granjas avícolas e possui elevada concentração de nutrientes (TESSARO, 2011).

Para o uso energético da cama de frango, é necessário considerar que ela está em constante processo de decomposição (fermentação), situação que influencia a energia contida na biomassa (LONG, WANG e JIA, 2013).

O processo de decomposição ocorre quando a mesma apresenta alto teor de umidade (em virtude de períodos chuvosos, pela utilização do sistema de nebulização e pela defecação das aves), pois está exposta a condições favoráveis para a proliferação dos microrganismos, mesmo estando dentro do aviário e havendo aves alojadas nele (MAO, ZOU, CHEN, DU. e ZUO, 2015). No período em que a cama de frango se encontra no aviário, a mesma sofre uma lenta decomposição anaeróbia. Para os avicultores essa decomposição é conhecida como fermentação e é perceptível pela liberação do gás amônia. Neste processo, a cama de frango sofre alterações físicas, químicas e biológicas pelas inúmeras transformações desencadeadas pelos microrganismos (TESSARO, 2011).

4.3 Processo para conversão da energia da biomassa.

A conversão energética da biomassa para a geração de calor ou energia elétrica, utiliza a conversão bioquímica através da digestão anaeróbia da matéria orgânica (XAVIER, LUCAS e JÚNIOR, 2010). A cama de frango *in natura* apresenta teores de umidade que devem ser descontados ao se quantificar a mesma para o uso energético (AMORIM, LUCAS JÚNIOR e RESENDE, 2004). Para quantificar o total de cama de frango deve-se calcular os teores de sólidos totais, e descontar a umidade existente na mesma (CONVERTI, OLIVEIRA, TORRES, LODI e ZILLI, 2009)

Os teores de sólidos em percentual são calculados pelas equações (2) e (3) (COSTA, 2009).

$$S_t = 100 - U_a \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

S_t : é o teor de sólidos totais em %.

U_a : o teor de umidade da amostra em %.

O teor de umidade da amostra é representado por:

$$U_a = \left[\frac{P_u - P_s}{P_u} \right] \cdot 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

P_u : representa o peso da cama de frango com umidade em g;

P_s : peso da cama de frango seca em g.

Não havendo ainda uma política industrial internacional voltada para os produtores de biogás que usam a tecnologia da biodigestão anaeróbia (TANSEL e SURITA, 2016), de dejetos animal, o protocolo de Kyoto impulsionou a sua implantação em meados de 2007, o que possibilitou ao produtor a geração de créditos de carbono por intermédio da queima do biogás (EBA, 2018). O aproveitamento energético do biogás também promove a redução de emissão GEEs. O potencial de aquecimento global (PAG) do CH_4 é 21 vezes superior ao CO_2 (IMAFLOA, 2015), assim, a combustão do CH_4 para produzir energia pode reduzir a tonelada de CO_2 lançado para a atmosfera (IPCC, 2013). Desse modo, o sequestro de CH_4 realizado no processo da biomassa residual seria de 16,6 milhões de toneladas equivalentes de CO_2 (PEREIRA, 2005). Comparativamente a outros combustíveis fósseis, a queima do metano gera menos poluentes atmosféricos por unidade de energia gerada, por esse fato, é caracterizado como um combustível limpo (STAMBASKY, 2017).

Sendo assim, é possível adquirir certificados de redução de emissão de GEEs (RCEs), comercializados de acordo com os critérios do Protocolo de Kyoto. Uma tonelada de dióxido de carbono (CO_2) corresponde a um crédito de carbono (GARCILASSO et al., 2008b).

Utilizando a tecnologia de biodigestão anaeróbia de dejetos de frangos o produtor estará contribuindo com o meio ambiente e ganhando créditos (crédito de carbono) dos quais podem ser negociados no mercado internacional, conforme o protocolo de Kyoto (PEREIRA, 2005).

4.3.1 Digestão anaeróbia da cama de frango.

A digestão anaeróbia é um processo de decomposição de matéria orgânica por bactérias em um meio onde não há a presença de oxigênio gasoso (SILVA, 2016). O processo de digestão anaeróbia é dividido em processos que, juntos, resultam na decomposição da matéria orgânica. (MATHERI, SEODIGENG e NGILA, 2016). Na primeira fase, liquefação, o material orgânico complexo é transformado em compostos dissolvidos (matéria orgânica volátil). A segunda fase do processo é dividida em duas partes: fermentação ácida e fermentação acetogênica. (SCHNURER e JARVIS, 2010). Nessa segunda fase, os produtos da subfase anterior são transformados em acetato, hidrogênio e monóxido de carbono. Na terceira e última fase (metanogênese), os produtos da acetogênese são transformados em maior proporção em metano (GIZ, 2010).

O processo anaeróbio é descrito da seguinte forma: bactérias utilizam os componentes químicos, tais como dióxido de carbono (CO_2), nitratos (NO_3^-) e sulfatos (SO_4^{2-}) para resultar o produto final da oxidação da matéria orgânica (SILVA, 2009). Tal processo é composto por dois estágios. No primeiro, atuam as bactérias anaeróbias e facultativas, bactérias que transformam compostos orgânicos de carboidratos, lipídios e proteínas em ácidos voláteis. No segundo, atuam as bactérias estritamente anaeróbias que convertem os ácidos voláteis em gases como o metano e o gás carbônico (SUN et al., 2015).

A digestão anaeróbia requer um pH estável em torno da neutralidade (6,5 a 7,5) que pode ser mantido através das espécies carbônicas do sistema e valores de temperatura entre 38 e 45°C. A propriedade de tamponamento do pH, na degradação anaeróbia, vem naturalmente da produção do CO_2 e da liberação de íons carregados positivamente, da decomposição de proteínas e outros substratos, para formar alcalinidade do íon bicarbonato (BERTOLINO 2007). As outras espécies do sistema carbônico (dióxido de carbono e carbonato) também interferem nos valores de pH do meio. De acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), o

sistema carbônico além de garantir o pH adequado e estável, influi também sobre a composição do biogás gerado, sobre o equilíbrio sólido-líquido com respeito à precipitação ou dissolução de CaCO_3 e nos fenômenos associados à formação de incrustação e corrosão. A instabilidade de um reator anaeróbio, pode ser gerada pelo acréscimo da concentração de ácidos voláteis, o que implicaria numa redução de pH. A alcalinidade presente deve ser suficiente para a neutralização dos Ácidos Voláteis Totais (AVT) formados.

As biomassas utilizadas podem derivar de resíduos vegetais e animais, porém esse processo pode sofrer variações na temperatura, na acidez e no tempo em função do tipo da matéria usada como biomassa (COLUNA, 2016). Há diferenciação no potencial de geração de biogás e energia elétrica (GEHRING, 2014) com o processo de digestão anaeróbia para diferentes tipos de resíduos animais (Tabela 4.3). Verifica-se também que os resíduos de aves de corte no estado sólido apresentam maior produção de biogás em m^3/kg na base seca, aproximadamente $0,36 \text{ m}^3/\text{kg}$; em segundo lugar, os resíduos de suínos no estado líquido apresentam $0,35 \text{ m}^3/\text{kg}$ e, em terceiro, encontram-se os resíduos de gado com $0,30 \text{ m}^3/\text{kg}$ (VUKOBRATOVIC, SLJIVAC e NIKOLOVSKI, 2009).

Segundo Santos (2001), utilizando três tipos de cama em dois ciclos de produção, produziu-se no primeiro ciclo (ciclo) uma quantidade média de biogás de $0,21 \text{ m}^3/\text{kg}$ de sólidos totais. Para o segundo ciclo, validou $0,24 \text{ m}^3/\text{kg}$. No entanto, Ferrarez (2009), apresentou uma produção de biogás de $0,54 \text{ m}^3/\text{kg}$ de matéria seca (cama de frango).

Tabela 4.3: Biomassa comparativa de diferentes animais.

Tipo De Animal	Tipo De Resíduo	Quantidade (kg/dia)	Matéria Seca (kg/dia)	Biogás (m^3/dia)	Biogás (m^3/Kg)	Energia (Kwh/ano)
Bovino	Líquido	52,0	5,40	1,60	0,30	3400,00
	Sólido	32,0	5,60	1,60	0,29	3400,00
Suíno	Líquido	16,70	1,30	0,46	0,35	970,00
	Sólido	9,90	2,90	0,46	0,16	970,00
Ave	Sólido	0,66	0,05	0,02	0,36	36,00

Fonte: Adaptado, Vukobratovic e Sljivac (2009).

O biogás é um dos subprodutos da mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica (VAN FOREEST et al., 2012).

A produção de biogás é um processo biológico e estritamente anaeróbio, na ausência de oxigênio molecular, onde grupos específicos de diferentes tipos de microrganismos interagem simultaneamente para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando, principalmente, nos gases metano e dióxido de carbono (BRASIL, 2015).

Para o dimensionamento dos reatores, é importante conhecer o potencial de biomassa disponível no aviário para a geração de biogás (XAVIER e SILVA, 2014), a quantidade de biomassa e líquidos, a distribuição da produção de biogás no tempo e a necessidade de biogás para o suprimento da demanda térmica e elétrica dos aviários. Esses são os principais fatores a serem conhecidos para o dimensionamento do sistema de digestão anaeróbia. Conhecendo-se a quantidade de biomassa disponível e a necessidade de biogás para a geração de energia, podem evitar problemas no sistema (MALAGGI e SOUZA, 2014). A mistura a ser utilizada nos reatores e o tempo do processo definem o tamanho dos reatores, a quantidade e a estratégia de operação. A equação (4) para o preparo dos substratos (MAO e ZOU, 2015).

$$WS = E_u + INC + A \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

WS: Massa do substrato a ser colocado no reator;

Eu : Peso do estrume fresco;

INC : Inóculo que deverá ser adicionado;

A: representa o peso de água a ser misturado com *Eu*.

A cama de frango produzida por 1000 aves pode-se obter o equivalente a 10 botijões de 13 kg de gás liquefeito pressurizado GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), o que corresponde a 300 m³ de biogás (LUCAS Jr. e SANTOS, 2000; ANP, 2017).

4.4 Uso da cama de frango como fertilizante no solo.

A adição de materiais orgânicos melhora a qualidade do solo (LEITE et al.,2003), pois aumenta a retenção de água, aumenta a capacidade de troca de cátions e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (SILVA et al., 2007). Além disso, reduz o consumo de fertilizantes minerais e, conseqüentemente, o custo de produção das culturas.

A adubação orgânica consiste, portanto, no aproveitamento de resíduos de origem animal, vegetal, industrial e agroindustrial como fonte de nutrientes para as plantas. No entanto, frequentemente esses resíduos têm sido aplicados ao solo de maneira empírica, sem considerar as necessidades da planta que será adubada, o tipo de solo que receberá o resíduo ou as variações na composição química dos resíduos.

O tratamento dos resíduos provenientes o confinamento de aves torna-se uma necessidade, devido à presença de alto teor de matéria orgânica e da grande quantidade gerada pela atividade. Caso esses resíduos não tenham o tratamento adequado, os riscos ao meio

ambiente são significativos, causando poluição dos corpos hídricos e eutrofização do solo, entre outros.

As vantagens da adubação orgânica são indiscutíveis, pois trazem benefícios de ordem física, química e biológica para o solo. Na parte física a incorporação de matéria orgânica melhora a estrutura do solo (VALADÃO et al., 2011), proporciona maior aeração notadamente nos solos com problemas de compactação e por isso melhora desenvolvimento das raízes das plantas; aumento da capacidade de retenção de água, o que permite maior resistência das plantas aos períodos de veranicos, principalmente em solos arenosos; estabilização da temperatura do solo com a cobertura morta e restos culturais, o que melhora as condições para o crescimento e manutenção da microbiota do solo; além disso, a diminuição da luz pela cobertura do solo inibe o crescimento de ervas daninhas (PENHA et al., 2012); maior proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e ação direta dos ventos, o que minimiza o transporte das partículas provocados pela erosão hídrica e eólica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Finalmente, maior estabilidade dos agregados do solo (MATOS et al., 2008) pela produção de mucilagens pelos fungos e raízes das plantas, incluem-se a produção de polissacarídeos hidratados contendo cadeias de galactose e ácidos galacturônicos com blocos de diversos açúcares, como glicose, galactose, arabinose e fucose (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Na parte química, a adição de materiais orgânicos aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos, isso é muito importante nos solos brasileiros que geralmente apresentam CTC potencial baixa. O aumento da CTC dos solos implica em maior retenção de nutrientes e diminuição de sua lixiviação no solo, principalmente de potássio (K) que está após o hidrogênio, alumínio, cálcio, magnésio na sequência de retenção de cátions no solo-série liotrópica (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Já na parte biológica, a adição de resíduos orgânicos favorece a proliferação e atividade de microorganismos (bactérias, fungos e actinobactérias), responsáveis por importantes processos no sistema, como a decomposição e mineralização da matéria orgânica, amonificação, nitrificação, desnitrificação, produção de hormônios, aleloquímicos, solubilizantes, quelantes e complexantes, fixação biológica de nitrogênio atmosférico e micorrização (MELO et al., 2008).

Como desvantagens podem ser citadas a baixa concentração de nutrientes nos materiais orgânicos e por isso a necessidade de grandes quantidades do material para fornecer as quantidades requeridas pelas plantas. Em virtude da maior quantidade do material que deve ser aplicado, há também maior gasto com mão de obra. E por fim, para que ocorra a

disponibilização dos nutrientes, é necessário um tempo para mineralização das formas orgânicas, portanto os nutrientes são mais bem aproveitados por culturas perenes ou nos locais onde são adicionados, há mais tempo, de forma contínua, como no caso da produção de hortaliças.

4.5 Poluição por nutrientes.

Os dois elementos presentes em altas concentrações na cama de frango mais relacionados com contaminação ambiental são o nitrogênio e o fósforo. O nitrogênio pode contaminar a atmosfera, o solo e as águas superficiais e subterrâneas (XU e XUE et al., 2018). O fósforo pode contaminar o solo e, principalmente, as águas superficiais. Além destes, o potássio e nutrientes como o cobre, zinco, cálcio, magnésio, em menor concentração na cama de frango, também apresentam um risco de contaminação quando a cama é inadequadamente utilizada (WANG LI et al., 2018; YA LU et al., 2018).

Vários tipos de reações causadas pela liberação de nutrientes da cama de frango ocorrem dentro dos aviários durante o manejo de confinamento. Nestes locais, inúmeras reações de transformação de compostos orgânicos em formas inorgânicas são desencadeadas e perdas de nitrogênio têm sido apreciáveis e motivos de preocupação (PHILBROOK, 2013; IQBAL e AHMED, 2011).

Cerca de 60 a 80% do nitrogênio eliminado pelas fezes do frango encontra-se tipicamente em formas orgânicas, como proteína e ácido úrico. Dependendo das condições de temperatura, umidade, pH e ventilação às quais a cama é submetida dentro do aviário, grande parte deste nitrogênio orgânico passa pelo processo de mineralização que é descrita como um processo constituído pela amonificação e pela nitrificação (KELLEHER, 2002). A transformação do nitrogênio orgânico em formas amoniacais: amônio (NH_4^+) e amônia (NH_3), que corresponde a amonificação, é um processo que ocorre sem a presença de microrganismos específicos (ABATZOGLOU e BOIVIN, 2008; YANG et al., 2014).

O ácido úrico é decomposto por inúmeras bactérias, como as *Pseudomonas* spp., que o transformam em alantoína e depois em ácido alantóico, que é degradado a ácido glioxílico e ureia (MOREIRA e FRANCO, 2002). Esse processo natural é realizado por organismos quimiorganotróficos capazes de efetuar esta transformação, tanto em condições anaeróbias quanto aeróbias. Já a transformação do nitrogênio amoniacal para nitrato (NO_3^-), chamado de nitrificação, é um processo estritamente aeróbio (HANS e ANDREAS, 2012).

Quando a cama de frango apresenta alta umidade, o que pode ocorrer durante o inverno ou com uma intensa utilização de nebulização durante o verão, o processo de amonificação é intensificado, ocorrendo perdas significativas de amônia para a atmosfera (OLIVEIRA, 2003). Mas, os problemas gerados pela liberação de amônia não se restringem apenas ao ambiente interior do aviário. Em regiões com alta produção de resíduos animais a poluição atmosférica por amônia representa um papel importante para a ocorrência do aumento do pH da água da chuva e corpos hídricos, o qual permite uma maior dissolução de sulfato (WANG e YANG, 2012). O sulfato de amônio formado oxida-se no solo e libera ácido nítrico e sulfúrico reduzindo bruscamente o pH do solo a valores extremamente baixos (2,8 – 3,5) e elevando os níveis de alumínio dissolvido em solos não calcarizados (LEI et al., 2007). A Tabela 4.4 mostra os percentuais dos principais minerais que constituem a biomassa de diferentes animais.

Tabela 4.4: Parâmetros químicos da composição média dos esterco de suínos, bovinos e frangos.

Biomassa	Kg.m ⁻³				
	pH	MS%	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Suínos (Líquido Integral)	7,2-7,8	1,3-2,5	1,6-2,5	1,2-20	1,0-1,4
Suínos (Líquido Separado)	7,0-7,5	0,1-0,3	0,7-0,9	0,3-0,5	0,6-0,8
Bovino (Esterco + Urina)	6,8-7,5	-	4,5-6,0	2,1-2,6	2,8-4,5
Bovino (Sólido)	7,0-7,5	45-70	15-25	-	-
Aves (Cama De Frango)	6,0-7,5	65-90	24-40	20-35	18-35

Fonte: Adaptado, Konzen (2007).

As perdas e impactos ambientais devido à volatilização de amônia e as maiores perdas de nutrientes com maiores possibilidades de contaminação ambiental (OLIVEIRA e BIAZOTO, 2013), ocorrem quando a cama de frango é retirada do aviário e utilizada diretamente como adubo natural no solo. Um aumento pequeno dos teores desses elementos no solo poderá afetar negativamente os componentes dos ecossistemas (WANG LI, 2018; YA LU, 2018). A Tabela 4.5 mostra os teores de nutrientes segundo diferentes autores.

Tabela 4.5: Composição da cama de frango segundo diferentes fontes.

NUTRIENTES (MS)	NCSU (2003) ²	DANIEL E OLSON ³ (2001)	ROLAS (2006) (CAMA DE 3 CICLOS)	JORDAAN (2004).	SEVERINO (2006)
N (%)	3,3	4,46	30	19,1	2,95
P(%) ¹	3,5	2,1	3,5	1,33	3,87
K(%)	2,0	3,0	2,5	1,9	1,10

CÁLCIO (%)	1,86	3	-	2,53	4,71
COBRE PPM	200	557	-	-	-
ZINCO PPM	290	484	-	-	-
FERRO PPM	590	2377	-	-	-

Notas:

1– Fósforo na forma P_2O_5 ;

2– North Carolina State University;

3 – citado por BELLAVER e PALHARES (2003). Valores obtidos de 192 amostras dos EUA.

Com efeito, em períodos de chuvas intensas e prolongadas, Edwards (2002), aponta que os poluentes potenciais da cama de frango podem ser transportados da superfície de áreas tratadas por um destes modos: em solução/suspensão, adsorvidos a partículas do solo e em formas particulares.

4.6 Fontes de energias renováveis.

No Brasil, a produção de energias a partir de biomassa se apresenta como um dos líderes mundial, apesar disso, o cenário evidencia alguns gargalos que podem afetar produções como a do biogás. O investimento das políticas públicas como fomento seria um passo importante para garantir a manutenção dos sistemas de fabricação do biogás, além de manter a liderança do país no cenário internacional (ENECEP, 2012).

Verifica-se, que hoje a instalação de biodigestores e o uso de biogás é uma tecnologia bastante avançada, conhecida, desenvolvida e com um grande potencial de aplicação no mundo, como na China e na Índia, onde já vem sendo adotado a mais de meio século. Entretanto o Brasil, cuja identidade é o agronegócio, ainda possui um pequeno número de unidades instaladas quando comparado com os países asiáticos citados (BGS, 2013).

O biogás possui potencial para se tornar um dos três grandes combustíveis do Brasil. Por isso, o seu progresso tem papel importante no equilíbrio entre as fontes de energia nacionais, principalmente diante do aumento no consumo de eletricidade (FRAGMAQ, 2012).

Estima-se que entre 2005 e 2013 foram instalados no Brasil cerca de 1.000 biodigestores considerando os incentivos financeiros dos créditos de carbono, porém a flutuação dos preços recebidos na comercialização das RCEs, tem reduzido à expectativa de expansão do uso do biogás (BGS, 2013).

Atualmente, o Governo Brasileiro tem se empenhado para manter o equilíbrio entre as suas fontes de energia renováveis e tradicionais. As iniciativas para a produção do biogás no Brasil ainda são lentas, principalmente quando é feito um comparativo com o panorama

internacional. A expectativa é que o investimento neste setor resulte em reflexos significativos na matriz energética do país. Como impulso, que na data de 15 de dezembro de 2009, a Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL publicou a Instrução Normativa - IN 390/09, e por meio desta estabelece a imprescindível regulamentação do Decreto Lei 5163/04, que institui a Geração Distribuída no Brasil (FRAGMAQ, 2012).

Quando o assunto são as emissões de gases do efeito estufa, o setor de energia fica entre as principais preocupações do Brasil. A saída para reduzir esse impacto pode ser encontrada, também, no desenvolvimento do biogás, que além de renovar a matriz energética brasileira, pode colaborar com a ampliação dos estudos em energias renováveis. Entretanto algumas situações favoráveis surgem no país para início dessa mudança, foi criado recentemente no Paraná, o Centro de Estudos do Biogás, que nasce com a promessa de gerar dados científicos sobre toda a cadeia de suprimentos do biogás no Brasil. O Centro possui um laboratório, onde são realizados experimentos para ilustrar o desempenho desse gás na geração de energia elétrica e estimular a importância desse combustível para o equilíbrio das energias renováveis (FRAGMAQ, 2012).

4.7 Calor no sistema de exaustão do grupo gerador.

Uma alternativa utilizada em motores de combustão interna que operam com biogás é o sistema de cogeração. A cogeração é definida como o processo de transformação da energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil. O que sobra da energia contida no biogás, deste percentual que foi convertido em energia elétrica (60% a 75%), é convertida em energia térmica, que se encontra presente nos gases do escape (25% a 35%), na água de arrefecimento do motor (12% a 18%), no óleo do motor (5% a 10%) e uma parte é perdida por radiação (10% a 25%) (COLDEBELLA, 2006).

De acordo com Bley Junior (2010), a conversão do biogás em energia térmica pode ser feita por cogeração, a partir da instalação de conversores de calor nos coletores de escape dos motores para pré-aquecimento da água da caldeira de geração de vapor ou resfriamento obtido por dispositivos de troca de calor, para a refrigeração de produtos perecíveis ou pela utilização direta de biogás como combustível em caldeiras ou fornos substituindo a lenha, o bagaço de cana, o diesel ou outro combustível empregado.

Uma alternativa para o aproveitamento do calor liberado na queima de biogás é a utilização de um “chiller” por absorção para a produção de água gelada que é distribuída, através de dutos, para o ambiente a ser refrigerado. A energia térmica necessária à operação do ciclo de absorção é obtida diretamente dos gases de escapamento do motor de combustão

interna ou da queima direta do biogás. Outra alternativa, é a utilização de sistemas de resfriamento evaporativo para proporcionar conforto térmico. O resfriamento evaporativo consiste na utilização da evaporação da água através da passagem de um fluxo de ar, provocando uma redução na temperatura do ar, e também, o calor dissipado serviria para no aquecimento da água para esterilização de equipamentos, uma vez que a fazenda em estudo possui dois carrinhos de remoção da cama de frango, e também para a própria desinfecção da cama de frango usando o calor para acelerar o processo de eliminação de microrganismos infectantes, uma vez que para o aproveitamento da CF em ciclos posteriores, deve-se fazer a remoção e eliminação desses microrganismos (SILVA e QUEIROZ, 2004).

De acordo com Suleyman Sakar, Kaan Yetilmezsoy, Emel Kocak (2014), dos gases que compõem o biogás, o gás carbônico (35 a 45%) e o gás sulfídrico (0 a 1%) devem receber atenção especial. São considerados como o principal problema na viabilização de seu armazenamento e na produção de energia, interferindo principalmente na qualidade do biogás, acarretando problemas de corrosão no sistema de condução do biogás até sua transformação como fonte de energia elétrica ou térmica, necessitando de processos de tratamento. Visto que a composição do biogás *in natura* é constituída de vapor de água, gás carbônico e gases corrosivos, sua utilização compromete a durabilidade dos motores de combustão interna, devido à degradação prematura a que o motor é submetido. A remoção ou minimização das porções de H₂O, CO₂, H₂S e outros compostos, através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem, são imprescindíveis para a confiabilidade e emprego do biogás em motores de combustão interna (OLIVEIRA, 2004).

4.8 Características granulométricas da partícula sólida da cama de frango

Van Haandel e Lettinga (1994) informam que a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), transformando-os em compostos solúveis mais simples (moléculas menores), os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas, uma vez que as bactérias não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada (macromoléculas). Esta conversão de materiais particulados em materiais solúveis é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. A elevada presença de materiais particulados no afluente pode dificultar a hidrólise destes compostos, limitando a degradação anaeróbia, o que demandaria maiores tempos de detenção hidráulica para a completa solubilização da matéria orgânica. Se a matéria orgânica a ser hidrolisada apresenta-se em

partículas menores, estas serão teoricamente mais facilmente hidrolisadas, favorecendo as etapas seguintes do processo de digestão anaeróbia. Portanto, a hidrólise pode ser, para alguns compostos particulados, a etapa limitante da degradação anaeróbia.

A granulometria da biomassa inoculada interfere na velocidade de remoção de DQO em digestores anaeróbios. Segundo Viriato (2013), a granulometria dos resíduos sólidos orgânicos é um indicador importante, pois pode interferir na biostabilização do insumo orgânico alimentado no reator. O tamanho das partículas dos resíduos sólidos é proporcional ao contato com os microrganismos, sendo assim, quanto maior a área superficial específica, maior a interação entre o ataque dos organismos ao substrato, permitindo acelerar o processo de degradação biológica (ALCÂNTRA, 2007). Na visão de Sanders e Dukats (1992), a diminuição na granulometria dos resíduos é salutar para a hidrólise, como consequência, favorece as etapas seguintes da digestão anaeróbia, fenômeno que pode ser parcialmente atrelado ao aumento da área superficial de contato disponível do substrato, na qual, os microrganismos se ligam, proporcionando aumento na decomposição do insumo orgânico. A granulometria também pode afetar contribuindo com a redução do tempo de retenção dos sólidos no interior do reator (MSHANDETE et al., 2006). Conforme aponta os estudos de Izuma et al., (2010), a redução granulométrica do substrato provocou na degradação cerca de 30 % de DQO total e aumentou a produção de metano em 28 %.

E também, a lignina é um polímero aromático e tridimensional de elevado peso molecular. É considerada indigestível pelas bactérias e inibidor do processo de digestibilidade da parede celular de plantas (TRUGILHO; LIMA e MENDES, 1996; FUKUSHIMA et, 2001). Existe uma barreira nos processos de geração de energia que utilizam microrganismos, que seria a dificuldade na degradabilidade desses elementos, uma vez que demandam pré tratamentos termoquímicos e de sacarificação enzimática, que apresentam custos elevados para o produtor rural (DA COSTA SOUSA et al., 2009; DERERIE; TROBRO e MOMENI 2011). O intuito de qualquer tratamento prévio de materiais lignocelulósicos, é alterar ou remover barreiras estruturais à hidrólise, provocando a quebra da estrutura da lignina e desfazendo a estrutura cristalina da celulose, assim permite melhorar o rendimento da produção de açúcares fermentáveis provenientes da celulose e da hemicelulose (BALAT e OZ, 2008).

Em processos naturais de digestão anaeróbia, as proteínas que se encontram no meio são degradadas e convertidas em duas espécies, o íon amônio e a amônia, comumente denominados de nitrogênio amoniacal. Por outro lado, no processo de digestão, podem ser produzidas grandes quantidades de amônia, substância tóxica aos microrganismos em

elevadas concentrações. Além de sua toxicidade a amônia pode causar a inibição do processo biológico, e, conseqüentemente, diminuir a taxa de degradação da matéria orgânica.

5 MATERIAIS E MÉTODOS.

5.1 Caracterização da área de estudo.

O estudo foi realizado na fazenda Bom Tempo, município de Palmeira do Tocantins - TO, localizada no norte do Estado do Tocantins, na região da Amazônica Legal do Brasil. A planta de biogás (em escala real) possui dois núcleos adjacentes em plena operação, nos quais cada um possui quatro reatores anaeróbios e uma lagoa de estabilização para a disposição do biofertilizante. Os dois núcleos contribuem para a produção de energia para todo o sistema e outras atividades agrícolas. No entanto, o estudo focou apenas em estudar um único núcleo, uma vez que as características são semelhantes. Nesse sentido, a planta em análise utiliza quatro tanques de alimentação de substrato, seguidos de quatro reatores anaeróbios e uma lagoa de estabilização, utilizada para receber os efluentes de todos os reatores anaeróbios (Figuras 5.1 e 5.2). O sistema possui um grupo gerador (motor Otto Ciclo) totalmente automatizado, responsável pela “queima” de biogás e produção de energia elétrica.

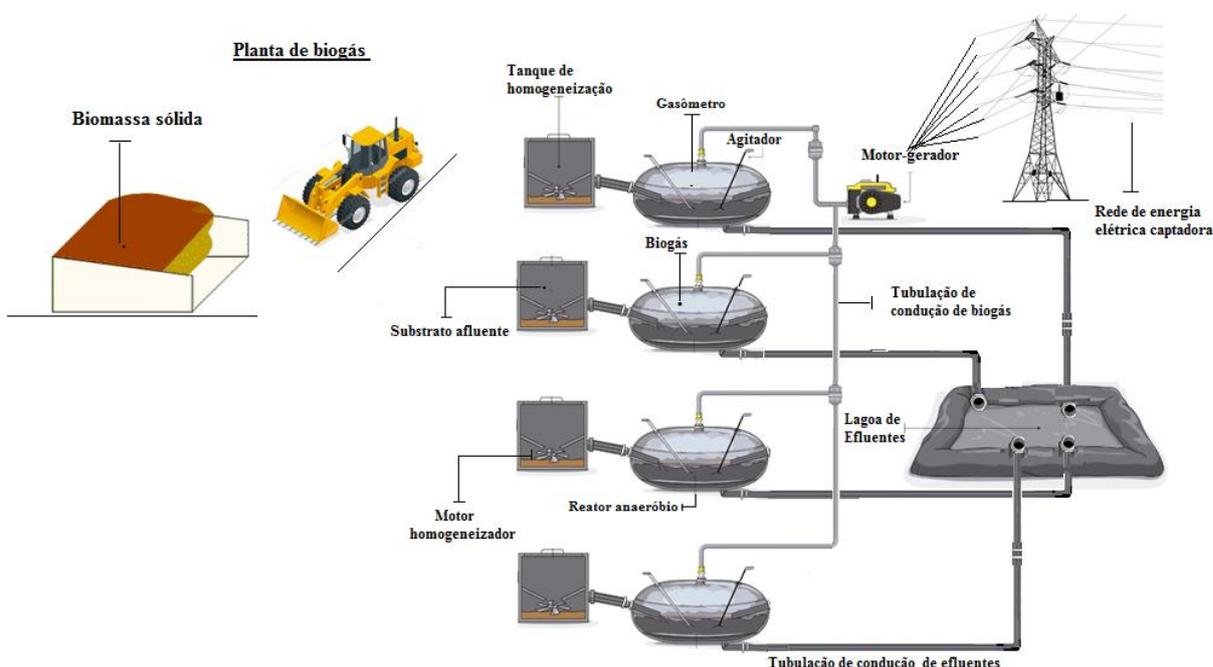
As análises de Sólidos Totais da cama de frango foram realizadas no Laboratório LASEN do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO. Já, as análises dos componentes do biogás e os percentuais de NPK foram realizados no Laboratório de Aquicultura Sustentável do Instituto de Biociências/ Campus do Litoral Paulista – UNESP.

Figura 5.1: Imagem por satélite da planta do sistema.



Fonte: Google Parts, (2018).

Figura 5.2: Esquema do sistema experimental estudado.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

A Fazenda Bom Tempo sempre priorizou a pecuária prioritária, com criação expressiva de engorda de gado por confinamento, compra e revenda de touros em crescimento, mas ao longo dos anos decidiu investir na atividade de engordar aves para o confinamento.

Anteriormente, o projeto inicial tinha cinco galpões de frango para abate. Atualmente a Fazenda já possui dez galpões de frango em plena atividade. Dentre os vários problemas enfrentados diariamente na atividade avícola, pode-se relatar o alto consumo de energia, cerca de 30% da receita mensal. Essa foi a principal motivação para os proprietários instalarem reatores anaeróbios para a produção de biogás e a utilização da cama de frango para fins energéticos e para resolver o problema do alto gasto de energia do sistema.

5.2 Descrição das etapas do processo de produção de biogás do sistema em estudo.

Nessa seção serão discutidas as etapas empregadas no processo de produção de biogás no sistema: (a) preparação do substrato e (b) processo de digestão anaeróbia.

5.2.1 Preparação do material de substrato.

O resíduo vegetal seco que constituiu a preparação do aviário foi o Capim Napier (*Pennisetum purpureum*), retirado da vizinhança da fazenda com o auxílio de trator esmagador. O material ficou por cinco dias (ao sol) para secar e reduzir a relação massa / volume e depois para ser levada aos celeiros das fazendas para servir de camada absorvente para os dejetos das aves, compondo assim o leito de aves dos aviários mencionados. Após o confinamento de cinco ciclos de aves, toda a biomassa (CF) foi removida dos celeiros por meio de tratores de carregadeiras e, em seguida, descartada no galpão de estocagem de resíduos.

A biomassa sólida foi medida usando um carregador mecânico de garra e depois transportada para cada tanque de hidrólise. Em cada tanque de preparo do inóculo havia o composto líquido (efluente da lagoa do biofertilizante), rico em bactérias especializadas na degradação da biomassa.

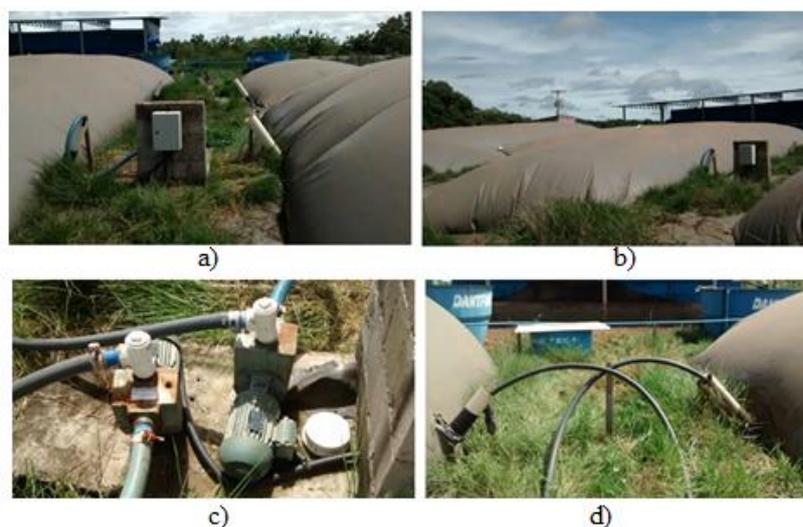
Após 24 horas de hidrólise, a mistura de biomassa sólida e efluente recirculado é convertida no substrato líquido afluyente (SLA) por meio de bactérias facultativas que transformam a maioria das moléculas maiores do material em micromoléculas. Então todo o material foi homogeneizado através de um motor de mistura e completamente descarregado nos reatores anaeróbios.

5.2.2 Sistema de Digestão Anaeróbia

O sistema analisado possui quatro tanques independentes de preparação de SLA não conjugados, conectado a um reator anaeróbio. A conexão dos tanques aos reatores ocorre através de uma tubulação de 150 “em PVC”.

Os gasômetros utilizados no sistema são tubulares com manta plástica, horizontais e escavados no solo e cobertos no fundo por um plástico rígido (Polietileno de Alta Densidade) e fixados com um gasômetro (Figura 5.3) cujo material de cobertura é de liga flexível que infla com maior volume de metano-biogás. Cada reator tem as seguintes dimensões: 24m de comprimento, 4m de largura e 1,80 m de altura ao nível do solo (Figura 5.4).

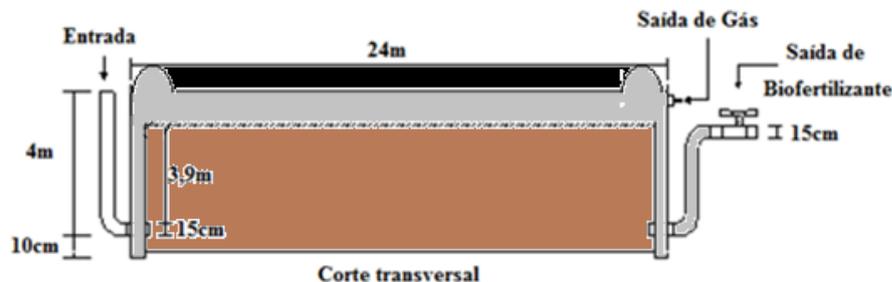
Figura 5.3: Reatores anaeróbios com gasômetros inflados com biogás. a) Mureta com caixa de acionamento das bombas de agitação b) Gasômetros inflados com biogás; c) Bombas usadas para agitação do substrato no interior dos reatores anaeróbios; d) Tubulação de agitação do substrato nos reatores anaeróbios.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Cada reator foi instalado no subsolo para ter mínimo contato com o ar e evitar variações bruscas de temperatura. O recipiente com o material em fermentação é composto por um cilindro de PVC reto com um diâmetro de 400 cm e um comprimento de 24 m. As extremidades foram fixadas com duas placas de PVC, com uma espessura de 1,5 cm de cada lado. Na placa é fixada a tubulação de entrada (localizada na parte inferior), através do qual a alimentação foi feita e na outra extremidade dois tubos, um deles destinado à saída do biofertilizante e o outro (na parte superior) para a saída do biogás, conforme (Figura 5.4).

Figura 5.4: Corte transversal dos reatores anaeróbios e do gasômetro utilizados na planta de biogás.

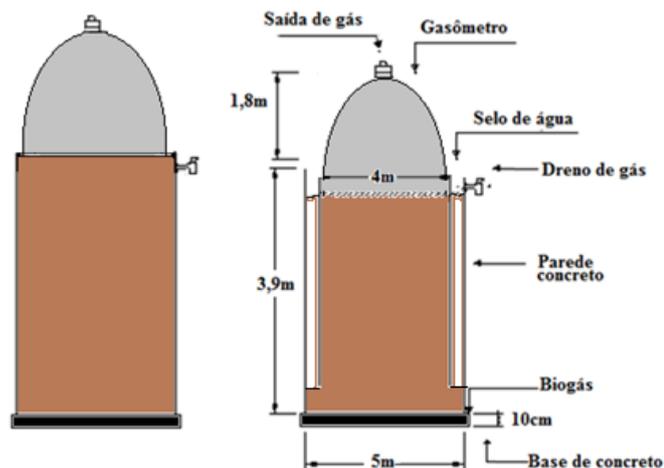


Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

O gasômetro consiste de dois cilindros de 4,0 e 5,0 m de diâmetro, sendo o primeiro inserido no segundo, de tal forma que o espaço entre eles contém um volume de água ("water seal"), atingindo profundidade de 3,9 m. O cilindro maior foi fixado a uma placa de PVC com

uma espessura de 2,5 cm. O cilindro de menor diâmetro tem uma extremidade selada, recebendo assim o gás produzido, e a outra extremidade esteve inserida de forma emborcada no selo de água para armazenar o gás produzido (Figura 5.5).

Figura 5.5: Representação esquemática de gasômetros utilizados no experimento de biodigestão anaeróbia.



Fonte: elaborado pelo autor, (2018).

5.3 Eficiência do tratamento de digestão anaeróbia.

Os parâmetros físico-químicos foram monitorados através da coleta de amostras em dois diferentes pontos amostrais, o primeiro na entrada (P_1) e o (P_2) localizado na saída do reator anaeróbio (Figura 5.6). A coleta das amostras no tanque de hidrólise foi realizada após a homogeneização de todo o material substrato com o auxílio de um motor de mistura.

Figura 5.6: Coleta das amostras afluente e efluentes da planta de biogás.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Antes da inoculação do substrato no reator anaeróbio, a temperatura do líquido foi medida em duas profundidades no tanque de homogeneização. A primeira calibração foi realizada na superfície do líquido (temperatura ambiente de 32 °C no momento da medição) e a segunda foi realizada a 50 cm de profundidade do tanque. As medições de temperatura foram realizadas nos quatro tanques de homogeneização de substrato com as mesmas

profundidades e, em seguida, foi determinada a média das temperaturas observadas em todas as medidas. Foram realizadas medições de temperatura na parte interna e externa dos reatores.

Após a inoculação do material substrato nos reatores anaeróbios, o líquido efluente (P2) foi coletado diretamente na tubulação de saída do reator anaeróbio.

Todas as amostras (afluentes e efluentes dos reatores) foram coletadas em frascos de dois litros e armazenadas em caixa de isopor com cubos de gelo para manter as características bioquímicas do material.

As medições da temperatura do efluente foram realizadas nos quatro tubos de descarga dos reatores anaeróbios. A determinação da vazão efluente em cada reator foi medida pelo método volumétrico, que consiste em determinar o tempo necessário para o enchimento do reservatório de volume conhecido. As metodologias empregadas para a determinação analítica dos parâmetros temperatura, pH, alcalinidade, DBO, sólidos totais, fixos, voláteis estão na Tabela 5.1

Tabela 5.1: Parâmetros e métodos utilizados nas análises de amostras.

Parâmetros	Métodos	Referência (APHA, 2012)
Temperatura (°C)	Electrométrico	SMEWW 2550B
pH (-)	Electrométrico	SMEWW 4500H ⁺
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	Volumétrico	SMEWW 2320B
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Frascos padrões	SMEWW 5210D
Sólidos Totais (mg/L)	Gravimétrico	SMEWW 2540B
Sólidos Fixos (mg/L)	Gravimétrico	SMEWW 2540B
Sólidos Voláteis (mg/L)	Gravimétrico	SMEWW 2540B
Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)	Espectrofotométrico	SMEWW 4500-NH ₃ F
Fósforo Total (mgP/L)	Espectrofotométrico	SMEWW 4500-P

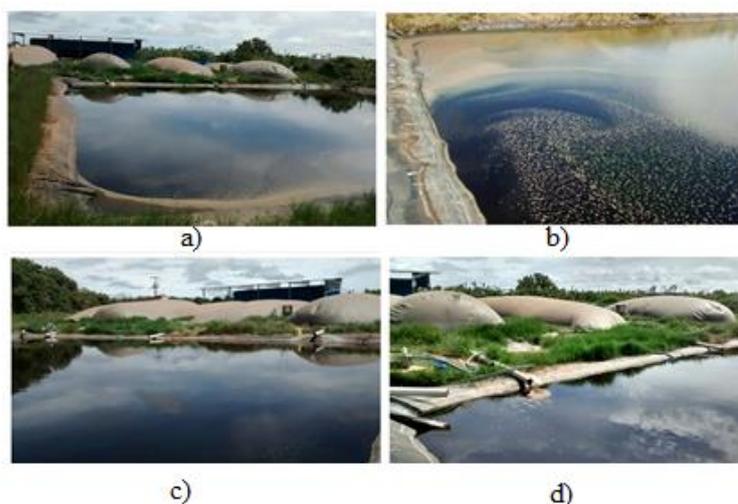
Fonte: Apha, (2012).

As amostras afluentes dos tanques de hidrólises e as amostras da lagoa de biofertilizante foram coletadas em quatro momentos, no intervalo de dois meses em cada coleta, e enviadas para o Laboratório LASEN do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO em Palmas para as análises de Sólidos Totais.

5.3.1 Análise e disposição final do biofertilizante produzido no sistema.

O sistema possui apenas uma lagoa de estabilização, operando em escala real, para tratar os efluentes dos quatro reatores, com as seguintes dimensões: 25 m de comprimento, 25 m de largura, 4,0 m de profundidade e capacidade total de armazenamento de 2.500 m³ de biofertilizante (Figura 5.7). O tempo de detenção hidráulica da lagoa é de 87,5 dias. A fim de explorar o biofertilizante obtido no sistema, amostras do líquido foram coletadas e realizadas as análises dos seguintes minerais presentes (nitrogênio, fósforo, cálcio, potássio, ferro, manganês, boro, zinco, cobalto, enxofre, cobre e magnésio). Os procedimentos analíticos adotados seguiram técnicas padronizadas do Standard Methods for Examination of Water Wasterwater (APHA, 2012). O efluente final da lagoa de estabilização é usado atualmente para o cultivo de gramíneas na fazenda em estudo.

Figura 5.7: Tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios: (a) Lagoa de armazenamento de material líquido efluente, (b) Biofertilizante, (c) Vista dos quatro reatores que abastecem a lagoa e (d) tubulações de distribuição do efluente na lagoa de estabilização.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

5.4 Coleta e análise de biogás.

A coleta de biogás foi realizada diretamente no gasômetro do reator. As amostras de biogás foram coletadas nos quatro reatores anaeróbios em diferentes temperaturas ambientes (23, 28 e 34 °C), totalizando doze amostras a serem analisadas.

Para a identificação dos compostos constituintes do biogás, foi utilizado um cromatógrafo, marca Shimadzu, modelo GC-2014, acoplado aos detectores do tipo TCD e FID. A Tabela 5.2 mostra as condições empregadas no ensaio.

Tabela 5.2: Condições de operação do CG / TCD / FID utilizado na análise da composição do gás.

Cromatografia	T _{injetor}	Condições de análise			Fluxo de gás
		T _{coluna}	T _{detetor}		
GC-2014	25°C	60°C (isotérmico)	TCD1 100°C		25 mL/min
			TCD2 100°C		175 kPa
			FID 250°C		175 kPa

Fonte: Laboratório de Aquicultura Sustentável do Instituto de Biociências – UNESP, (2018).

Foram realizadas quatro coletas das amostras de biogás nos gasômetros (uma amostra por reator) com diferença de intervalos de dois meses para cada coleta e enviadas para o Laboratório de Aquicultura Sustentável do Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista, UNESP.

5.5 Geração de energia elétrica no sistema.

A produção e o consumo do biogás de todo o sistema foram monitorados através do painel eletrônico do display digital do motor-gerador que proporcionou as principais variações dos parâmetros quanto ao consumo de biogás, dentre eles: (a) porcentagem de CO₂, (b) qualidade do metano queimado e (c) a quantidade de energia (kW / minuto) produzida pelo sistema e liberada na rede elétrica (Figura 5.8).

Figura 5.8. Painel eletrônico de monitoramento do sistema de produção de biogás exibindo o display com as funções ativas de funcionamento do grupo gerador.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

O biogás produzido nos quatro reatores era armazenado nos gasômetros e depois transportado para o motor de combustão através de um tubo de condução de gás (material PVC de alta resistência) acoplado ao fundo de cada gasômetro. Depois que a válvula é aberta, o motor é ligado e o consumo (queima) do biogás dos quatro gasômetros do sistema é iniciado (Figura 5.9).

Figura 5.9: Sistema queimador de biogás: (a) motor grupo gerador de queima de biogás; b) gerador/turbina acoplado ao motor de biogás.

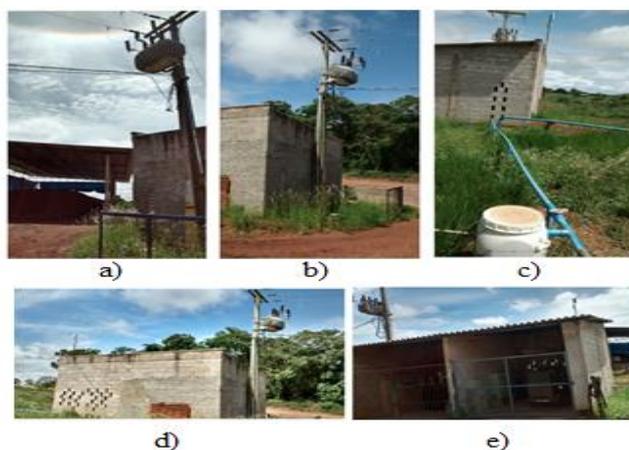


Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Os gases são liberados no motor Otto Ciclo através da abertura da válvula de retenção.

Na casa de máquinas, acoplada ao motor do gerador, existe um equipamento eletrônico (display) que mede a quantidade de energia que o sistema lança na rede elétrica de energia (Figura 5.10).

Figura 5.10: Sistema de distribuição de energia elétrica: (a) Casa de máquina do sistema, (b) transformador elétrico de transmissão da energia, (c) Tubulação de condução do biogás, (d) vista frontal da casa de máquina e (e) Motores com as grades de proteção.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

5.6 Temperatura dos gases de exaustão ao longo da operação de queima no grupo gerador.

Foi determinado o perfil de temperatura dos gases pelo sistema durante a combustão do biogás. Com o uso de um termômetro digital, foram feitas medições de temperaturas no final da tubulação de gás de exaustão no motor do gerador (Figura 5.11), a fim de determinar a quantidade de calor liberado, com potencial de aproveitamento para a produção de vapor em caldeiras, e utilização para a desinfecção dos galpões de aviário durante a mudança de ciclo. Atualmente, a energia térmica não é utilizada na usina de biogás aqui estudada.

Figura 5.11: a) Determinação do perfil de temperatura dos gases de exaustão da queima de biogás; b) Escapamento de gases apresentando sinais de corrosão.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Neste capítulo, serão apresentados os resultados referentes aos ensaios físico-químicos realizados para a análise do teor de minerais incorporados à cama de frango após reaproveitamento nos ciclos de reuso, e a caracterização do substrato afluente e a qualidade do biofertilizante produzido pela planta em estudo. Também, as características da produção de biogás e a eficiência do sistema de demanda e consumo de energia elétrica do sistema.

6.1 Caracterização da cama de frango *in natura*.

Os dados obtidos na caracterização da cama de frango estudada nessa pesquisa são apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Caracterização do percentual de NPK na cama de frango (matéria seca) em três ciclos.

Parâmetros	Cama de frango (sólida) ciclo 1	Cama de frango (sólida) ciclo 2	Cama de frango (sólida) ciclo 3
N (g/100g)	2,82	2,92	3,01
P (g/100g)	3,68	3,72	3,79
K (g/100g)	2,07	2,12	2,16
N-NH ₃ mg.kg ⁻¹	4390	4394	4403

Fonte: Departamento de Ciências Agrônomicas e Ambientais, RS-CESNORS (2018).

O nitrogênio (N) foi responsável pela maior concentração por unidade de cama de frango analisada nessa pesquisa, cerca de 40,07% dentro dos critérios de NPK, seguida do potássio (K) 37,7% e (P) 22,21%. Estudos realizados por Abouelenien et al., (2010), mostraram que a CF apresentou 4440 mg.kg⁻¹ de nitrogênio amoniacal. De acordo com o mesmo autor, durante o processo de digestão anaeróbia, o ácido úrico e as proteínas presentes na cama de frango, resultam na produção de amônia livre e íons de amônio. Dentre esses dois compostos, a amônia livre é considerada o composto que causa inibição para a digestão anaeróbia, devido a facilidade de difusividade da membrana celular, e dentro da célula causa o desequilíbrio de cargas e a deficiência de potássio (RAJAGOPAL et al., 2013).

A concentração de minerais da CF pode influenciar no desenvolvimento da biodigestão anaeróbia, sendo importante o seu conhecimento para melhor manejar o reator e consequentemente conhecer o valor agrônômico do efluente (biofertilizante) para adubação de

plantas, uma vez que esses altos índices de N ou P interferem nas inúmeras reações microbiológicas dos diferentes grupos de bactérias presentes nos reatores anaeróbios.

Os valores de NPK encontrados nas análises das amostras da planta em estudo se aproximam dos percentuais encontrados por Konzen (2003), em que os valores de NPK respectivamente foram 3,0, 2,4 e 3,65 g/100g na matéria seca vegetal de Capim Napier. Severino (2006), em seus estudos com Capim Napier encontrou 2,95 g/100g de nitrogênio, 3,87g/100g de fósforo e 1,10 g/100g de potássio. Porém, Santos (2001), observou 2,44 de Nitrogênio, 1,15 g/100g de Fósforo e 3,69 g/100g na análise Potássio usando matéria seca tipo maravalha como componente da cama de frango (CF). Esses percentuais encontrados referem-se à cama de frango de dois ciclos de cobertura dos galpões de confinamento, e são referenciais que comparam os índices das diferentes composições da biomassa.

Para Kozen (2003), os valores percentuais de nitrogênio na matéria seca vegetal de Capim Napier, se situaram em torno de 33,3%. Já Santos (2001) encontrou 50,68% de potássio na matéria seca vegetal de maravalha, mostrando que diferentes tipos de matéria seca influenciam na absorção de minerais presentes na cama de frango e que diretamente afetam o funcionamento biológico dos reatores anaeróbios. Esse fato do material absorvente incorporar mais ou menos macronutrientes está ligado com as reações que acontecem com a cama de frango nos galpões de confinamento e principalmente com a granulometria da matéria seca.

Segundo Oliveira et al., (2000), no alojamento de aves em alta densidade pode haver maior deposição de água na cama, devido ao estresse sofrido pelas aves, aumentando o consumo de água e conseqüentemente a quantidade de excretas úmidas, liberando muitos minerais em suas excretas. E se o manejo das aves e bebedouros não estiverem corretos, também poderá aumentar a umidade das camas, fato que se explica pelos altos níveis de potássio 40,33% encontrados por Kozen (2003) e 50,68% por Santos (2001).

Vale destacar que elevados teores de fósforo e nitrogênio presentes na cama de frango podem favorecer a contaminação do solo e conseqüentemente os corpos hídricos localizados nas proximidades da zona de descarte do material sem nenhum tratamento. A digestão anaeróbia desse tipo de biomassa, porém, representa uma alternativa para a produção de energia “limpa”, com o aproveitamento e agregação de valor do resíduo ao transformá-lo em matéria-prima de processo.

6.2 Eficiência de remoção de matéria orgânica estudados na pesquisa

A Tabela 6.2 apresenta os resultados experimentais obtidos através das análises físico-químicas dos parâmetros analíticos: temperatura, pH, alcalinidade, amônia, fósforo total, DQO e frações de sólidos.

Os valores de temperatura, conforme apresentados na Tabela 6.2, no afluente e no efluente do reator mantiveram-se sempre muito próximos. A temperatura máxima encontrada neste trabalho foi de 28.7 e 28.0 °C no afluente e no efluente do reator, respectivamente. Segundo Matoset al., (2017), a temperatura é um dos principais fatores na digestão anaeróbia, uma vez que afeta os processos biológicos de diferentes maneiras, incluindo alterações na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos efluentes, principalmente os lipídeos.

Tabela 6.2: Média dos resultados das análises dos substratos afluente e efluente com Capim Napier.

Parâmetros	Amostras	
	P ₁ (entrada)	P ₂ (saída)
Temperatura (°C)	24	24,4
pH (-)	6,7	7,6
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	8854 – 8867	12340 - 12345
Demanda Química Oxigênio (mg/L)	23100 – 29000	11300 - 14200
Sólidos Totais (mg/L)	50190 – 51245	27302 - 28495
Sólidos Fixos (mg/L)	25803 – 26331	14450 - 15032
Sólidos Voláteis (mg/L)	24387 – 24914	12852 – 13463
Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	600 – 621	830 - 851
Fósforo Total (mgP/L)	280 – 420	290 - 370

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Durante todo o período o pH se manteve entre 6,0 e 6,7 no afluente e de 7,5 e 7,6 no efluente do reator e de um modo geral esteve próximo ao neutro. De acordo com Bertolino (2007), a faixa ótima de pH para o crescimento bacteriano situa-se entre 6,5 e 7,5, e que, os principais indicadores de distúrbios nos processos anaeróbios são o aumento na concentração de ácidos voláteis, aumento da porcentagem de CO₂ no biogás, diminuição do pH, diminuição da produção total de gás e diminuição da eficiência do processo. A produção de ácidos

voláteis na digestão anaeróbia pode levar a instabilidade do processo, uma vez que as bactérias metanogênicas são sensíveis a valores de pH abaixo de 6,0.

Os valores de alcalinidade do efluente do digestor se situaram entre 12340 e 12345 mgCaCO₃/L, bem superiores aos encontrados no substrato afluente (8854 e 8867 mgCaCO₃/L). Esse aumento da alcalinidade do sistema pode ter relação ao consumo de ácidos voláteis e a formação de gás amônia no reator. De acordo com a literatura, a alcalinização do substrato decorrente ao processo de biodigestão anaeróbia é um fenômeno esperado, pois há transformação dos ácidos contidos nos afluentes em produtos gasosos. O aumento nos valores de pH sem interferir na produção de biogás ocorreu na biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos leiteiro (Matoset al., 2017a) e na codigestão entre dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo com gasômetro em PVC flexível (Quadros et al., 2010).

Os valores de DQO se situaram entre 23100 e 29000 na entrada do sistema e 11300 e 14200 após o sistema de biodigestão, com uma taxa média de remoção de 51 %. Essa baixa remoção de DQO no reator pode estar relacionada ao baixo tempo de preparação da biomassa no tanque de hidrólise (apenas 24 horas). De acordo com a literatura, a cama de frango deve sofrer um pré-tratamento antes de ser adicionada ao reator, sendo o mais indicado o processo de moagem, pois as partículas do resíduo são muito grandes e isso pode diminuir a eficiência da atividade dos microrganismos presentes nos reatores. Em relação ao teor de umidade da cama, é necessário a adição de água para favorecer a diminuição do teor de sólidos. Para teores elevados de sólidos totais no substrato, é necessário um tempo de detenção do líquido no reator elevado, o que dificulta a compra e instalação de reatores com grandes volumes. Para reduzir o tempo de detenção do reator, pode-se utilizar os sistemas de agitação, aquecimento e, principalmente, adição de inóculo. Segundo LUCAS JR. et al., (1993), há biomassas que apenas diluídas podem apresentar bons resultados no processo de digestão anaeróbia, com relativa facilidade de degradação, porém outras, são mais difíceis de serem degradadas pelos microrganismos envolvidos no processo, apresentando degradação lenta e nesses casos, se faz necessária não apenas a diluição como também a inoculação.

Observa-se um aumento da concentração de nitrogênio amoniacal no sistema, sendo constatados valores entre 830 e 851 mgN/L no efluente final, o que compromete o descarte do líquido em corpos aquáticos receptores. Segundo Khalid (2011) e Niu (2014) em temperaturas mais elevadas a concentração de amônia na forma não dissociada (NH₃(aq)) aumenta em sistemas anaeróbios, podendo causar falência do processo. A amônia livre é tóxica para as arqueas metanogênicas, pois facilmente se difunde através da membrana celular dos microrganismos, causando desequilíbrio dos prótons e/ou deficiência de potássio (K⁺).

Dentre as implicações ecológicas da inserção de elevadas cargas de amônia no ambiente está o consumo do oxigênio dissolvido no meio, devido a nitrificação, uma vez que para oxidar 1 mg de NH_4^+ são necessários cerca de 4,3 mg de O_2 , podendo ocasionar a morte dos organismos aquáticos (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Além disso, o nitrogênio residual descartado nos cursos d'água estimula a atividade autotrófica, ocasionando a eutrofização devido a produção de uma grande quantidade de biomassa na forma de algas.

A concentração média de fósforo total encontrada no efluente final variou entre 290 e 370 mgP/L. De acordo com a literatura, os reatores anaeróbios possuem uma capacidade insatisfatória de remover de fósforo e nitrogênio durante o tratamento. Segundo a Resolução Conama 430/21011, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento. Esse enriquecimento dos ecossistemas aquáticos por nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio, pode levar à formação de densas populações de algas e cianobactérias, além de plantas aquáticas. Tais florações de algas e cianobactérias são sintomas proeminentes da eutrofização dos ambientes aquáticos, e afetam gravemente a qualidade da água, causando uma aparência desagradável, tornando geralmente o ambiente impróprio para o abastecimento, a recreação e a pesca (TUNDISI, 2003).

Com efeito, a digestão anaeróbia está diretamente relacionada com a granulometria da cama de frango, ou isto é, quanto menor a partícula da CF, maior é a eficiência no processo da estabilização da matéria orgânica. Nesse sentido, a Casca de Arroz apresentou menor diâmetro que o Capim Napier no teste (peneiração) de tamanho das partículas, o que em tese, favoreceu a degradação dos substratos efluentes com Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) menor. Como o Capim Napier possui particulado maior, houve maior gasto de energia por parte das bactérias anaeróbias, conseqüentemente um maior tempo de (TRH). O maior tamanho do material substrato favorece o processo de decantação do material, expandindo as áreas de zonas mortas dentro do reator, e promovendo o assoreamento dos reatores, diminuindo o tempo de detenção de líquido dentro do sistema. O aumento da superfície de contato entre a biomassa e os microrganismos, provocado pela redução mecânica no tamanho das partículas do Capim Napier ou Casca de arroz, poderá favorecer a decomposição orgânica e, por conseguinte, ocasionar a maior produção de biogás nos tratamentos com menores granulometrias. Aires (2009), já destaca que pode existir a necessidade de pré-tratamento da cama de frango antes de ser adicionada ao reator. A moagem ou peneiramento é uma forma de

tornar o material com granulometria adequada, já que as partículas de maravalha podem ser grandes e dificultar as atividades dos microrganismos.

6.3 Produção de biogás e geração de energia elétrica.

A temperatura durante o processo de digestão anaeróbia pode variar entre 10 e 65 °C, tendo como uma faixa ideal de atuação bacteriana os valores entre 30 e 35 °C (PECORA e DJALMA, 2018). A Tabela 6.3 apresenta os valores de temperaturas obtidos durante o monitoramento diário do sistema, sendo observadas as temperaturas internas e externas do reator. Os maiores gradientes de temperatura observados nos meios interno e externo dos reatores foram e 3,5 °C (8 h) e 3,0 °C (9:30 e 18:30 h). O maior valor de temperatura interna do reator foi de 36,5 °C sendo verificado às 15 h.

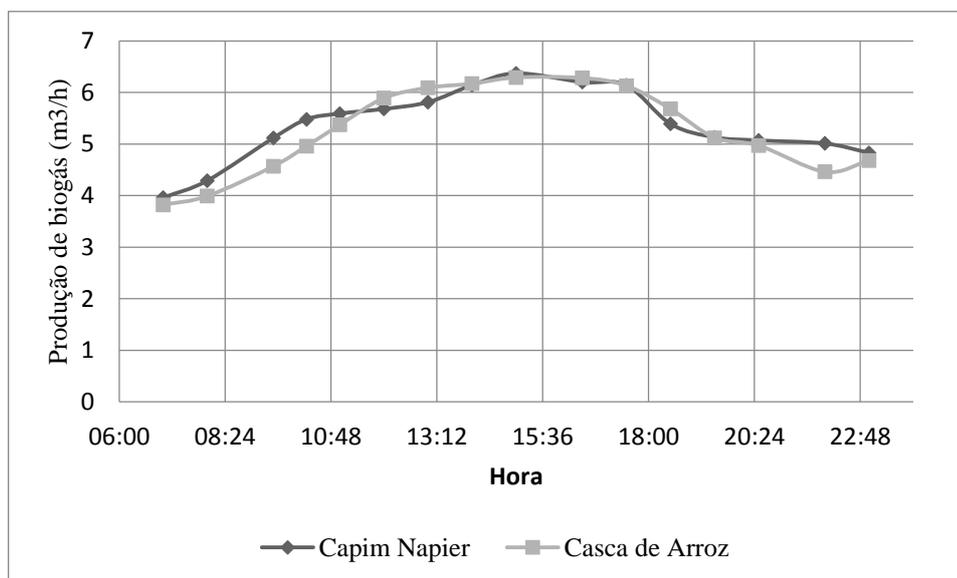
Tabela 6.3: Perfil diário de temperaturas nas partes interna e externa dos digestores anaeróbios estudados nessa pesquisa.

Hora do dia	Temperatura (°C)		Diferença Temperatura (°C)
	externa	interna	
7:00	21,5	23,5	3,0
8:00	22,5	26	3,5
9:30	24,5	27,5	3,0
10:15	26	28,5	2,5
11:00	28,5	29,5	1,0
12:00	29,5	31,5	2,0
13:00	32	33	1,0
14:00	33,5	35	1,5
15:00	35	36,5	1,5
16:30	33	34	1,0
17:30	31	32,5	1,5
18:30	29	32	3,0
19:30	29,5	31	2,0
20:30	27,5	29	1,5
22:00	24,5	26	1,5
24:00	23	25	2,0

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

A Figura 6.1 mostra os valores de vazões de biogás nos reatores anaeróbios do sistema em estudo empregando Capim Napier como substrato, sendo também realizada uma comparação com a cama de frango constituída de Casca de Arroz.

Figura 6.1: Resultados comparativos da produção de biogás com dois tipos distintos de cama de frango.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Os maiores volumes de biogás produzidos pelos reatores foram 6,37 e 6,20 m³/h nos horários de 15:00 e 16:30 h, respectivamente, empregando-se CN como substrato. Nos mesmos horários, foram observadas as vazões de biogás de 6,29 m³/h e 6,26 m³/h, respectivamente, quando foi utilizada cama de frango constituída de CZ. No intervalo de 14:00 às 15:00, o inóculo constituído por CZ, superou o de CN em 0,32% em termos de produção de biogás. Nos demais horários foi observada uma maior produção de biogás nos reatores empregando o CN como substrato.

O processo de digestão anaeróbia é influenciado por diversos fatores, podendo ser destacados a temperatura, a carga orgânica aplicada, a presença de substâncias tóxicas (amônia e gás sulfídrico), etc. Em temperaturas altas, as reações biológicas ocorrem com maior velocidade, resultando possivelmente em uma maior eficiência do processo (PECORA, DJALMA, 2018). Para Achinas (2017), de forma geral, o processo de digestão anaeróbia poderá ser desenvolvido em temperaturas a nível mesófilo (30 a 45 °C), ou a nível termófilo (45 a 60 °C). Apesar de não estar na temperatura ideal para produção de biogás, de 21,5 a 29 °C, os digestores empregados nessa pesquisa permaneceram na faixa mesofílica, entre 20 e 45 °C.

Foi observado no sistema que, as temperaturas externas tiveram variações de 21,5 (mínima) a 35 °C (máxima), não muito distantes das internas que foram 23,5 a 36,5 °C. Já a temperatura na região superior do reator, acima de 30 °C, ficou mais elevada em determinados horários, o que pode ser explicado devido à biodegradação exotérmica da matéria orgânica, a qual libera calor para o meio.

Pode-se observar na Figura 6.1, que a produção de biogás teve comportamentos diferentes entre si durante o período de monitoramento estipulado, uma vez que estavam sujeitos às mesmas condições de temperatura e concentração do substrato. Foi verificado um decaimento na produção de biogás a partir das 15 horas da tarde, motivo que justifica as temperaturas ideais da faixa mesofílica, entre 20 e 45 °C.

Todos os resíduos de origem animal ou vegetal são estabilizados por via anaeróbia. No caso de resíduos vegetais, somente os componentes contendo lignina não podem ser bioestabilizados (LIU et. al., 2008). Tratando-se do processo de bioestabilização da fração orgânica putrescível de resíduos orgânicos, a celulose e a hemicelulose são responsáveis por aproximadamente 91% do potencial energético do processo. As características da matéria seca vegetal constituinte da cama de frango interferem significativamente no valor percentual de biogás produzido durante a biodigestão (NOGUEIRA, 2015).

Os resultados obtidos na Tabela 6.3 também esclarecem uma relação entre as temperaturas internas e externas dos reatores. No início da manhã, às 7: 00 h, a temperatura externa ficou em torno de 21,5 °C em relação a interna na região superior que foi de 23,5 °C, e isso justifica os menores volumes de biogás produzidos no período. Já, às 13: 00 horas, o resultado é de temperaturas maiores no interior do reator. Esse fato leva a conclusão que durante o período da manhã (ciclo de 6 horas até às 12 horas) há uma menor variação na temperatura interna do reator, devido à pouca variação da temperatura noturna, fato que não se verifica no período das 13 horas até as 19 horas visto que a temperatura interna do reator se mantém aquecido na faixa de 30 a 35 °C, valor observado devido a incidência solar durante o dia. Experimentos desenvolvidos por Tietz (2013), também mostram que a temperatura externa influencia na temperatura interna do reator. A Tabela 6.4 mostra a concentração de metano em diferentes temperaturas dos reatores anaeróbios analisados nessa pesquisa.

Tabela 6.4: Concentrações de metano e gás carbônico no biogás proveniente dos reatores anaeróbios estudados nessa pesquisa empregando dois tipos de inóculos.

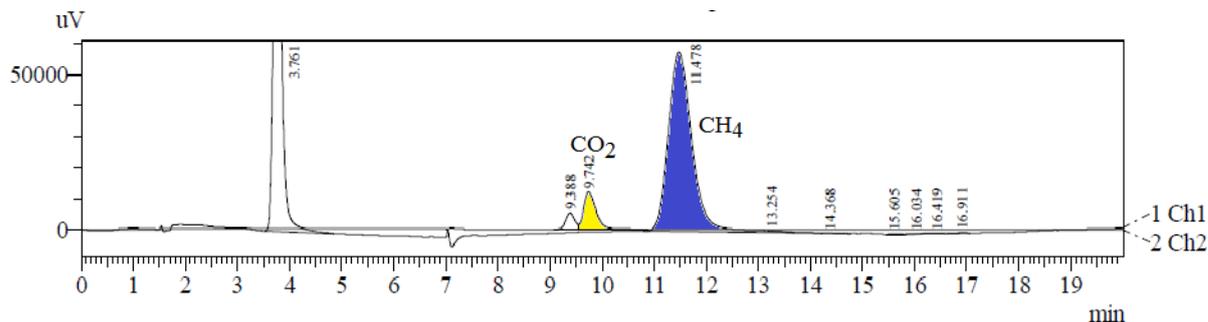
Temperatura do reator (°C)	Concentração de CH ₄ (ppm)	Concentração de CH ₄ (ppm)	Concentração de CO ₂ (ppm)	Concentração de CO ₂ (ppm)
	CN	CZ	CN	CZ
25	117.248	113.213	164.967	170.643
28	152.380	148.146	245.878	239.013
31	196.438	179.632	318.645	254.921
33	225.997	223.248	321.957	346.324
35	229.317	226.856	359.121	364.531

Fonte: Laboratório de Aquicultura Sustentável UNESP - Instituto de Biociências / Campus do Litoral Paulista, (2018).

A temperatura ideal para otimizar a biodigestão anaeróbia, encontra-se na faixa mesofílica, de 35 °C (SANTOS, 2012). Conseqüentemente, com temperaturas inferiores irá produzir biogás, porém em menor quantidade, corroborando com o que foi encontrado na Tabela 6.4. Tietz (2013), também informa que na faixa mesofílica de operação de digestores anaeróbios propicia a maior produção de biogás. Onde as temperaturas são baixas e há muitas oscilações térmicas, pode prejudicar a produção de biogás. Apesar da ocorrência de baixas temperaturas no presente estudo, ela não oscilou muito, ou seja, não houve muita variação térmica, o que também é importante para a produção de biogás.

A análise comparativa da produção de metano usando os dois tipos característicos da cama de frango com Capim Napier (CN) e Casca de Arroz (CZ), foi necessária para avaliar quantitativamente a eficiência do sistema, no que se refere ao volume de biogás produzido, e caracterizar os micronutrientes do biofertilizante dos reatores anaeróbios da planta em estudo, uma vez que os dois inóculos aqui estudados possuem teores de materiais lignocelulósicos bem distintos, e isso interfere na cinética de degradação bioquímica da matéria orgânica nos reatores. As Figuras 6.2 e 6.3 trazem um comparativo da concentração de metano CH₄ e CO₂, respectivamente, com os dois tipos de cama de frango citados acima.

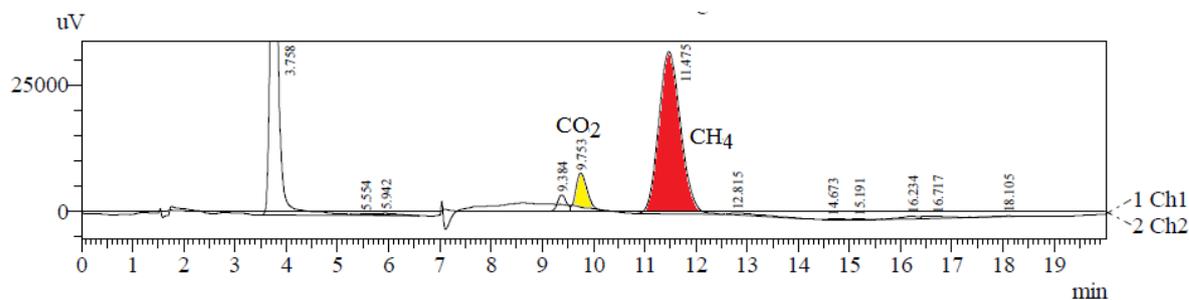
Figura 6.2: Concentrações de CH₄ e CO₂ observadas no reator anaeróbio alimentado com o inóculo CN.



Fonte: Laboratório de Aquicultura Sustentável UNESP - Instituto de Biociências / Campus do Litoral Paulista, (2018).

O maior pico observado na Figura 6.2, corresponde à área da curva relacionada à concentração de metano CH₄. O valor dessa área corresponde a 11478 unidades de área (u.a) e refere-se ao inóculo de Capim Napier. Quando comparado com o pico de metano da Figura 6.3, esses valores são muito próximos, uma vez que a área da curva da concentração de metano do inóculo de Casca de Arroz corresponde a 11475 u.a.

Figura 6.3: Concentrações de CH₄ e CO₂ observadas no reator anaeróbio alimentado com o inóculo CZ.



Fonte: Laboratório de Aquicultura Sustentável UNESP - Instituto de Biociências / Campus do Litoral Paulista, (2018).

Observa-se na Figura 6.3 que a área de maior pico de metano corresponde a 52,5% seguido pelo pico de CO₂ que corresponde a 47,5%. Esses valores médios se aproximam dos encontrados por Zanete (2009), em que o percentual de CO₂ ficou na faixa de 48% e 53% de metano. Os valores de concentrações de CH₄ por unidade de área, nos dois tipos de substratos, são bem próximos, indicando que a mudança no tipo de inóculo que abastecem os reatores, aqui estudados, não interferiu na variação do metano produzido na planta de biogás.

A produção do biogás na fazenda aqui estudada poderia ser aumentada com a adoção de algumas modificações de ordem estrutural do reator (com uma melhor homogeneização do material em seu interior) bem como com as características físicas da biomassa *in natura* (diminuição do tamanho das partículas). Segundo Frigon e Guiot, (2010), no processo de biodigestão anaeróbia de biomassa lignocelulósica, a produção de metano é afetada pela composição e difícil degradabilidade da matéria lignocelulósica. Tal dificuldade se deve a natureza recalcitrante da lignina que reveste a celulose e a hemicelulose, sendo estas os principais carboidratos de interesse do processo. Os teores de lignina, celulose e hemicelulose, volume de poros, tamanho das partículas, área superficial para reações enzimáticas e característica estrutural são os principais fatores que limitam a velocidade da taxa de hidrólise no processo de biodigestão de biomassa lignocelulósica (FRIGON e GUIOT, 2010; HIMMEL et al., 2007; MOSIER et al., 2005).

Estudos comparativos, realizados por Colatto e Langer (2011), avaliaram o cálculo percentual da emissão de metano produzido no Brasil em relação aos demais países do globo, empregando três diferentes tipos de dejetos da exploração: frango de confinamento, atividade de suinocultura e a criação bovina. Os pesquisadores descobriram que os percentuais de metano produzidos por frango foram de 6%, seguido por 3% pelos suínos e 14% pelos bovinos. Esses índices percentuais têm como referência a quantidade de dejetos que cada animal produz por dia. A emissão mundial de CH₄ proveniente da decomposição natural de dejetos suínos chega a cerca de 1,3 milhões de toneladas de metano/ano, sendo que esses dejetos representam cerca de 50% das emissões/ano de CH₄. Considerando-se apenas a digestão anaeróbia desses dejetos, geralmente em cursos d'água, lagos naturais ou artificiais, reatores ou lagoas de decantação, a emissão do metano corresponderia a 58,2% do total, chegando a cerca de 10 milhões de toneladas anuais mundiais de metano (COLATTO e LANGER, 2011).

A não existência de uma política industrial internacional voltada para os produtores de biogás que usam a tecnologia da biodigestão anaeróbia de dejetos animal, impulsionou no protocolo de Kyoto a geração de créditos de carbono por intermédio da queima do biogás em meados de 2007. O aproveitamento energético do biogás também promove a redução de emissão de gases do efeito estufa. O potencial de aquecimento global do CH₄ é 21 vezes superior ao CO₂, assim, a combustão do CH₄ para produzir energia pode reduzir a tonelada de CO₂ lançado para a atmosfera (IPCC, 2013). Desse modo, o sequestro de CH₄ realizado no processo da biomassa residual seria de 16,6 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ (PEREIRA, 2005). Comparativamente a outros combustíveis fósseis, a queima do metano

gera menos poluentes atmosféricos por unidade de energia gerada, por esse fato, é caracterizado como um combustível limpo. Dessa forma, é possível adquirir certificados de redução de emissão de GEEs (RCEs), comercializados de acordo com os critérios do Protocolo de Kyoto (GARCILASSO et al., 2008). Zilotti (2012), mostrou em seus estudos que a combustão de 1 Nm³ (Normal metro cúbico) de biogás, com 65% de CH₄ na mistura, libera 23.400 kJ de calor, enquanto 1 Nm³ de CH₄ produz 36.000 kJ.

Uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) corresponde a um crédito de carbono. Utilizando a tecnologia de biodigestão anaeróbia de dejetos de frangos o produtor estará contribuindo com o meio ambiente e ganhando créditos (créditos de carbono) dos quais podem ser negociados no mercado internacional, conforme o protocolo de Kyoto (PEREIRA, 2005).

O sistema de granjas da Fazenda Bom Tempo (FBT) possui dez galpões de confinamento de frangos, onde são alojados 300.000 aves por ciclo (um ciclo corresponde a um período de aproximadamente 42 dias), em um manejo de cinco ou seis ciclos/ano.

Segundo Colatto e Langer (2011), uma ave gera aproximadamente 0,18 kg de dejetos por dia. Dessa forma, a propriedade em estudo, produz uma média aproximada de 2268 ton/ciclo, ou seja, 9072 ton/ano, considerando 4 ciclos anuais.

O Centro Nacional de Referência da Biomassa – CENBIO utilizam uma metodologia para quantificar (Equação 5), teoricamente, o potencial de produção de metano a partir de dejetos avícolas.

$$\text{CH}_4 \text{ (m}^3\text{/dia)} = (\text{Et} \times \text{Pb} \times \text{Conc. CH}_4) / \text{VE} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

Et - Esterco total (kg esterco/dia)

Pb - Produção de biogás (kg biogás/ kg esterco);

Conc. CH₄ - Concentração de metano no biogás [%];

VE - Volume específico do metano (kg/m³).

O Centro Nacional de Referência da Biomassa – CENBIO mostra a produção de biogás via digestão anaeróbia a partir dos dejetos gerados pelas criações de suínos e aves na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Valores de Conversão energética para diferentes tipos de dejetos.

Origem do Material	Produção de esterco por animal (Kg esterco/animal. dia)	Produção de biogás (Kg de biogás /Kg de esterco)	Conc. de Metano (%)
Ave	0,18	0,055	60%
Suíno	2,25	0,062	66%

Fonte: Adaptado: Colatto e Langer, (2011).

Empregando-se os dados experimentais da Tabela 6.5 e da presente pesquisa, foi calculada uma estimativa da quantidade de metano em m³/dia a ser produzido no sistema, considerando a utilização de todo o substrato (cama de frango) gerado diariamente, para a geração de metano via digestão anaeróbia. E assim, calculando o volume de CH₄ produzido diariamente, tem-se:

$$\text{CH}_4 \text{ (m}^3\text{/dia)} = (300.000 \text{ animais} \times 0,18 \text{ kg esterco/animal. dia} \times 0,055 \text{ kg de biogás /kg de esterco} \times 0,60 \text{ kg CH}_4\text{/kg biogás}) / (0,670 \text{ kg/m}^3)$$

$$\text{CH}_4 \text{ (m}^3\text{/dia)} = 2659 \text{ m}^3\text{/dia} = 63816 \text{ m}^3\text{/h}$$

Com a utilização do substrato a base de Capim Napier, a produção média experimental de biogás foi de aproximadamente 129,6 m³/dia (Figura 6.1). Considerando a concentração de metano no biogás (Figura 6.2), tem-se a produção de metano de 67,4 m³/dia nas condições atuais de operação dos reatores dessa pesquisa. Esse valor aqui calculado representa apenas em torno de 3 % do total encontrado teoricamente utilizando a Equação 5 (2659 m³/dia), o que indica que a fazenda em estudo pode expandir seu sistema de biodigestão, com aumento na capacidade de operação dos reatores anaeróbios.

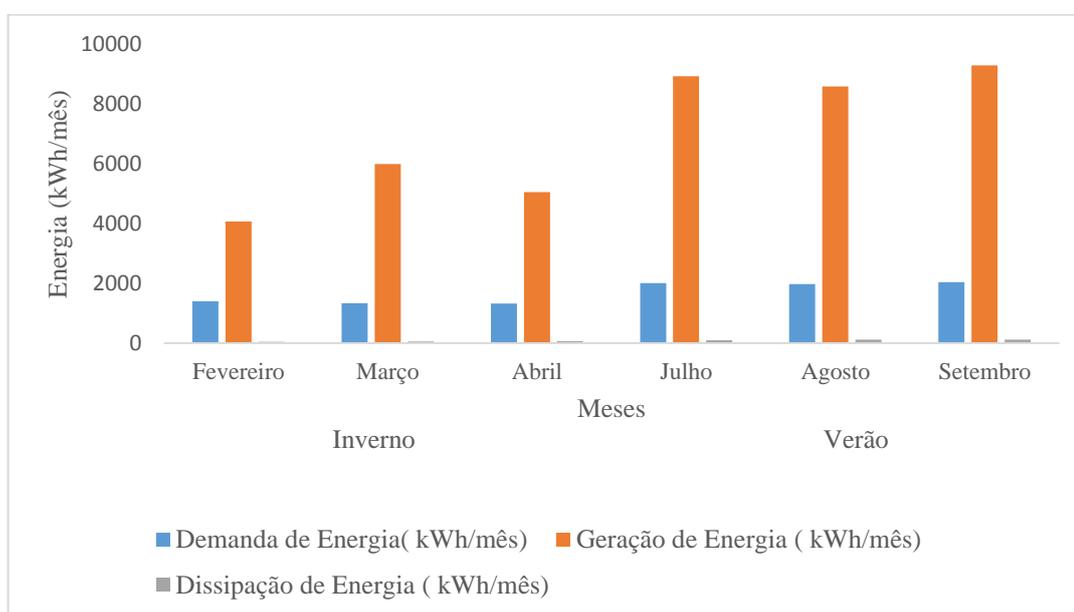
Com efeito, efetuando um comparativo simples, uma residência comum com sala, cozinha, dois quartos, área de serviço e um banheiro consomem aproximadamente 150 a 190 kWh mês⁻¹. Considerando-se um consumo médio de energia elétrica em 190 kWh, a produção de biogás, considerada acima, poderia suprir um total de aproximadamente 2.779 casas por mês (COLUNA, 2016).

É notável a expansão desse tipo de “fazenda” que usa a digestão anaeróbia de dejetos de animais para a produção de biogás. Em 2013 o metano foi produzido em 14 países Europeus e em mais de 230 plantas de biogás com uma capacidade total de 0,8 bilhões de metros cúbicos por ano (EBA, 2013). Em 2014, com o desenvolvimento da indústria do

metano, foi registrado 367 plantas de metano, um aumento de 23% comparado com o ano de 2013. As 367 instalações de digestão anaeróbia na Europa têm uma capacidade total para produzir 310.000 metros cúbicos de biogás por hora. A Alemanha lidera a taxa de crescimento com 178 plantas, seguida pela Suécia com 59 e Reino Unido com 37 (EBA, 2015; MME, 2016).

A Figura 6.4 traz um comparativo entre a demanda e geração de energia (kWh/mês) da planta localizada na Fazenda Bom Tempo.

Figura 6.4: Demonstrativo de energia elétrica em dois períodos do ano: inverno e verão.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Os resultados do monitoramento apresentados na Figura 6.4 mostram que as médias de energia elétrica demandada e gerada no período de inverno (a temperatura oscila entre 23 a 30 °C durante o dia) foram de 1356 e 5033 kW/mês, respectivamente. No período de verão (temperaturas entre 25 e 36 °C), a geração e consumo médio de energia elétrica superou o período de inverno, sendo 2006 kW/mês (energia consumida) e 8928,33kW/mês (energia gerada pelo sistema). Comparando os dois períodos estudados, foram observados aumentos de 67,5 % para a demanda de energia elétrica e 56,4 % para a geração de energia produzida pelo sistema.

O fator que justifica esse alto valor na produção de energia (kW/mês) está relacionado com o aumento da temperatura no interior dos reatores anaeróbios. A temperatura é um parâmetro fundamental em processos biológicos, uma vez que influencia diretamente a taxa de crescimento microbiano, a cinética do processo e a estabilidade, e conseqüentemente a

produção de metano (BABAEE et al., 2013). O processo de digestão tem que se manter estável, uma vez que a oscilação de temperatura pode afetar o crescimento dos microrganismos, especialmente os metanogênicos, causando inibição dos mesmos e diminuindo a produção de biogás. Temperaturas baixas apresentam baixo crescimento microbiano, apresentando baixo rendimento de biogás. O aumento da temperatura tem inúmeros benefícios, incluindo o aumento da solubilidade de compostos orgânicos, melhorando as velocidades de reações biológicas e químicas (MENEZES, 2015). Contudo, de acordo com Deublein e Steinhauser (2011), o aumento da temperatura, influencia parâmetros como a dissociação de amônia, podendo ocasionar efeito inibitório. Em geral, a digestão anaeróbia é operada na temperatura mesófila principalmente pelo menor gasto de energia reduzindo custos de operação do processo (MAO et al., 2015).

Massé e Massé (2001), também avaliaram a influência da temperatura sobre o tratamento anaeróbio de efluente de aves, por meio da remoção de DQO e produção de biogás na faixa de 20 a 30 °C, sendo verificadas remoções de 90,8; 88,7 e 84,2% de DQO nas seguintes amplitudes térmicas: 30, 25 e 20 °C, respectivamente. No entanto, quando analisaram a produção de metano, os autores constataram que na condição em que ocorreu redução da temperatura de 30 para 25 °C, a taxa específica de produção não foi afetada.

Esse argumento, da produção de biogás em função da temperatura do reator anaeróbio, é verificado no sistema em estudo, quando comparado os percentuais semestrais de demanda e geração de energia (kWh) da planta. Nos seis meses analisados (período de inverno + período de verão), a planta gerou uma média de 41.884 kWh/semestral de energia elétrica, sendo 26.785 kWh no período seco do estado e 15099 kWh no período de chuvas.

Em relação à demanda de consumo semestral de energia, houve um aumento considerável entre os dois períodos do ano aqui estudados. O sistema demandou 10086 kWh/semestral de energia elétrica, dos quais 40,33% foi no inverno e 59,66% nos meses mais quentes da região. Esse aumento na demanda energética está associado diretamente ao fato do acionamento dos ventiladores e climatizadores dos galpões de alojamento dos frangos, nos períodos tarde e noite, onde se notou elevados índices de temperaturas, necessitando de equipamentos de alto consumo energético em funcionamento por mais tempo no interior do aviário. Outro fator a ser considerado é o alto consumo de água pelas aves no verão (12% a mais que no inverno), aumentando a frequência de acionamento da bomba de fornecimento de água para os reservatórios localizados no interior dos aviários, crescendo cerca de 50% o seu uso diário, se comparado com o período de chuvas na região estudada.

Comparando os meses do período estudado, fevereiro foi o que apresentou a maior relação entre demanda/consumo de energia, em torno de 34,5 % e isso decorreu do fato da região amazônica legal (local onde se encontra a planta em estudo) apresentar maior concentração de chuvas/mês e conseqüentemente uma diminuição considerável da temperatura no interior dos aviários. Essa ação tem como conseqüência o acionamento imediato dos aquecedores térmicos, que elevam gradativamente a temperatura no interior dos aviários entre 6 e 8 °C.

E ainda, outra variável do sistema que interfere no aumento percentual de energia (kWh) gerada é a quantidade de energia elétrica dissipada (não aproveitada) por dia, pelo grupo gerador da planta de biogás, isto é, o sistema motor-gerador deixa de lançar na rede de distribuição uma média de 2,8kWh/dia de energia elétrica. Esse valor representa 0,5% de energia desperdiçada se comparada com o período de inverno.

A geração de energia elétrica é maior que a quantidade de energia demandada pelo sistema, sendo assim, a Fazenda em estudo ganha créditos de energia em kWh pelo percentual excedente (kWh gerado menos o kWh demandado) de energia lançado na rede elétrica, que é responsável diretamente pela vistoria e leitura dos kWh de energia gerados pelo quadro motor-gerador e consumido por todo o sistema. Todos os meses são informados os dados referentes a geração e consumo de energia pelo sistema da FBT. Essa diferença positiva de kWh é convertida em “créditos” de energia elétrica, que podem ser aproveitados pelo próprio sistema quando não houver geração de energia elétrica decorrente da insuficiência de cama de frango em certo período do ano.

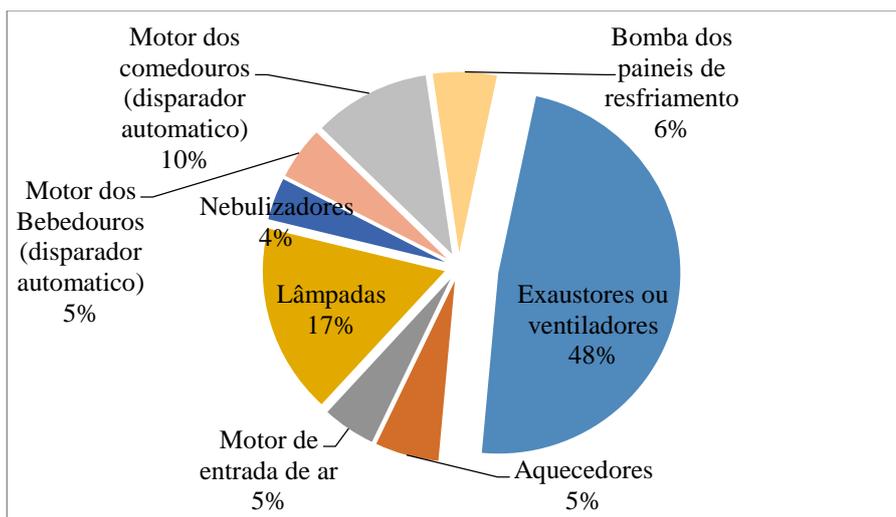
6.4 Consumo energético da Fazenda Bom Tempo.

As características de potências das bombas e dos motores assim como a quantidade de equipamentos que consomem energia elétrica nos dez galpões do sistema são agrupadas em três núcleos: A, B e C. O núcleo A (NA) possui cinco aviários, o núcleo B (NB) possui três aviários e o núcleo C (NC) 2 aviários, totalizando dez galpões de confinamento de frangos.

Com efeito, o estudo tomou como referência apenas o consumo de energia dos equipamentos elétricos dos galpões das aves, mas sabe-se que os motores misturadores de substratos nos tanques de hidrólise e a bomba misturadora do efluente dos reatores anaeróbios, e as três residências da fazenda aqui estudada somam aproximadamente 260 kW/mês, cerca de 1% da energia elétrica produzida pelo sistema no período de inverno. As

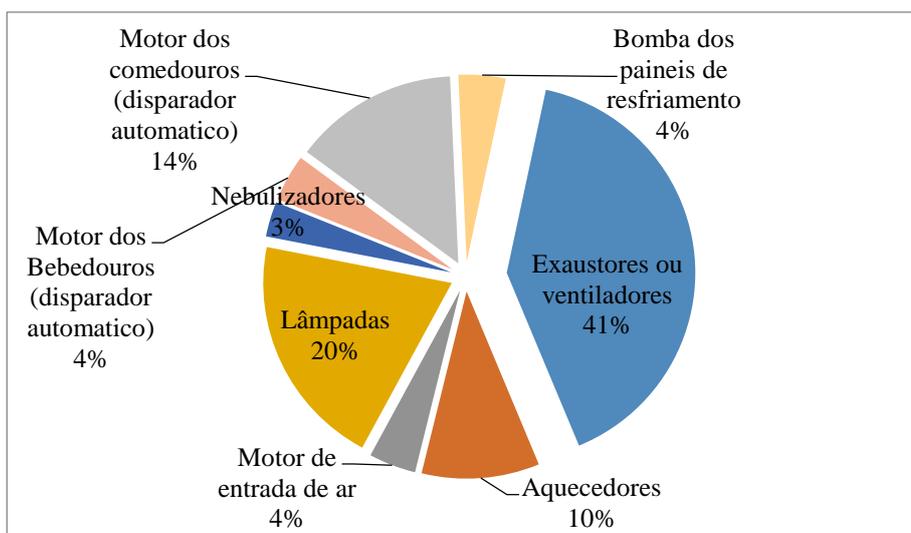
Figuras 6.5 e 6.6 mostram os consumos médios de energia elétrica dos aviários nos períodos de verão e inverno de 2018.

Figura 6.5: Consumo médio mensal de energia kW dos equipamentos elétricos do galpão e planta de biogás no verão.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Figura 6.6: Consumo médio mensal de energia dos equipamentos elétricos do galpão e planta de Biogás no inverno.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

A demanda de consumo energético dos galpões é influenciada pelo período do ano, isto é, no verão os exaustores e os ventiladores permanecem por mais tempo ligados, consumindo maior quantidade de energia elétrica devido ao intenso calor no decorrer do dia, fato que não se verifica no inverno, conforme Figuras 6.5 e 6.6, quando observamos o decréscimo de 7% no consumo médio de energia dos exaustores nos dois períodos de inverno e verão, ou seja, somente os exaustores consomem 5,6% da energia produzida pelo sistema no verão. O consumo médio de energia das lâmpadas dos galpões aumentou no período de inverno em 3%, seguido dos aquecedores térmicos em 5% e os comedouros em 4%. O que justifica o aumento do consumo de energia dos comedouros é o fato de no período de inverno as aves consumirem mais ração, aumentando assim a frequência de acionamento do motor alimentador de ração dos comedouros. Para Furlan (2006), baixas temperaturas, podem melhorar o ganho de peso, mas à custa de elevada conversão alimentar. Porém, a exposição a baixas temperaturas compromete a formação do sistema termo regulatório ocasionando o desenvolvimento de doenças do sistema respiratório, prejudicando o desenvolvimento e a produtividade das aves principalmente durante o período inicial de vida dos pintainhos (CORDEIRO et al., 2011). O mesmo ocorre com o motor que transporta a água dos bebedouros, que no período de verão consomem 5% de energia elétrica e no inverno apenas 4%. Conforme Jorge Filho (2013), os gastos de energia nos aviários representam impacto significativo na avicultura e estão diretamente relacionados com a climatização (aquecimento e ventilação) dos galpões, sendo aproximadamente 22% dos custos totais de produção de frango para o avicultor. O autor ressalta um estudo feito por Miele (2010) e que o consumo de eletricidade em um aviário convencional por lote é de 1400 kWh. Desse modo, considerando o total de 6 lotes por ano, com um total de 15 aviários no condomínio, pode-se estimar um consumo de energia elétrica de 126.000 kW por ano. Nascimento (2011) evidencia que o estudo do consumo energético em instalações de frango de corte é fundamental para a sobrevivência da atividade, que está diante de mercados altamente competitivos nos quais, cada vez mais, torna-se necessário o uso racional da energia elétrica. Também para Nascimento (2011) o consumo de energia em aviários varia em função do grau de automação dos sistemas de controle e manejo (sistemas de ventilação, aquecimento, fornecimento de água e alimento, entre outros). Quanto ao consumo e uso racional da energia elétrica pelos sistemas de climatização, Bueno (2004) verificou que em galpões de frango de corte, criados em dois diferentes sistemas de climatização, existiam inúmeras falhas no uso da energia elétrica para manutenção dos equipamentos, em que segundo Turco et al. (1998), existe uma grande variação no consumo de energia elétrica nos conjunto motor/ventilador

utilizados na avicultura brasileira. Estas diferenças podem variar de 0,47 a 0,70 kWh e com uma diferença de consumo de até 27,12%. Segundo Ferrarez (2009), os gastos com climatização podem alcançar 22% dos custos totais de produção do frango para o avicultor.

6.5 Caracterização do biofertilizante produzido no sistema estudado.

Suleyman Sakar (2014), define o biofertilizante como um resíduo aquoso de natureza orgânica, que pode ser utilizado na fertilização do solo, que tem origem da fermentação de resíduos vegetais e animais em reatores anaeróbios. Para Costa (2012), o biofertilizante possui compostos bioativos, resultantes da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal, sendo encontradas em seu conteúdo, células vivas ou latentes de microrganismos de metabolismo anaeróbio e fermentação (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) e também metabólitos e quelatos organominerais. A qualidade do biofertilizante está associada, principalmente, ao tipo de substrato e da maneira com que se desenvolve o processo a que determinado substrato é submetido. A Tabela 6.6 mostra os resultados das concentrações médias de nutrientes encontrados em amostras efluentes de biofertilizante produzido nessa pesquisa.

Tabela 6.6: Concentrações médias de macronutrientes, em g/kg, dos efluentes dos reatores inoculados com camas de frango a base de dois substratos: (a) Capim Napier (CN) e (b) Casca de Arroz (CZ).

Substrato	N	P	K	Ca	Mg	Na
	(g/kg)					
Efluente CN	45,72	33,21	88,26	25,82	15,43	20,60
Efluente CZ	53,13	31,14	98,31	20,40	16,24	26,70

Fonte: Laboratório de Análise Agropecuário Solocria Ltda. (2018).

Os resultados dos teores de NPK avaliados nas amostras, mostram que ocorreu maior concentração de nitrogênio no biofertilizante produzido a partir do substrato casca de arroz, um aumento de cerca de 16% comparado com o segundo substrato aqui investigado. A quantidade de fósforo do biofertilizante a base de capim Napier foi superior ao efluente a base de casca de arroz, cerca de 6 %. O maior teor de potássio foi observado no biofertilizante proveniente da digestão de casca de arroz (98,21 g/kg).

É importante considerar que o aumento da concentração de nutrientes pode contribuir para o aumento da produção de biogás, pois oferece um meio mais propício ao

desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios, assim como permite a obtenção de um biofertilizante com maior concentração de elementos fertilizantes. Excesso de nutrientes, em especial o nitrogênio, pode também contribuir para a inibição de microrganismos da digestão anaeróbia, em especial, os seres metanogênicos (PECORA e DJALMA, 2018).

Deve-se destacar que a composição, quantidade e as características da cama de frango variam de acordo com o material, densidade, duração do ciclo, número de ciclos criados, tempo de armazenagem, além de técnicas de manejo das aves, fatores ambientais e fisiológicos. Estas variações irão conferir diferentes concentrações de macro e micronutrientes nas camas, o que tem influência no processo de biodigestão anaeróbia e na qualidade do biogás e do biofertilizante (NOGUEIRA, 2015).

A Tabela 6.7 mostra as concentrações médias de micronutrientes, em amostras afluyente e efluente do reator anaeróbio, empregando dois tipos distintos de matéria vegetal usado como cama de frango do sistema.

Tabela 6.7: Concentrações médias de micronutrientes em amostras afluyente e efluente dos reatores anaeróbios empregando dois tipos de substrato (Capim Napier e Casca de Arroz).

Micronutrientes (mg/kg)	Tipo de Substrato			
	Capim Napier		Casca de Arroz	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Zn	972,42	1745,4	995,71	1842,6
Cu	746,12	1032,1	681,03	998,4
Mn	321,4	437,3	210,70	401,9
Fe	1986,1	2042,6	2060,36	2113,6
Cr	6,12	9,27	3,10	6,48
Pb	12,5	15,43	8,06	14,9
Ni	3,9	5,98	4,80	5,13
Cd	0,61	0,91	0,12	0,99

Fonte: Laboratório de análises de líquidos da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM (2018).

Comparando as amostras afluentes dos reatores com os dois tipos de substratos estudados nessa pesquisa, observa-se que há uma maior concentração de manganês (Mn) nas amostras a base de Capim Napier (CN), cerca de 52 %, em relação ao segundo substrato empregado. O percentual de crômio (Cr) foi bem superior nas amostras afluentes empregando

Capim Napier, em torno de 97 % comparado com a Casca de Arroz (CZ). O ferro foi o micronutriente mais abundante nas amostras afluentes para os dois tipos de materiais. A concentração do elemento detectada na amostra afluente do substrato constituído de CZ foi de 2060,36 mg/kg. Dentre os metais aqui analisados, o cádmio foi o que apresentou menor conteúdo nas amostras afluentes dos reatores, com concentração de 0,12 mg/kg para o substrato casca de arroz.

Observou aumentos das concentrações de todos os micronutrientes aqui estudados durante o período de digestão anaeróbia, quando são comparados os conteúdos afluentes e efluentes do sistema para os dois tipos de biomassa empregados como substrato. Os aumentos nos conteúdos de zinco foram de 80 e 85 %, quando são empregados os materiais CN CZ, respectivamente. O teor de manganês teve aumento de 90 % durante a biodigestão empregando CZ.

De acordo com Konzen (2003), o biofertilizante apresenta maior concentração de nutrientes do que o resíduo original, devido as grandes perdas de carbono, hidrogênio e oxigênio. A composição média do biofertilizante é de 1,5 a 4,0% de nitrogênio, 1,0 a 5,0% de fósforo e 0,5 a 3,0% de potássio, além de apresentar vários nutrientes como cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco, o que lhe garante inegáveis vantagens para utilização como complemento ou substitutos de adubos nitrogenados químicos. Essa redução é considerada normal em operações de reatores contínuos ou em batelada, pois esse acréscimo na concentração no efluente, em comparação com o afluente, é em função da redução da fração orgânica, por meio da produção de biogás, que haveria concentração dos constituintes inorgânicos.

Como a produção volumétrica de biofertilizante é proporcional ao volume de substrato inoculado nos reatores anaeróbios, pode-se pré-fixar uma faixa de produção do mesmo de acordo com o volume de descargas diárias realizados nos tanques de hidrólise. Considerando que são inoculados nos reatores anaeróbios em torno de 24 m³/dia de substrato afluente, com uma concentração de 132 Kg/m³ de inóculo, pode-se estimar um volume de biofertilizante produzido em torno de 24.000 litros/dia, já que o sistema empregado é de regime hidráulico em batelada, com perdas insignificantes de líquido ao longo da operação. O volume diário de descarga de biofertilizante corresponde aproximadamente a 1 % do volume útil da lagoa de estabilização empregada para o depósito do material líquido.

Do ponto de vista comercial, na região onde se localiza o sistema, a tonelada de biofertilizante é negociada entre 8 e 10% do salário mínimo durante todo o ano, destacando alguns entraves para a sua comercialização do material, tais como transporte para grandes

volumes vendidos, falta de conhecimentos técnicos por partes dos compradores, resistência em não substituir adubos convencionais e localização da planta de biogás com difícil acesso.

O biofertilizante contribui para aumentar o teor de húmus no solo, melhorando as propriedades físicas e químicas, além de ajudar a melhorar as atividades microbianas do solo, podendo ser aplicado diretamente na forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais de infraestrutura (BABAEE et al., 2013). Como a FBT possui uma vasta área destinada ao cultivo de milho, grande parte do biofertilizante é usado diretamente no solo como adubo para o plantio da lavoura de milho, cerca de 60 % da produção de biofertilizante produzido pela planta de digestão anaeróbia da Fazenda. Levando em conta que o abastecimento dos reatores anaeróbios ocorra por um período de 14 dias/mês ou 168 dias/ano, pode-se projetar a produção de biofertilizante entre 4.032.000 litros/ano, como 60% é demandado pela própria Fazenda, resta uma média de 1.612.800 litros para comercialização.

De acordo com Corrêa e Miele (2011), o valor do biofertilizante obtido da digestão anaeróbia da cama de aves de corte pode ser mensurado a partir da sua concentração de nutrientes (geralmente considera-se apenas N, P e K) e do preço de mercado dos fertilizantes minerais. O valor de mercado do N é obtido a partir do preço da ureia (que contém 44% de N), o valor de mercado do P_2O_5 é obtido a partir do preço do superfosfato simples ou triplo (que contém 18% e 42% de P_2O_5 , respectivamente), e o valor de mercado do K_2O é obtido a partir do preço do cloreto de potássio (que contém 60% de K_2O). No entanto, segundo o mesmo autor, para a utilização da cama de aves como fertilizante orgânico bem como o biofertilizante obtido na biodigestão anaeróbia do referido material, há a necessidade de se conhecer todo o sistema de produção agrícola, principalmente o tipo de solo. Para os pesquisadores, é necessário ter cautela na utilização do material em solos mais arenosos, onde há a possibilidade da lixiviação do nitrogênio na forma de nitrato para as águas subterrâneas e, ou, a possibilidade da excessiva concentração de P na superfície do solo, o qual poderá ser erodido pelo escoamento superficial contribuindo para a eutrofização de cursos e reservatórios de água.

6.6 Temperaturas dos gases do escapamento do motor

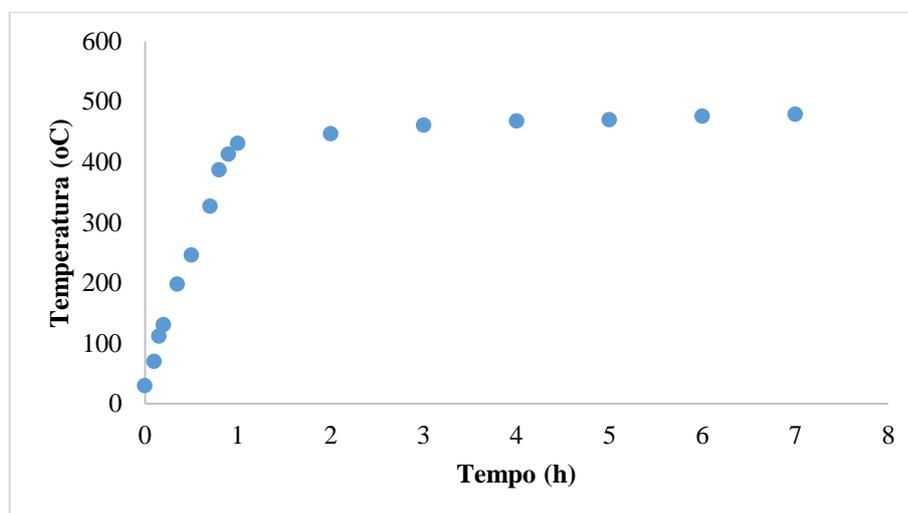
Costa (2006) relata em seus trabalhos que os gases que saem da turbina com energia térmica elevada, podem ser utilizados em processos seguintes para a cogeração de energia térmica através de trocadores de calor.

Segundo Butcher e Nilipour (2002), o crescimento e a engorda de frangos são fatores diretamente influenciados pelas condições térmicas das dependências dos aviários. A queima do biogás com a finalidade de proporcionar conforto térmico pode ser bastante interessante do ponto de vista econômico. A Figura 6.7 mostra os dados obtidos das temperaturas na saída de gases ao longo do funcionamento do grupo gerador.

O processo de dessulfurização ainda não foi adaptado no sistema e será realizado através de uma rota biológica com a introdução de uma quantidade calculada de ar ambiente a ser injetado nos reatores. O sistema deve ser readaptado com um módulo de purificação de biogás antes de entrar no motor de queima. A mistura de gases deve passar por um sistema de resfriamento para a remoção de água e, em seguida, um filtro de carvão ativado para a remoção de gás sulfídrico.

O aproveitamento das altas temperaturas dos gases do escapamento do motor gerador é uma alternativa para a geração de energia na FBT, decorrente de uma produção de calor decorrido da queima do biogás. A temperatura de exaustão dos gases é superior a 400 °C durante o funcionamento do motor gerador (Figura 6.7).

Figura 6.7: Medição de temperaturas de gases no sistema de exaustão do motor grupo gerador da planta de biogás em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Atualmente, o sistema utiliza o óxido de cálcio (a Cal) para a desinfecção da cama de frango nos aviários a cada mudança de ciclo de aves. A geração de vapor a partir dos gases de exaustão do motor gerador contribuiria para a redução de despesas do processo na fazenda aqui estudada.

6.7 Efeitos dos constituintes do biogás nos motores de combustão interna.

O processo de combustão do biogás, (no motor de queima) ainda não possui dispositivos eficientes de remoção e redução dos gases causadores de corrosão nas tubulações e no motor gerador. O único tratamento existente no sistema para a remoção de partes dos constituintes prejudiciais do biogás é a lavagem da mistura gasosa em um tanque de água antes do seu envio para a queima. Na Figura 6.8 são destacados os danos ocorridos devido à corrosão provocada pelos constituintes ácidos presentes no biogás.

Figura 6.8: Processo corrosivo em alguns componentes do motor de queima de biogás.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

O teor de umidade do biogás é reduzido por meio de resfriadores de biogás (CTGÁS, 2014). Estes equipamentos são instalados antes do motor gerador ou da caldeira. O teor de água no biogás pode chegar a 100 g/m^3 . Se o biogás é resfriado a temperaturas de $0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$, a maior parte da umidade é neutralizada (DWA, 2011). Para Gehring (2014), uma temperatura de biogás de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ e um teor de umidade de 100% , cerca de 35 g de água são condensados por m^3 de biogás. Para uma produção de biogás de $100 \text{ m}^3/\text{d}$, $3,5$ litros de água são condensados. Para o resfriamento dessa quantidade de biogás, é necessário um resfriador com uma potência de aproximadamente 350 W . Com a descarga de condensados, gases poluentes como H_2S , amônia e aerossóis também são eliminados.

Para Vervaeren (2011), quando o biogás é extraído dos reatores, o biocombustível é 100% saturado com umidade. A quantidade de vapor de água aumenta durante o verão devido

ao aumento da temperatura nos reatores, o que pode levar a um estágio de supersaturação de umidade. O teor de umidade depende do tipo de biomassa, da porcentagem de diluição e da temperatura ambiente. O vapor de água retém partículas em suspensão que permanecem inertes no processo de biodigestão. Tanto o vapor de água (condensado) quanto as partículas suspensas são prejudiciais aos sistemas de biogás, como geradores e caldeiras.

Conforme Bley Júnior (2010), o gás sulfídrico, aparece em uma concentração aproximada de 10 g/m^3 no biogás, sendo necessária a passagem da mistura gasosa por filtro purificador para evitar o mau cheiro gerado, e principalmente para retirar seu efeito corrosivo, devendo aparecer com uma concentração abaixo de $1,5 \text{ g/m}^3$. Para Allegue e Hinge (2014), o estudo das reações químicas indica que, durante a combustão, o H_2S sofrerá reação e formará SO_2 e H_2O . Como consequência, o SO_2 reagirá com o H_2O , resultando em H_2SO_3 . O SO_2 pode também reagir com o O_2 , formando SO_3 e, então, com o H_2O , para formação de H_2SO_4 , ácido altamente corrosivo.

Yang (2014) converge para a ideia de que a amônia é outro componente corrosivo do biogás. Normalmente, o NH_3 reage com o H_2O , formando NH_4OH , o qual apresenta potencial corrosivo aos componentes que contém alumínio e cobre, cita Tansel e Surita (2016), sendo associada à formação de óxidos de nitrogênio durante o processo de combustão.

E ainda, segundo estudos de Oliveira (2004) e Garcia (2015), bronzinas e buchas que, usualmente, são produzidas com estes metais, são suscetíveis à corrosão. A formação destes gases corrosivos segue três caminhos distintos no processo de degradação do motor. O primeiro associa-se à formação de películas de recobrimento dentro da câmara de combustão e ataque corrosivo aos componentes expostos na frente de chama da combustão e, eventualmente, a gases não queimados. O segundo relaciona-se à vazão de gases pelos anéis de segmento, conhecido como *blow by*, o qual provocará acidez no óleo lubrificante oriundo deste efeito. Desta forma, todas as peças metálicas em contato com este óleo lubrificante sofrerão corrosão. O terceiro vincula-se ao sistema de desaeração do cárter, o qual provocará uma retroalimentação dos gases oriundos do *blow by* novamente para a câmara de combustão (GARCIA, 2015).

A Figura 6.9 mostra algumas peças do motor Otto Ciclo danificadas em decorrência da corrosão por H_2S .

Figura 6.9: Corrosão por gás sulfídrico de alguns componentes do motor de biogás.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Para Brunetti (2012), as ligas cobre-bronze são extremamente suscetíveis ao processo de corrosão por H_2S em motores de combustão interna. A reação entre cobre e H_2S é muito rápida. A combinação de altas temperaturas de combustão e pressão são ideais para o desencadeamento de processos de corrosão no sistema cilindro, anéis e pistão.

Algumas empresas vêm desenvolvendo óleos lubrificantes para inibição do processo de corrosão em motores movidos a biogás. Embora estes óleos sejam ideais para neutralização de ácidos fortes formados a partir dos produtos de combustão, não são, especificamente, formulados para combater o ataque por H_2S . A fabricante de motores Waukesha Engines especifica um range de óleo, em relação ao *Total Base Number*, dependendo do conteúdo de H_2S no biogás a ser utilizado. Este fabricante também recomenda a análise regular do *Total Base Number* (TBN) e do *Total Acid Number* (TAN), para especificação de critérios de aceitação (GARCIA 2015; PROBIOGÁS, 2016).

6.8 Principais problemas na planta de biogás e a manutenção dos reatores.

A manutenção do sistema é um dos maiores problemas que ocorrem na planta de biogás. Com o passar dos anos a produção de biogás e a eficiência do sistema começa a decair, uma vez que os reatores anaeróbios acumulam muito lodo (matéria sólida) e devem passar por uma limpeza para retomar a eficiência plena na produção efetiva de biogás. A planta em estudo já começa a demonstrar problemas operacionais em relação a produção de biogás.

Dentre os principais problemas observados no sistema, podem ser citados:

- ✓ Indisponibilidade de Capim Napier para ser utilizado como componente da cama de frango dos galpões;

- ✓ Dificuldade de armazenamento do biofertilizante na lagoa de estabilização no período de inverno (as chuvas aumentam o volume de efluente na lagoa);
- ✓ Insuficiência de cama de frango para abastecer os reatores anaeróbios em todo o período do ano;
- ✓ Dificuldade de recirculação das zonas mortas no interior dos reatores anaeróbios;
- ✓ Manutenção adequada do grupo gerador para máxima eficiência de queima de metano e produção de energia elétrica (kW);
- ✓ Assoreamento dos reatores anaeróbios devido ao tamanho das partículas da biomassa sólida;
- ✓ Filtragem e purificação do biogás para aumentar a eficiência de produção de energia elétrica e elevar o tempo de vida útil do motor Otto Ciclo;

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

As conclusões obtidas estão relacionadas às diferentes etapas desenvolvidas durante essa investigação experimental, a saber: (a) características da biomassa *in natura*, (b) avaliação da remoção de matéria orgânica nos reatores, (c) quantificação da vazão de biogás, (d) estudo quantitativo da geração e consumo de energia na fazenda, (e) características do biofertilizante produzido e (f) aproveitamento energético do calor produzido no sistema de exaustão de gases do motor-gerador.

O uso da cama de frango para a produção de biogás e biofertilizante como adubo orgânico é uma saída inteligente para o problema da disposição na cama *in natura* no solo, transformando assim um resíduo em matéria-prima de processo de biodigestão anaeróbia. A avicultura de corte gera resíduos com alto conteúdo energético e de nutrientes que podem ser aproveitados.

A carga de matéria orgânica removida no sistema de biodigestão foi de 79,8 kgDQO/dia, com uma eficiência em termos de degradação de DQO de 51 %. Essa baixa remoção pode estar associada aos seguintes aspectos: (a) partícula da biomassa empregada de grandes dimensões, o que dificultou a hidrólise do material, (b) altos níveis de amônia detectados, o que inibe o crescimento de bactérias metanogênicas e (c) deficiência da homogeneização do substrato no interior do reator, com surgimento de zonas mortas. Os valores de temperatura, pH e alcalinidade se situaram dentro dos comumente estabelecidos para o bom funcionamento de reatores.

Foi observada uma correlação positiva entre a temperatura do interior do reator e a concentração de metano no biogás. A maior produção de biogás nos reatores estudados foi observada no intervalo horário entre 15:00 e 16:30 h, empregando-se Capim Napier como substrato. Os valores de concentrações de CH₄ e CO₂, os dois principais constituintes do biocombustível produzido, estão de acordo com os comumente citados na literatura. Com relação aos períodos monitorados, observam-se balanços energéticos de forma positiva (crédito de energia) nos dois períodos estudados (inverno e verão), destacando-se que nos meses mais quentes foram observadas as maiores vazões de biogás nos reatores e consequentemente da produção energética.

A demanda energética na fazenda é influenciada pelo período do ano. O maior gasto energético foi verificado no período de verão, destacando os exaustores e ventiladores como os principais responsáveis pelo consumo de energia na Fazenda Bom Tempo (48 % do total).

O efluente final tratado apresenta concentrações residuais de matéria orgânica e nutrientes que podem ser utilizados como biofertilizante na agricultura, evitando a depreciação dos recursos hídricos no meio rural sendo que a venda do excesso do biofertilizante obtido representa uma fonte de receita para a Fazenda Bom Tempo.

Durante o funcionamento da planta de queima de biogás, o motor-gerador libera gases de queima com temperaturas superiores a 400 °C. A recuperação da energia térmica dos gases do sistema de exaustão representa uma outra alternativa para a geração de energia na fazenda estudada, proveniente do aproveitamento de calor liberado durante a queima do biogás, o que representa outra fonte de receita para a fazenda pesquisada.

A tecnologia de biodigestão anaeróbia empregada nessa investigação científica pode contribuir com diminuição do custo de energia elétrica de propriedades rurais, proporcionando o desenvolvimento econômico e a melhoria do setor energético local.

Quanto às recomendações, pode-se pontuar algumas sugestões como:

- ✓ Diminuir o tamanho das partículas da CF através do processo de peneiramento, para reduzir o entupimento das tubulações de descargas dos tanques de hidrólise e diminuir o TRH do processo de produção de biogás.
- ✓ Aumentar a concentração de biomassa sólida no preparo do substrato afluente, para efetivamente aumentar a produção de biogás da planta.
- ✓ Construir um mecanismo de caixa de areia, para aumentar o tempo de manutenção dos reatores anaeróbios e diminuir as zonas mortas no seu interior.
- ✓ Em relação ao biofertilizante deveria fazer uma política de comercialização junto aos produtores rurais da região para uso como adubo no solo, pois nota-se uma pequena resistência no uso do produto devido ao fato do conhecimento como adubo específico para certas culturas.
- ✓ Em relação à demanda e produção de energia, o sistema ainda pode aumentar a produção energética, visto que o motor Otto Ciclo deve passar por uma regulagem no processo de combustão do biogás.
- ✓ Disponibilizar um sensor de sólido, conjugado com as bombas de recirculação de efluente em cada reator anaeróbio com o objetivo de verificar os percentuais de zonas mortas ou sedimentação no interior dos mesmos.

- ✓ Acrescentar um filtro de H_2S (gás sulfídrico) antes do grupo gerador com a finalidade evitar a corrosão dos componentes do motor de combustão de biogás.
- ✓ Adicionar um filtro de retenção de H_2O (água) na extremidade da tubulação de captação de biogás para queima.
- ✓ Aproveitar o calor proveniente do escapamento exaustor para aquecimento de caldeiras e reaproveitamento térmico no conforto das aves do sistema e para a desinfecção da cama de frango na reutilização em ciclos posteriores.
- ✓ Usar com maior frequência as bombas de recirculação de efluente e assim garantir a estabilidade das condições nos processos internos dos reatores anaeróbios.
- ✓ Caso possível, obter os valores horários de concentração de DQO de entrada e saída dos reatores, além dos parâmetros já obtidos, recomenda-se a realização de um estudo para criar uma modelagem matemática de todo o sistema de forma a obter equações que modelem todas as etapas do processo de produção de biogás.
- ✓ Criar um sistema automatizado de controle dos reatores que comparem todo o tempo a biomassa no reator, a temperatura, o pH, a acidez, a alcalinidade e os parâmetros físicos de funcionamento, como a vazão e as cargas, evitando-se choques de cargas e varreduras, para que se obtenham melhores valores de concentração de metano e a eficiência máxima da planta de biogás.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual. 2016.** Disponível em: <http://abpabr.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>.
- ABREU, G., P. **Modelos de aquecimento. Iv simpósio brasil sul de avicultura**, Chapecó, p. 65-77, abr. 2003.
- ALCÂNTRA, P.B **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados.** 2007.
- AIRES, A.M.. **Biodigestão Anaeróbia da Cama de Frangos de corte com ou sem separação das frações sólidas e líquidas.** 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP campus Jaboticabal.
- ALLEGUE L. D., HINGE J. **Biogas upgrading** – evaluation of methods for H₂S removal. Danish Technological Institute, Aarhus, 2014.
- AMORIM, A.C., LUCAS JÚNIOR, J., RESENDE, K.T. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24,n.1, p.16-24, jan. /abr. 2004.
- AVISITE: **Portal da avicultura brasileira na Internet.** Disponível em: <http://www.avisite.com.br/economia/estatistica.asp?acao=producao pintos>, acesso em 10/10/2015.
- BARRERA, P. **Reatores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** 2 ed. São Paulo: Ícone, 2003, 106 p.
- BARBOSA, T. M. **A importância da água na avicultura.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade de Brasília. 2013.
- BGS. **Histórico do biogás.** 2012. Disponível em <http://bgsequipamentos.com.br/blog/hello-world/>. Acesso em 31 de dezembro de 2015.
- BALAT, M. H; Öz, C., 2008. **Progress in bioethanol processing.** Progr. Energy Combust. Sci., 34 (5): 551–573.
- BLEY JÚNIOR, C. **Curso de Atualização em energias do biogás.** Módulo I - Introdução: Objetivo e Contexto. [S.l]. [s.n]. [2010]. 78 p.
- BIOGASBURNER. **Design equations for gás burner.** Informações disponíveis em <http://biogas.wikispaces.com/Biogasburners>.
- BOHN, C. et al. **Influência da Alcalinidade na Taxa de Geração de Biogás no Tratamento de Efluentes de um Frigorífico de Aves.** 2014.

- BOULAMANTI, A. K. et al. **Influence of different practices on biogas sustainability. Biomass and Bioenergy**, v. 53, 149–161, 2013.
- BUENO L. G. F., ROSSI L. A. **Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 497-504, 2006.
- BUENO, L.G.F. **Estudo de um frigorífico de abate de frangos enfatizando aspectos relacionados à energia elétrica**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- BUENO, L. G. F.; ROSSI, L. A. **Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 497-504, 2006.
- BUENO, L. G. F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frango de corte**. 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BUTCHER, G.D., NILIPOUR, A.H. **Broiler management - The first 24 hours**. Gainesville: University of Florida - Institute of Food and Agricultural Sciences, 2002. 4p.
- BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. 1 ed. São Paulo: Blucher v.1, 554 p. 2012.
- CARNEIRO, D. R. C. **Viabilidade técnica e econômica de uma unidade centralizada de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos**. 2009. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto – Portugal, 2009.
- CARVALHO, V. F. et al. **Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 3, p. 358-366, 2009.
- CARVALHO, L. E. et al. **Utilização da Nebulização e Ventilação Forçada sobre o Desempenho e a Temperatura da Pele de Suínos na Fase de Terminação** R. Bras. Zootec., v.33, n.6, p.1486-1491, 2004.
- CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. 2011.
- CENBIO. **Medidas Mitigadoras para a Redução de Gases do Efeito Estufa na Geração Termelétrica**. Brasília, 2000, 222 p.
- CHERNICHARO, C. A. DE L. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.

- CHASTAIN J. P, COLOMA-DEL VALLE A, MOORE KP. **Using broiler litter as an energy source: energy content and ash composition.** Appl Eng Agric 2012;28(4):513–22.
- COBB. **Manual de manejo de frangos de corte COBB.** 2008.
- COLATTO ,L; LANGER, M. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.
- CONVERTI A, OLIVEIRA RPS, TORRES BR, LODI A, ZILLI M. **Biogas production and valorization by means of a two-step biological process.** Bioresour Technol 2009; 100(23): 5771–6.
- COLUNA, N. M. E. **Análise do potencial energético dos resíduos provenientes da cadeia agroindustrial da proteína animal no estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Energia (PPGE) do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2016.
- CORTEZ, L. et al. **Principais subprodutos da agroindústria canavieira.** 2014.
- COSTA, D. F. **Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização.** (Monografia). Programa Inter unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- COSTA, L. V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos suínos: Produção de biogás e qualidade do biofertilizante.** 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2009.
- CONTE, A. J. **Efeitos da densidade de criação na fase inicial, da transferência de alojamento aos 21 dias de idade e do tipo de cama no desempenho de frangos de corte.** 1997. 82 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- CTGÁS-ER. **Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis.** Dados de Unidade de Conversão. NATAL, RN. 2014.
- COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** 2006. 58f. Dissertação (Mestrado – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel.
- CORDEIRO, M. B. et al. **Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte.** Engenharia Agrícola, v.31, p.418-426, 2011.

- CORREA, J. C., MIELE, M. **A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos.** In: PALHARES, J. C. P., KUNZ, A. (Ed.). Manejo ambiental na avicultura. 2011. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152.
- DA COSTA SOUSA L., CHUNDAWAT S.P.S., BALAN V., DALE, B.E. **Cradle-to-grave assessment of existing lignocellulose pretreatment technologies.** Curr. Opin. Biotechnol., v.20, p.339–347.2009.
- DAMASCENO, F.A. et al. **Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais.** PUBVET, Londrina - PR, v. 4, n. 42, Ed. 147, Art. 991, 2010.
- DIEDRICH, C., ROCHA, R.D.C., LOPES, C.A. **Produção de biogás a partir de produtos agroindustriais.** In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 17. 2012. Anais... Pato Branco: UTFPR, 2012.
- DWA – Deutsche Wirtschaftsakademie. Guia técnico DWA-M 361: **Tratamento do Biogás.** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef. 2011.
- EBA. **Biogas Report 2015 published** – a record growth in Europe. 2015. Disponível em: <<http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2015/12/2015.12.17-Press-Release-Biogas-Report-2015-a-record-growth-in-Europe.pdf>>
- DRESG. **Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.** Development of Renewable Energy Sources in Germany 2011.: Berlin, Germany, 2012.
- EDWARDS C.A. **Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems.** European Journal of Soil Biology, v.38, p.225-231, 2002.
- ENESEP. **Análise econômica de investimentos que visam à produção de biogás e biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia na bovinocultura de corte.** XXXII Encontro nacional de engenharia de produção. Bento Gonçalves, RS. 2012.
- EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION - EBA. **Proposal for a European Biomethane Roadmap.** 2013.
- FASOLIN, L. B. et al. **Relação entre o Índice de Sustentabilidade e os Indicadores Econômico-financeiros das empresas de energia brasileiras.** Revista em Gestão, Educação e Tecnologia, (REGET). Issn 2236 1170, v. 18, n. 2. Mai-Ago, pp. 955-981, 2014.
- FERRAREZ, A. H. **Análise da Viabilidade do Uso de Biogás Como Fonte Energética na Cadeia Produtiva de Frango de Corte na Zona da Mata de Minas Gerais.** 2009,

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2009.

FERREIRA, R. C. **Ambiência em instalações rurais**. 2007. Disponível em: <http://www.agro.ufg.br/up/68/o/apostila_ambiencia_construcoes_rurais.pdf >. Acesso em: 05 set. 2016.

FERRAREZ, A. H. **Análise da Viabilidade do Uso de Biogás Como Fonte Energética na Cadeia Produtiva de Frango de Corte na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2009, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2009.

FERREIRA JR., J. C. G., RODRIGUES, M. G. **Um estudo sobre a energia eólica no Brasil**. Ciência Atual, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 02-13, 2015.

FIGUEIRA, S. V. **Bem-estar aplicado a frangos de corte**. Seminário (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. 2013.

FRAGMAQ. **Biogás no brasil: sua importância na matriz energética brasileira**. 2012. <http://www.fragmaq.com.br/blog/energia-renovavel/biogas-no-brasil/>. Acesso em 25 de maio de 2015.

FORESTI, E. et al. **Fundamentos do tratamento anaeróbio**. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

FRANÇA, LEVY R. **O Paradigma da cama de frango**. 2010. Dissertação para discussão de mestrado – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2010.

FRIGON J.C., GUIOT S.R. **Biomethane production from starch and lignocellulosic crops: a comparative review**. Biofuel Bioprod. Biorefin Biofpr, v.4, n.4, p.447-458. 2010.

FREITAS, M. B. **Gestão de produção de energia por reatores na Cooperativa Regional Agropecuária de Campos Novos e seus integrados**. 2011. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenheiro Agrônomo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2011.

FURLAN, R.L. **Influência da temperatura na produção de frangos de corte**. 2006. Disponível em<<http://levy.blog.br/arquivos/aula-fesurv/downs-96-0.pdf>>>. Acesso em 30 de mai. 2016.

FURTADO, D. A. et al. **Caracterização das instalações avícolas na mesorregião do a.greste paraibano**. Eng. agríc., Jaboticabal, v. 25, n. 03, p. 831-840, set./dez. 2005.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 96 f. Tese

(Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GARCILASSO, V.P., FIGUEIREDO, N.J.V., COELHO, S.T., VELÁZQUEZ, S.M.S.G. (2008b) **Biogás e o mercado de créditos de carbono**. In: RIO Oil & Gas Expo and Conference, 3 Anais... 2008b. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível.

GEHRING, C. G. **Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na fermentação anaeróbia de vinhaça. Trabalho de Conclusão de Curso**. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação. São Carlos, 2014.

GERVASONI, R., CANTÃO, M. P. **Produção de metano a partir da digestão anaeróbia: relação entre teoria e prática**. Espaço Energia: Revista técnico-científica da área de energia, Paraná, v. 15, 15, Outubro, 2011.

GIZ. **Guia Prático do Biogás Geração e Utilização**. Tradução Eng. Ftal. Marcos de Miranda Zattar. Editor Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 5. ed., 2010.

GUEDES, V. P. **Estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura de aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GUERRA, J. B. S. O. A.. **Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts**. Journal of Cleaner Production. v. 103, n.15, p. 197–210, set. 2015.

GRIMES, J. L. **Alternatives litter materials for growing poultry**. North Carolina Poultry Industry Newsletter, v. 1, 2004.

HAUSMANN, R. **Sistema Inteligente de Iluminação para Duas Lâmpadas Fluorescentes de 40W**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – INEP – UFSC, Florianópolis, 2000.

HAHN, L. **Processamento da cama de frango e suas implicações nos agro ecossistemas**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agro ecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agro ecossistemas, 2004.

HFAC- HUMANE FARM ANIMAL CARE. **Padrões do HFAC para a produção de frangos de corte**. 2006. Disponível em: http://certifiedhumane.org/wp-content/uploads/2016/04/Std14-Frangos-de-Corte-Chickens-1A_.pdf. Acesso em: 11 ago. 2016.

HANS J. N., ANDREAS L., HANS O. AND THOMAS J. **Electric Energy Consumption of the Full Scale Research Biogas Plant “Unterer Lindenhof”: Results of Longterm and Full Detail Measurements.** *Energies* 2012, 5, 5198-5214; doi:10.3390/en5125198.

HIJAZI, O., et al. **Review of life cycle assessment for biogas production in Europe.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* v. 54, p. 1291-1300, feb. 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home_

IPCC. **Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** (2013) Disponível em: <http://www.climatechange2013.Pdf>>.

IQBAL HMN, AHMED I, ZIA MA, IRFAN M. **Purification and characterization of the kinetic parameters of cellulase produced from wheat straw by *Trichoderma viride* under SSF and its detergent compatibility.** *Adv Biosci Biotechnol* 2011;2(3):149–56.

IZUMA, K. OKISHIO YU-KI, NAGAO, N. NIWA, C. YAMANOTO, S. TODA, T. **Effects of Particle Size on Anaerobic Digestion of Food Waste Biodeterioration & Biodegradation:** 64, 601-608, 2010.

JORDAAN, J. D. **The influence of bedding material and collecting period on the feeding value of broiler and layer litter.** (Dissertation] Faculty of Natural and Agricultural Sciences. University of the Free State). Bloemfontein, South Africa, 2004, 77p.

JENSEN, J. K., GOVINDAN, K. **Assessment of renewable bioenergy application: a case in the food supply chain industry.** *Journal of Cleaner Production*, v. 66, 254–263, 2014.

KELLEHER, B. P., LEAHY, J. J., HENIHAN, A. M., O'DWYER, T. F., SUTTON, D., KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves.** In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V Seminário técnico da cultura de milho. Videira, 2003.

KRABBE, E. **Importância da qualidade e do manejo da água na produção de frangos de corte.** XIV Simpósio Brasil Sul de Avicultura e V Brasil Sul Poultry Fair - Chapecó, SC – Brasil, 2013.

LEAHY, M. J. **Advances in poultry disposal technology - a review.** *Bioresource Technology*, v.83, p.27-36, 2002.

LEBRE, N. **Cogeração e Biometanização em Digestão Anaeróbia na ETAR de Abrantes, Apresentação no âmbito da unidade de formação “Optimização dos Recursos Energéticos”, Instituto Politécnico de Tomar (2012)..**

LEI, X; SUGIURA, N; FENG, C; MAEKAWA, T. **Pretreatment of anaerobic digestion**

effluent with ammonia stripping and biogas purification, J. Hazard. Mater 145(2007) 391e397, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.027>.

LEE, I. et al. **Study of Internal Climate of Naturally and Mechanically Ventilated Broiler Houses**. ASAE, No 034060. 2003. 10P.

LING, S., GUOWEI, R., ZHAOBO, H., RUKUN, Z. **Refitting Design of Miniature Biogas Generating System**, Faculty of Engineering and Technology IEEE, China, 2011.

LIU Q., WANG S., ZHENG Y., LUO Z., CEN K. **Mechanism study of wood lignin pyrolysis by using TG- FTIR analysis**. Journal of analytical and applied pyrolysis, v. 82, p. 170-177, 2008.

LONG, H., LI, X., WANG, H., JIA, J. **Biomass resources and their bioenergy potential estimation**. A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013;26:344–352.

LUCAS Jr., J e SANTOS, T.M.B **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. In: Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, 12 de abril de 2000 Concordia, SC.

MACEDO, M. J. M. **Erros de números**. 2008. Disponível em: <<http://errosdenumeros.blogspot.com/2008/07/os-metros-cbicos-de-gs-expressos-em-kwh.html>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

MALAGGI, M., SOUZA, S. N. M. **Estimativa do Potencial de produção de biogás e energia da indústria de abate de frangos no Brasil**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, Paraná, v. 3, n. 0, p.151-162, mar. 2014.

MAO, G., Zou, H., Chen, G., Du, H., Zuo, J.. **Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2015;52:1823–1833.

MARÍN, O.L.Z. **Caracterização e avaliação do potencial fertilizante e poluente de distintas camas de frango submetidas a reusos sequenciais na Zona da Mata do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2011.

MATHERI ANBM, SEODIGENG T, NGILA CJ. **Modelling the Kinetic of Biogas Production from Co-digestion of Pig Waste and Grass Clippings**. in Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2016, London, U.K.; 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomassa**. 2007

- MONTILHA, F. **Biogás – Energia renovável**. 2005. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil com ênfase Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.
- MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras, Editora UFLA, 2002, 626p.
- MSHANDETE A., BJORNSSON L., KIVAIISI A. K., RUBINDAMAYUGI M.S.T. **Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste**. *Renewable Energy*, 31, 2385– 2392, 2006.
- NASCIMENTO, L. A. B. **Análise Energética na Avicultura de Corte: Estudo de Viabilidade Econômica para um Sistema de Geração de Energia Elétrica Eólico-fotovoltaico Conectado a Rede**. 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, 2011.
- NASCIMENTO, G. R., PEREIRA, D. F., NAAS, I. A., RODRIGUES, L. H. A. **Índice Fuzzy de Conforto Térmico para Frangos de Corte**. *Eng. Agrícola*, vol. 31 n.2, p219-229, Jaboticabal, 2011.
- NASCIMENTO, L. A. B. **Análise Energética na Avicultura de Corte: Estudo de Viabilidade Econômica para um Sistema de Geração de Energia Elétrica Eólico fotovoltaico Conectado a Rede**. 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, 2011.
- NCSU, Poultry manure as a fertilizer source. **Biological and Agricultural Engineering**. Department, North Carolina State University .2015.
- NEITZKE, G. **Geração Elétrica Distribuída a Partir da Gaseificação de Peletes de Cama de frango**. 2010, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasil 2010.
- NEVES, V. L. V. **Construção de reator para a produção de biogás a partir da fermentação de esterco de aves**. 2010. 56 f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade Tecnológica de Araçatuba, Araçatuba, 2010.
- NOGUEIRA, C. E. C., et. al. **Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48 , p. 300-305, ago. 2015.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. **Produção e aproveitamento de biogás**. In: OLIVEIRA, P.A.V. *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas práticas*. Concordia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Cap. 4, p. 43-45.
- OLIVEIRA, M.C, ALMEIDA, C.V, ANDRADE, D.O. e RODRIGUES, S.M.M. **Teor de**

matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.32, n.4, p.951-954, 2003.

OLIVERIA, L. R. P. **Reator, Seminários Técnicos de Suinocultura, VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura**, 13 a 15 de setembro de 2005, Goiânia, Goiás.

PAGANINI, F. J., MENDES, A. A., NÄÄS, I. A., MACARI, M. **Produção de aviários de corte: manejo de cama.** Ed. Produção de frangos de corte. São Paulo: Campinas, p. 107-116, 2004.

PALHARES, J. C. P. **Uso da cama de frango na produção de biogás.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. (Circular Técnica, n. 41).

PALHARES, J. C. P., JACOB, A. D. **Impacto ambiental da suinocultura e da avicultura nos recursos hídricos.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E PECORA V.G., DJALMA A. N. J. **Tecnologias de Produção e Uso de Biogás e Biometano.** Sinergia – Gases, combustíveis e sustentabilidade. 2018.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por Reatores.** Monografia. Curso de Graduação de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

PHILBROOK A, ALISSANDRATOS A, EASTON CJ. **Biochemical processes for generating fuels and commodity chemicals from lignocellulosic biomass, environmental biotechnology.** In: Marian P, editor New approaches and prospective applications. Rijeka: InTech; 2013. p. 39–64.

PEREIRA M. L. **Reatores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura.** São Paulo, SP, 2005; Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>.

POSSA, R. D. **Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos.** 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

PROBIOGÁS. **Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ);** autores, Felipe Correa de Souza Pereira Gomes [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 147 p.2016.

QUADROS, D. G. **Reator na agricultura familiar do semiárido.** Salvador: EDUNEB. 1. ed. 96 p. 2009.

- RAJAGOPAL, R AND MASSÉ, D. **Start-up of dry anaerobic digestion system for processing solid poultry litter using adapted liquid inoculum.** Process Safety and Environment Protection. v.102, p-495-502.2016.
- RAJAGOPAL, R. MASSÉ, D.I., SINGH, G., **A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia.** Bioresource Technology. v.143, p.
- ROSTAGNO, H. S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais.** 2º Ed. Viçosa: UFV, 2005, 186p.
- SCHNURER A, JARVIS A. **Microbiological handbook for biogas plants,** 2010. Swedish Waste Management U; 2010. p. 1–74.
- SAGULA, A. L. **Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-biodigestão com caldo de cana-de-açúcar.** 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.
- SANDERS, C. A. e DUKATS, E. L. (1992) **Evaluation of Percent Fracture of Hot-Mix Asphalt Gravels in Indiana. Effect of Aggregate and Mineral Filler on Asphalt Mixture Performance,** R. C. Meininger, American Society for Testing and Materials, STP 1147. Philadelphia, PA.
- SANTOS, P. A. **Qualidade do ar, conforto térmico e desempenho de frango de corte em dois sistemas de aquecimento e de ventilação.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- SANTOS, T. M. B. **Balço energético e adequação do uso de reatores em galpões de frangos de corte.** 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Fac.de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- SANTOS, T. M. B., LUCAS JUNIOR, J. **Utilização de resíduos da avicultura de corte para a produção de energia.** In: CONGR. INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA.
- SANTOS, C. C. **Avaliação físico-química de compostos de cama de frango e sua utilização na agricultura.** Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2000. 93 f.
- SANTOS, I. A. dos. **Emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas à bovinocultura: o valor fertilizante do esterco e o impacto da biodigestão anaeróbia.** 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Departamento de Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.
- SANTOS, E.L.B., NARDI JUNIOR, G. **Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal.** Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v.4, n.2, p.80-90, Ag. 2013. ISSN 2176 – 4808.
- SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRAO, N. E. M. **Composição química de onze**

materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas.

SILVA, W. R. **Estudo Cinético do Processo de Digestão Anaeróbica de Resíduos Sólidos Vegetais.** 2009, Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil 2009.

SILVA, D. J., QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos - métodos químicos e biológicos.** UFV: Viçosa. 3. ed. 235 p. 2004.

STAMBASKY, J. The Present Status and Future Prospects of the Biogas Industry in Europe. In: BIOSURF Workshop, Amsterdam, 2017. Disponível em: <www.biosurf.eu/wordpress/wp-content/uploads/2015/06/The-Present-Status-and-Future-Prospects-of-the-Biogas-Industry-in-Europe.pdf>. Acesso em: junho de 2018.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Avicultura: técnicas no campo avançam mais de 20% com auxílio da ciência.** 2016. Disponível em: <<http://sna.agr.br/avicultura-tecnicas-no-campo-avancam-mais-de-20-com-auxilio-da-ciencia/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

SOUZA P. **Avicultura e clima quente: como administrar o bem-estar às aves?** 2016.

SULEYMAN SAKAR, KAAN YETILMEZSOY, EMEL KOCAK. **Aerobic Digestion Technology In Poultry And Livestock Waste Treatment.** A Literature Review. Waste Management & Research, 2014.

SUN, Q. et al. **Selection of appropriate biogas upgrading technology - a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 51, p. 521-532, 2015.

TANSEL B., SURITA, S.C. **Selectivity and limitations of carbon sorption tubes for capturing siloxanes in biogas during field sampling.** Waste Management, n. 52, 122–129, 2016.

TESSARO, A. A. **Potencial energético da cama de frango produzida na região sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás.** 2011, Dissertação (mestre em desenvolvimento de tecnologia - prodetec), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (lactec) e o Instituto de engenharia do Paraná (iep), Curitiba, 2011.

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.

TOLMASQUIM, M.T. Energia Renovável: **Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** Empresa de Pesquisa Energética - EPE: Rio de Janeiro, 2016.

TUNDISI, J.G. 2003 A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez.** Rima, IIE, São Carlos. 247p.

TRUGILHO P.F., LIMA J.T., MENDES, L.M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptussaligna**. Revista Cerne, Lavras, v.2, n.1, p.94- 111. 1996.

UBABEF. Brazilian Poultry Association, **Annual Report 2010/2011**, Brazil, 2011. Disponível em: <http://www.avisite.com.br/economia/estatistica.asp?acao=producaopintos>, acesso em 10/10/2011.

VAN FOREEST F. **Perspectives for biogas in Europe**. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies; 2012.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994.

VIGODERIS, R. B. et al. **Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, p.1381-1386, 2010.

VIRIATO, CRISLANNE LEMOS. **Influência da Granulometria e da Concentração De Sólidos Totais De Resíduos Sólidos Vegetais No Processo De Bioestabilização Anaeróbia**. 2013.

VUKOBRATOVIC, M., SLJIVAC, D., NIKOLOVSKI, S. **Energy Potential and so Far Course of Action of Using Biomass and Biogas in Croatia**, Faculty of Electrical Engineering in Osijek, Croácia, 20° International Conference on Electricity Distribution 2009.

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

XU, Y. et al. **Long-term dynamics of leachate production, leakage from hazardous waste landfill sites and the impact on groundwater quality and human health**. Waste Management, v. 82, p. 156 - 166, december 2018.

YANG, L. et al. **Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 40, p. 1133-1152, 2014.

YA, X. et al. **Buffering distance between hazardous waste landfill and water supply wells in a shallow aquifer**. Journal of Cleaner Production, november 2018.

WANG X, YANG G, FENG Y, REN G, HAN X. **Optimizing feeding composition and carbonnitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw**. Bioresour Technol 2012;120:78–83.

WANG, Y. et al. **Site selection for municipal solid waste landfill considering environmental health risks.** Resources, Conservation and Recycling, v. 138, p. 40 - 46, november 2018.

WIRTHA, S. et al. **Informal institutions matter: Professional culture and the development of biogas technology.** Environmental Innovation and Societal Transitions, v. 8, 20-41, 2013.

ZANETTE, ANDRÉ LUIZ. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** 2009. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ZILOTTI, H.A.R. **Potencial de produção de biogás em uma Estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica.** Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel (2012).