

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MEQUISTA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO CAMA DE FRANGO DILUÍDA
EM ÁGUA E EM BIOFERTILIZANTE DE DEJETOS DE SUÍNOS**

LAURA VANESSA CABRAL DA COSTA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Maio – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MEQUISTA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO CAMA DE FRANGO DILUÍDA
EM ÁGUA E EM BIOFERTILIZANTE DE DEJETOS DE SUÍNOS**

LAURA VANESSA CABRAL DA COSTA

Orientador: Jorge de Lucas Junior

Co-orientadora: Izabel Cristina Takitane

Tese apresentação à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Maior – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C837p Costa, Laura Vanessa Cabral da, 1980-
Produção de biogás utilizando cama de frango diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos / Laura Vanessa Cabral da Costa. - Botucatu : [s.n.], 2012
xiii, 75 f. : il., gráfs. color., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012

Orientador: Jorge de Lucas Junior
Co-orientador: Izabel Cristina Takitane
Inclui bibliografia

1. Biogás. 2. Cama de galinha. 3. Resíduos como combustível. 4. Resíduos de animais. 5. Suíno - Esterco. I. Lucas Junior, Jorge de. II. Takitane, Izabel Cristina. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO CAMA DE FRANGOS DILUÍDA
EM ÁGUA E EM BIOFERTILIZANTE DE DEJETOS DE SUÍNOS"

ALUNA: LAURA VANESSA CABRAL DA COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE DE LUCAS JUNIOR

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JORGE DE LUCAS JUNIOR



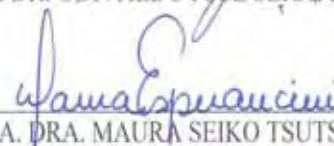
PROFA. DRA. ADRIANE DE ANDRADE SILVA



PROF. DR. JOÃO ANTONIO GALBIATTI



PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM



PROFA. DRA. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Data da Realização: 10 de maio de 2012.

AOS MEUS PAIS:

Antônio e Ernestina...

Agradeço infinitamente a Deus, por me ter dado à vocês;
Por vezes me pergunto o que fiz em outra vida por merecer
vocês...sei que me ausentei, me afastei, segui meu caminho,
mas o amor nos uniu e ele é maior.

Obrigado por serem minha base, por terem me ensinado 99%
de tudo que sei e sou e por terem me guiado e orientado nos
outros 1%.

Obrigado por se anularem em muitas coisas na vida por
mim...

Sou extremamente grata, por tudo que fizeram, fazem e
ainda farão!!!

Que Deus Pai em sua infinita sabedoria, sempre os abençoe.

Amo muito vocês...

DEDICO!

Agradecimentos

Primeiramente a DEUS...ele é Pai e todo poderoso, supramacia e amor sem limites, obrigado por ser a luz em meu caminho, a luz que me guia, me protege e orienta.

Aos meus pais e irmãos: minha rocha, meu refúgio...vocês são a verdadeira prova de que Deus se faz presente em minha vida.

Ao professor **Jorge de Lucas Júnior**, pelos cinco anos de convívio, te agradeço pela confiança, pela orientação, pela amizade... que Deus lhe abençoe sempre concedo-lhe muita saúde e sabedoria, para que possas ainda gerar seus filhos científicos...obrigado por fazer parte de uma fase muito importante da minha vida.

A Professora Izabel Takitane, por ser sempre tão atenciosa.

Aos professores membros da banca de qualificação e defesa, Prof. Dr. Sergio Campos, Prof. Dr. Marcos Biaggione, Prof. Dr. Odivaldo Seraphim, Prof. Dr. João Antônio Galbiatti, Profa. Dra. Maura Esperancini e Profa. Dra. Adriane Andrade Silva, saibam que as contribuições foram todas valiosas.

À Faculdade de Ciências Agrárias – FCA UNESP campus de Botucatu, obrigado pela oportunidade de realização do doutorado.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV UNESP campus de Jaboticabal, por ser a sede de instalação e condução dos experimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Sr. Gabriel Drubi, proprietário da Granja 3 Anjos, por me conceder as camas de frangos, que foram o objeto do meu estudo, muitíssimo obrigado.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, UNESP Jaboticabal, por auxiliarem na montagem e execução dos experimentos: Luisinho, Luis Cláudio, Primo, Marquinho, Ailton, D. Silvia, Luis Fiapo, Tiãozinho (sempre disposto) ao Davi Trevizolli (em especial...por ser tão solícito e agradável)...enfim a todos os funcionários do DER.

Aos colegas de laboratório, e irmãos científicos: Airon, Alex, Fernanda, Juliana, Joseli, Lívia, Lorenzo, Maria Fernanda, Natália Sunada, Paula, Ricardo, Paulo, obrigado pelos momentos de descontração e por tornar o ambiente de trabalho mais agradável.

As estagiárias queridas e especiais... Natasha Okushiro, Caroline Palamim e Mirela...

A Fernanda Bertozzo, obrigado pela amizade, pelas acolhidas na sua casita quando eu mais precisei e principalmente pelos momentos de risadas...um dia lembraremos de tudo com muita saudade.

A Letícia (caçulinha), Livia (sardinha) e Ana (daninha)...meus eternos agradecimentos por vocês terem me acolhido em Botucatu ...cada uma de vocês tornaram-se especiais do jeito que são.

A Dra. Cristiane Xavier, mesma à distância, procurou sanar minhas dúvidas...sempre tão prestativa.

A Dra. Adriane Andrade Silva, exemplo de profissionalismo, cada palavra de agradecimento seria pouco para aqui expressar.

Ao Alex Sagula...meu namorado, amigo e confidente. Obrigado por estar ao meu lado, por me ajudar, me aconselhar, por me acolher...por ser tão paciente e companheiro.

A Carol e Kelly, companheiras de apartamento e convívio diário...obrigado por passarem em minha e tornar a minha passagem em Jaboticabal mais agradável, adoro vocês meninas...

A todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização desse trabalho...e para aqueles que um dia usarão os dados aqui deixados...

Muito obrigadoo!!!

Confie Sempre

Não perca a tua fé entre as sombras do mundo.

Ainda que os teus pés estejam sangrando, segue para a frente, erguendo-a por luz celeste, acima de tí mesmo.

Crê e trabalha.

Esforça-te no bem e espera com paciência.

Tudo passa e tudo se renova na terra, mas o que vem do céu permanecerá.

De todos os infelizes os mais desditosos são os que perderam a confiança em Deus e em sí mesmo, pois o maior infortúnio é sofrer a provação da fé e prosseguir vivendo.

Eleva, pois, o teu olhar e caminha.

Aprende e adianta-te.

Brilha a alvorada além da noite.

Hoje é possível que a tempestade te maltrate o coração e atormente o teu ideal com a aflição ou ameaçando-te com a morte.

Não esqueças que amanhã será outro dia.

Chico Xavier.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XIII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 – INTRODUÇÃO	5
2 - REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 - Produção mundial da carne de suíno e de aves	12
2.1.2 - Suinocultura brasileira	13
2.1.3 - Avicultura brasileira	14
2.1.4 - Resíduos: dejetos de suínos e cama de frango	16
2.1.5 - Biodigestão anaeróbia	19
2.1.6 - Os biodigestores e modelos de operação	21
2.1.7- Biogás	22
2.1.8- Biofertilizante	24
2.1.9 - Técnica de separação de resíduos	25
2.1.9.1 - Separação de fases	25
2.1.9.2 - Decantação	26
2.1.9.3 - Peneiramento	26
2.1.9.4 - Centrifugação	26
3 - MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 - Local	28
3.1.2 - Os resíduos	28
3.1.3 - Dados meteorológicos	29
3.1.4- Descrição do experimento	30
3.1.5- ANÁLISES LABORATORIAIS	34
3.1.5.1- Teores de sólidos totais e voláteis	34
3.1.5.2 - Caracterização mineral das amostras	34

3.1.5.3 - Determinação do potencial hidrogeniônico	35
3.1.5.4 - Temperatura (t°) do biogás e ambiente	36
3.1.5.5 - Produção de biogás	36
3.1.5.6 - Análise da composição do biogás produzido	37
3.2 - Análise estatística	37
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 - Caracterização química do biofertilizante obtido com dejetos de suíno	38
4.2 - Caracterização química das camas frango	39
4.3 - Redução dos teores de sólidos totais e voláteis	40
4.4- Potenciais de produção de biogás	42
4.5 - Produções de biogás representados em gráficos blox plot	46
4.6 - Distribuição das produções de biogás	49
4.7 - Composição do biogás nos tratamentos avaliados	58
4.8 - Potenciais de hidrogênio nos tratamentos avaliados	60
4.9 - Quantidades de N, P e K em biofertilizante de cama de frango de 1° e 3° lote com diferentes substratos	61
5.0– CONCLUSÕES	64
6.0 – REFERÊNCIAS	66

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1 - Produção mundial de carne suína (mil t - equivalente carcaça)	13
Tabela 2 - Alguns valores da produtividade de biogás	24
Tabela 3 - Dados meteorológicos em Jaboticabal de janeiro a dezembro de 2010 e de janeiro a julho de 2011, ou durante todo o período experimental	30
Tabela 4 - Condições de inoculação e repetições para a execução do experimento CF 1º lote	32
Tabela 5 - Condições de inoculação e repetições para a execução do experimento CF 3º lote	33
Tabela 6 – Valores médios do potencial de hidrogênio e caracterização química (N, P e K) com base na matéria seca do biofertilizante de dejetos de suíno utilizados nas diluições das camas de frango utilizadas no experimento.	39
Tabela 7 - Caracterização química dos teores de N, P e K com base na matéria seca e porcentagem de MS das camas de frango composta por casca de amendoim de 1º e 3º lotes de reutilização.	39
Tabela 8 - Valores de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem e reduções em porcentagem de sólidos voláteis nos tratamentos que compostos por cama de 1º lote	40
Tabela 9 - Valores de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem e reduções em porcentagem de sólidos voláteis nos tratamentos compostos por cama de 3º lote	42
Tabela 10 - Potenciais médios de produção de biogás em biodigestores alimentados com cama de frango de 1º lote	43

	Páginas
Tabela 11 - Potenciais de produção de biogás em biodigestores alimentados com cama de frango de 3º lote	45
Tabela 12 - Potencial de hidrogênio nos de tratamentos que receberam cama de 1º lote e 3º lote	60
Tabela 13 - Valores de nitrogênio, fósforo e potássio g/100 g em biofertilizante de cama de frango de 1º lote	61
Tabela 14 - Valores de nitrogênio, fósforo e potássio g/100 g em biofertilizante de cama de frango de 3º lote	62

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 - Fluxograma do processo da decomposição anaeróbia	19
Figura 2 - Detalhe de um dos galpões da granja e coleta da cama utilizada	29
Figura 3 - Biofertilizante armazenado em caixa d'água	31
Figura 4 - Biodigestor modelo batelada	32
Figura 5 - Produção de biogás em gráficos box plot	47
Figura 6 - Produção de biogás kg^{-1} de cama em gráficos box plot	48
Figura 7 - Produção de biogás kg^{-1} de sólidos adicionados em gráficos box plot	48
Figura 8 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote com água ou biofertilizante com diferentes diluições	49
Figura 9 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição sem separação de sólidos 6 %.	51
Figura 10 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 3 %.	51
Figura 11 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 6 %	52
Figura 12 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote diluída em água com diferentes diluições	53
Figura 13 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote diluída em biofertilizante com diferentes diluições	53

	Páginas
Figura 14 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote com água ou biofertilizante com diferentes diluições	54
Figura 15 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição sem separação de sólidos 6 %	55
Figura 16 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 3 %.	55
Figura 17 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 6 %.	56
Figura 18 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote diluída em água com diferentes diluições	57
Figura 19 - Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote diluída em biofertilizante com diferentes diluições	57
Figura 20 - Teores em (%) de CH ₄ e CO ₂ nos substratos que receberam cama de frango de 1º lote	58
Figura 21 - Teores da composição do biogás (%) CH ₄ e CO ₂ nos substratos que receberam cama de Frango de 3º lote	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**ABREVIATURA TERMO**

Atm	Atmosfera
$^{\circ}\text{C}$	graus Celsius
CH_4	Metano
cm	Centímetro
CO_2	Dióxido de carbono
CSFS 6%	Com separação da fração sólida 6%
CSFS 3%	Com separação da fração sólida 3%
CV	coeficiente de variação (estatística)
g	Gramma
GLP	gás liquefeito de petróleo
h	Horas
$^{\circ}\text{K}$	graus Kelvin
K	Potássio
kg^{-1}	Kilograma
L	Litros
m^2	metro quadrado
m^3	metro cúbico
MN	matéria natural
MS	matéria seca
N	Nitrogênio
P	Fósforo
Ps	peso seco
Pu	peso úmido
%	Porcentagem
ST	sólidos totais
ST adic	sólidos totais adicionados
SSFS 6%	Sem separação da fração sólida
SV	sólidos voláteis
SV red	sólidos voláteis reduzidos
Tmed	temperatura média
TRH	tempo de retenção hidráulica

Resumo: A avicultura brasileira é considerada hoje uma das maiores exportadoras mundial de carne de frango, ficando atrás somente dos Estados Unidos, China, e União Européia e paralelo a esse crescimento tem-se a geração de resíduos – cama de frango, que podem ser reciclados e utilizados como fontes renováveis de energia, tornando-se tecnologias atrativas tanto ambientalmente como economicamente, pois processos de biodigestão anaeróbia com uso de biodigestores favorecem a conversão de matéria orgânica em biogás. Nesse sentido, objetivou-se avaliar as produções de biogás e a qualidade dos biofertilizantes produzidos nos processos de biodigestão anaeróbia em que se utilizaram a cama de frango diluída com inclusões do efluente (biofertilizante) de biodigestores contínuos operados com dejetos de suínos, diluídos em camas de frangos de primeiro e terceiro lotes com diferentes diluições, utilizando-se biodigestores operados em batelada para a biodigestão das camas. Foram avaliados seis tratamentos com quatro repetições para ambas as reutilizações da cama, sendo: Cama de frango + água sem a separação da fração sólida com 6 % ST (CFSSFS + H₂O 6%), Cama de frango + água com a separação da fração sólida 6 % ST (CFCSFS + H₂O 6%), Cama de frango + biofertilizante sem a separação da fração sólida 6 % ST (CFSSFS + Bio 6%), Cama de frango + biofertilizante com a separação da fração sólida com 3 % ST (CFCSFS + H₂O 3%), Cama de frango + biofertilizante com a separação da fração sólida com 6 % ST (CFCSFS + H₂O 3%), em tempo de retenção hidráulica (TRH) de 130 dias, os biodigestores

compostos por cama de frango de primeiro lote foram operados de julho a novembro de 2010, e para os tratamentos compostos por cama de frango de terceiro lote foram operados de janeiro a junho de 2011. Para todos os tratamentos foram avaliados o potencial de hidrogênio, potenciais de biogás, qualidade de biogás, sólidos totais e voláteis e caracterização de macronutrientes (N, P e K) presentes no biofertilizante. Observou-se que os tratamentos que receberam cama de frango de 3º lote associada ao biofertilizante com separação de sólidos 3 %, foram os que apresentaram melhores valores de produção de biogás (m³) quando comparados à produção por kg de cama e sólidos totais adicionados. Para os teores de metano, os tratamentos que receberam cama de frango de ambos os lote associada ao biofertilizante com a separação de sólidos a 3 % foram os que apresentaram melhores resultados. As concentrações de N, P e K foram mais expressivas para os substratos com cama de 1º lote associada ao biofertilizante, para os substratos com cama de 3º lote, não foi observada diferença entre eles.

Palavras chaves: bio energia, co digestão e resíduos.

BIOGAS PRODUCTION USING POULTRY LITTER DILUTED IN WATER AND SWINE SLURRY. Botucatu 2012. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LAURA VANESSA CABRAL DA COSTA

Adviser: JORGE DE LUCAS JUNIOR

Co-adviser: IZABEL CRISTINA TAKITANE

SUMMARY: The Brazilian poultry is now considered one of the world's largest exporters of poultry litter meat, behind only the USA, China, and the European Union and parallel to this growth has been the generation of waste – poultry litter, which can be recycled and used as renewable energy technologies become attractive both environmentally and economically as anaerobic digestion processes to favor the use of digesters convert organic matter into biogas. This study evaluates the biogas production and quality of biofertilizer produced in anaerobic digestion process that were used in addition in the effluent (biofertilizer) continuous digesters operated continuous digesters operated with swine manure, diluted in poultry litter by first and third lot in different dilutions, utilizing batch digester of digestion on the poultry litter. We evaluated six treatments with replications for both reuse poultry litter, being: poultry litter + water without solid separation 6% TS (PLSS+H₂O 6%), poultry litter + water with separation solid 3% TS (PLFSS + H₂O 3%), poultry litter + water with separation solid 6% TS (PLFSS+ H₂O 6%), poultry litter + biofertilizer with separation solid 6% TS (PLSS+ bio 6%), poultry litter + biofertilizer with separation solid 3% TS (PLFSS + H₂O 3%), poultry; litter + biofertilizer with separation solid 6% TS (PLSFS + H₂O 3%), in hydraulic retention time(HRT)130 day, the treatments consisting of the first lot were operated from July to November 2010, and the treatments composting of third lot were operated from January to June 2011. For all treatments were evaluated the potential of hydrogen, potential and quality biogas, total and volatile solids, characterization of macronutrients present in the biofertilizer (N, P and K). It was observed that the treatments that received poultry litter of third lot associated biofertilizer of solids separation to 3 %, present the best values of biogas production (m³), compared to production kg/poultry litter and total solids added. For the levels methane, the treatments that received poultry litter first and third lot associated biofertilizer with separation

solids 3% presented the best results. The concentration of N, P and K, were more significant the substrates with first poultry litter associated with biofertilizer for the substrates with third lot there was difference between them.

Key word: bionergy, co digestion and waste.

1 - INTRODUÇÃO

Uma das preocupações atuais, relacionada ao meio ambiente, diz respeito à disposição de resíduos, sejam eles de origem humana (lixo domiciliar), animal (dejetos) ou vegetal (palhadas e restos de culturas entre outros). Tais resíduos, quando dispostos no solo, sem tratamento e de forma inadequada podem provocar graves problemas de contaminação ambiental, seja pela percolação do chorume (líquido de cor escura, com alta carga poluidora que se forma onde há acúmulo de material orgânico e pode atingir os mananciais de água subterrânea), ou pela proliferação de patógenos, insetos e outros animais nocivos, (roedores, cobras, escorpiões).

Por outro lado os resíduos gerados nas atividades ligadas à produção animal, apesar dos problemas ambientais que podem causar, apresentam valor energético e fertilizante, podendo significar um fator de agregação de valor à atividade principal. Entre as atividades agropecuárias que geram grandes volumes de dejetos e tem grande importância na economia agropecuária está a suinocultura e a avicultura de corte.

A suinocultura é uma das atividades que mais cresce no Brasil, sendo considerada uma importante fonte de renda para o setor rural. Esse tipo de exploração animal tem se caracterizado por concentrar cada vez mais animais em pequenas áreas, (sistema de confinamento, o que faz com que haja uma grande quantidade de resíduos gerados. Por essa

razão a suinocultura é considerada uma atividade altamente poluidora e degradante ambiental. Em algumas regiões onde há uma maior concentração de granjas, há a preocupação com o lançamento indiscriminado desses resíduos, pois a ausência de tratamento pode ocasionar desconforto e doenças além da poluição do ar, solo e água.

A avicultura de corte, também é uma das atividades que mais vem crescendo no Brasil, ocupando lugar de destaque no cenário mundial. O Brasil é considerado o terceiro maior produtor de aves de corte, ficando atrás dos Estados Unidos e China. Nesse tipo de produção, a cama é o principal subproduto. A cama é normalmente reutilizada para reduzir o custo de produção e a poluição ambiental. Apesar da possibilidade de reutilização, há poucas informações sobre suas características e padrões de qualidade nos diferentes lotes de reutilização. A cama normalmente é composta por um material produzido em abundância na região e esse material possui sempre uma parte muito lignificada e de difícil degradação.

Em trabalhos realizados com tratamento anaeróbio da cama de frango, devido a difícil degradação do material, verifica-se a importância de fazer a separação da fração sólida da fração líquida com uso de peneiras, permitindo que a fração líquida usada para abastecer os biodigestores tenha maior atuação de microrganismos que facilitam a degradação do material, diminuindo o tempo de retenção hidráulica e favorecendo a produção de biogás.

Segundo LUCAS JUNIOR 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.

Alguns autores ainda afirmam que uso de inóculos favorecem a produção de biogás da cama de frango. O uso de biofertilizante de dejetos de suínos tem sido observado como um importante inóculo (pois é um material rico em bactérias, principalmente as acidogênicas que são essenciais no processo de digestão).

A suinocultura e avicultura são atividades que vem crescendo devido à ação de grandes empresas integradoras e que estão cada vez mais concentradas na região centro oeste do país, conseqüentemente tendem a se desenvolver de forma mais próximas.

Baseado nesse exposto, devido à tendência de proximidade das atividades da suinocultura e avicultura, objetivou-se com o desenvolvimento deste estudo avaliar a utilização do biofertilizante de dejetos de suíno nas diluições da cama de frango de primeiro e terceiro lote visando a biodigestão anaeróbia para produção de biogás e para a qualidade do biofertilizante.

2 - REVISAO DE LITERATURA

A geração de energia oriunda de resíduos e a reciclagem de nutrientes dentro das propriedades rurais está fazendo com que sistemas agropecuários, antes muito dependentes de fontes externas, sejam atualmente auto-suficientes energeticamente ou muito pouco dependentes. Isto ocorre, principalmente, pelo fato das atividades da produção animal direcionarem - se cada vez mais para o sistema de confinamento, em que ocorre um aumento de animais por unidade de área, e ao mesmo tempo exigem uma grande demanda por insumos externos, (alimentos e fertilizantes), implicando no maior acúmulo de resíduos produzidos que se gerenciados de forma correta podem ser revertidos em energia (pela geração de biogás), fertilizantes (pela geração do biofertilizante) que após aplicado no solo reduz os gastos na produção de alimentos (milho, soja, pastagem, entre outros).

A reciclagem de resíduos e utilização de fontes renováveis de energia são tecnologias que se tornam atrativas tanto ambientalmente como socialmente, pois possibilitam a criação de fontes de suprimento descentralizadas e até em pequena escala, e isto, torna-se fundamental para o desenvolvimento sustentável dos países.

Os sistemas de confinamento geram um considerável volume diário de dejetos, que são compostos orgânicos de alto teor energético, ricos em matéria orgânica e agentes patogênicos. Atualmente, estão ocorrendo algumas alterações nos sistemas, como

exemplo tem-se a bovinocultura leiteira, pois, dependendo da granja apresentam uma composição bastante distinta do convencional para animais ruminantes (20% de concentrado e 80% de volumoso), hoje existem granjas que operam com um volume muito maior de alimento concentrado o que influencia diretamente no tratamento dos dejetos. Estes dejetos podem ser utilizados como fontes de adubação de forragens, porém, quando aplicados sem tratamento aumentam o potencial de poluição, e assim não é aproveitado o seu potencial de produção de biogás, ou potencial energético.

A mesma preocupação tem sido observada para a expansão da atividade suinícolas no país, sendo que neste sistema, na maioria das vezes, a disposição de resíduos é erroneamente realizada em rios e mananciais. Dejetos gerados na suinocultura apresentam elevado potencial de poluição, (com uma demanda bioquímica de oxigênio entre 5.000 a 20.000 mg l⁻¹), principalmente em função da baixa digestibilidade da espécie, o que faz com que os dejetos tenham uma grande proporção de nutrientes, outro fator importante deve-se ao fato do manejo dos resíduos, que em função de conforto térmico, os suínos são manejados, na maioria das vezes, em galpões com presença de lâmina d'água, tornando os dejetos líquidos, o que aumenta o volume à ser tratado. Na avicultura de corte, a base da alimentação também é basicamente formada por alimentos concentrados, em função do aparelho digestivo desses animais, ambos monogástricos, porém o seu resíduo apresenta uma maior dificuldade de degradabilidade em função do manejo dos animais sobre cama, o que aumenta o teor de lignina do resíduo, em função da cama ser formada por casca de arroz, maravalha, entre outros. Já em dejetos produzidos por ruminantes, pela maior presença de fibras na dieta, apresenta potencial energético menor por outro lado, seria como uma alternativa energética maior que dos sistemas de produção de ruminantes, em função da alimentação destes animais, assim como o das aves, por serem totalmente baseada em alimentos concentrados, geram maior potencial do que os resíduos dos ruminantes (pela presença das fibras). O manejo de dejetos adotado vai depender das condições de cada propriedade, o que vai permitir o aproveitamento integral dos dejetos, dentro das condições estabelecidas dentro de cada propriedade.

Quando se compara as principais espécies de animais de produção, nas suinoculturas de ciclo completo, há uma geração de água residuária em média de 220 l/

animal/dia (Oliveira, 1993). Já a produção média de cama de frango por ave é de aproximadamente 1,49 kg de acordo com FUKAYAMA (2008).

Segundo ANUALPEC (2008), em 2007 foram produzidos 5,15 bilhões de frango de corte no Brasil, tornando-o por vários anos consecutivos o maior exportador de carne de frangos no mundo.

Segundo dados da UBABEF (2011), a produção de carne de frango chegou a 12,230 milhões de toneladas em 2010, em um crescimento de 11,38% em relação a 2009, quando foram produzidas 10,980 milhões de toneladas. Com este desempenho o Brasil se aproxima da China, hoje o segundo maior produtor mundial, cuja produção de 2010 teria somado 12,550 milhões de toneladas, abaixo apenas dos Estados Unidos, com 16,648 milhões de toneladas, conforme projeções do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA). O crescimento em 2010 foi impulsionado principalmente pelo aumento de consumo de carne de frango e pela expansão de 5,1% nas exportações.

Paralelo a esse crescimento, a produção de cama de frango vem aumentando. Em 42 dias de criação, um frango de corte produz cerca de 1,75 kg de cama (MS), ou seja, em 2007, o potencial para produção de cama foi de 9,01 bilhões de kg de cama de frango ANUALPEC (2008). Nesse tipo de produção, a cama é o principal subproduto. A cama é normalmente reutilizada para reduzir o custo de produção e a poluição ambiental. Porém, poucos estudos têm avaliado as características da cama reutilizada e, portanto, existem poucas informações sobre as vantagens e desvantagens de se reutilizar a cama.

Deste modo, fica evidente a necessidade da exigência por tratamento de dejetos nos sistemas produtivos, sendo a preocupação dividida entre os produtores e consumidores desses produtos, uma vez que a implantação de sistemas de tratamento aumentam os custos de produção e isso deve ser informado à sociedade. Existem diferentes sistemas de tratamento, sendo que deve ser dado uma maior valorização aos com desenvolvimento de tecnologias mais limpas com perspectivas de mitigar o abuso ao meio ambiente. Existem inúmeras formas de tratamentos de resíduos, entre eles estão, tratamento por meio aeróbio, ou compostagem, resultando num adubo orgânico com bom valor agronômico, e o tratamento anaeróbio, com uso de biodigestores, que fornece como produto final, o biogás e o biofertilizante, tem-se ainda o uso de lagoas anaeróbia ou facultativa, lagoa de estabilização e uso de esterqueiras.

A produção e as quantidades de dejetos produzidos estão diretamente relacionadas com o tipo e frequência de alimentação, dieta, bem como o valor nutritivo do alimento. Segundo (WEISS, 1993), a escassez de informações sobre o valor nutritivo dos alimentos utilizados para animais no Brasil indica a necessidade de mais pesquisas, em virtude de sua grande importância na nutrição dos rebanhos. Estimativas dos valores de energia dos alimentos e das dietas são importantes para animais de grande potencial de produção, que requerem grande quantidade de energia que nem sempre é bem aproveitada.

Apesar da cama de frango possuir uma lenta degradação, uma fração deste total pode não ser biodegradável ou lentamente biodegradável. Alguns autores recomendam a separação desta fração do restante do resíduo a ser destinado ao tratamento anaeróbio, com isso o processo se torna mais eficiente (maior produção de biogás/ kg de sólido), rápido (menor tempo de retenção hidráulica) e mais econômico, pois necessita de reatores com menor tamanho para um mesmo número de animais.

A separação de fases é uma alternativa para aumentar a eficiência do processo de degradação dos efluentes, de acordo com EMBRAPA (2003), a separação de fases consiste em separar partículas contidas nos dejetos da fração líquida e conduz a obtenção de dois produtos: uma fração líquida mais fluída, mas conservando a mesma concentração em elementos fertilizantes solúveis que o dejetos bruto e uma fração sólida, resíduo da peneira mantendo-se agregada podendo evoluir para um composto.

Existem várias formas de separar frações mais degradáveis de frações menos degradáveis. Em se tratando de água residuária uma das formas mais comuns é a separação da fração sólida da fração líquida, que pode ser feita por meio de peneiras de separação, tambores rotativos, centrifugação e decantação. A fração líquida possui maior quantidade de nutrientes solúveis, ou seja, mais degradáveis e na fração sólida maiores quantidades de frações insolúveis menos degradáveis como celulose, hemicelulose e lignina (ORRICO JUNIOR, 2007).

O fato da fração sólida possuir um menor potencial de produção de biogás não implica que essa fração deva ser descartada do processo, a decisão vai depender da eficiência e a rapidez que se necessita para tratar os dejetos. Caso a decisão seja favorável à separação de sólidos é necessário ter em mente que essa fração ainda tem um poder poluente

elevado e necessita de tratamento adequado antes de ser aplicado no meio ambiente (ORRICO JUNIOR, 2007).

2.1 - Produção mundial da carne de suíno e de aves

Segundo BELLAVER & FIGUEIREDO (2006), nos últimos 35 anos, a produção mundial de carne de aves e ovos e o mercado desses produtos, têm crescido mais do que a das carnes bovina e suína. Conforme estatísticas da Food and Agriculture Organization (FAO), para o ano de 2006, enquanto a produção de carne bovina cresceu 57,6%, a de carne suína cresceu 186,4%, a de carne de aves cresceu 436,5% e a produção de ovos de galinha cresceu 203,2% nesse período. A produção mundial de carne de aves é composta por 86,4% de carne de frangos, 6,4% de carne de perus, 4,2% de carne de patos e marrecos, 2,9% de carne de gansos e 0,1% de carne de outras aves. Em 2006 projetou-se uma produção nacional de carne de frangos de 10,04 milhões de toneladas, com exportações de 2,40 milhões de toneladas. Com dados globais de uma série de anos mais recentes tabulados pelo United States Departamento of Agriculture (USDA) projeta-se uma tendência mais otimista para o ano de 2007 em diante.

Segundo a UBA (2009), apesar da crise internacional o mundo produziu mais frango em 2009, a informação é do departamento de agricultura dos Estados Unidos, o mais importante organismo do agronegócio do norte americano. Segundo os levantamentos divulgados, a avicultura mundial produziu no período 71,715 toneladas, 280 mil toneladas a mais que em 2008. Estados Unidos, maiores produtores mundiais, registraram uma queda com 15,9 milhões de toneladas no período, com queda de 3,5 % menos que as 16,3 milhões de toneladas de 2008. Nesse ano os norte americanos representaram 22,2% da produção mundial. A China continuou no segundo ranking da produção mundial, representando 16,87 % do total, em 2009, produziu 12,1 milhões de toneladas de frango 2,2 % a mais que as produzidas no ano anterior. O Brasil encerrou o ano como o terceiro maior produtor, mesma colocação de 2008. Pelos dados da USDA o país produziu 10,9 milhões de toneladas o que representou 15,3 % da produção mundial. A produção de suínos vem aumentando muito no Brasil e a contribuição da suinocultura industrial, que se baseia nos Sistemas de Produção de Animais Confinados (SPACs), tem sido cada vez mais

representativa. Segundo Kunz et al. (2009), nesses sistemas há aumento da escala de produção, diminuindo custos de operação, logística e permitindo maior controle do plantel.

Segundo BELLAVER & FIGUEIREDO (2006), a produção mundial de carne suína é liderada pela China com 52.000 mil t, seguida pela União Européia-25 com 21,250 mil t, dos Estados Unidos com 9,632 mil t, pelo Brasil 2,775 mil t, pelo Canadá com 1,910 mil t, pela Rússia com 1,785 mil t e pelo Japão com 1,260 mil t. O Brasil se destaca no ramo do agronegócio mundial, pois é considerado um dos maiores produtores de suínos, tendo abatido mais de 27,4 milhões de animais (IBGE, 2009). A estimativa é que para o ano de 2011, Brasil mantenha a sua posição no ranking mundial, chegando a produzir mais de 3 milhões de cabeças (Tabela 1). O país seguiu em 4º lugar no ranking de produção de carne suína mundial no ano passado. Além disso, o Brasil também é o 4º em exportações mundiais do produto. Veja o ranking completo abaixo, com base em dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), ABIPECS (2010).

Tabela 1 - Produção mundial de carne suína (mil t – equivalente carcaça)

País	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010*
China	41.231	42.386	43.410	45.553	46.505	42.878	46.205	48.905	50.000
U.Europeia	21.531	21.712	21.753	21.676	21.791	22.858	22.596	22.159	22.250
USA	8.929	9.056	9.313	9.392	9.559	9.962	10.599	10.442	10.052
Brasil	2.565	2.560	2.600	2.710	2.830	2.990	3.015	3.130	3.170
Rússia	1.630	1.710	1.725	1.735	1.805	1.910	2.060	2.205	2.270
Vietnã	1.209	1.257	1.408	1.602	1.713	1.832	1.850	1.850	1.870
Canadá	1.709	1.730	1.780	1.765	1.748	1.746	1.786	1.789	1.750
Japão	1.236	1.260	1.272	1.245	1.247	1.250	1.249	1.310	1.280
Filipinas	1.095	1.145	1.145	1.175	1.215	1.250	1.225	1.240	1.255
México	1.070	1.035	1.064	1.103	1.109	1.152	1.161	1.162	1.161
Coreia Sul	1.153	1.149	1.100	1.036	1.000	1.043	1.056	1.062	1.097
Outros	5.342	5.329	5.265	5.336	5.504	5.714	5.240	5.219	5.352
total	88.700	90.329	91.835	94.328	96.026	94.585	98.042	100.473	101.507

Fonte: USDA/Abipecs (2010) * Preliminar

2.1.2 - Suinocultura brasileira

Segundo BUDIÑO et al., (2000), a suinocultura é uma importante fonte de renda para o setor rural, trazendo benefícios econômicos e sociais. Porém, a criação

de suínos é considerada altamente poluidora e degradante ambiental, sendo extremamente preocupante em algumas regiões com maior densidade de granjas e/ou topografia irregular, pois o lançamento de dejetos indiscriminadamente em rios, lagos e solo, está causando desconforto e doenças à população, além da própria degradação do ambiente com a poluição dos leitos d'água e saturação de solos pelos componentes químicos presentes nestes dejetos.

A suinocultura brasileira, a exemplo de outras cadeias produtivas do agronegócio, cresceu significativamente, nos últimos anos. Esse crescimento é notado quando se analisa os vários indicadores econômicos e sociais, como volume de exportações, participação no mercado mundial, número de empregos diretos e indiretos, entre outros. A criação de porcos do passado evoluiu também na técnica e no modelo de coordenação das atividades entre fornecedores de insumos, produtores rurais, agroindústrias, atacado, varejo e consumidores. Passou a ser uma cadeia de produção de suínos, explorando a atividade de forma econômica e competitiva (GONÇALVEZ & PALMEIRAS, 2006).

Por sua vez, a carne suína tem aumentado a sua participação no mercado interno em função não só do preço, mas, também, pela maior disponibilidade de cortes nobres padronizados nos grandes centros urbanos (IBGE, 2010).

A estimativa é que o rebanho nacional atinja quantidade acima de 33 milhões de cabeças, ou seja, um aumento de 3,9% em relação a 2009 (EMBRAPA, 2011). Com esse quadro, o Brasil ocupa a posição de 4º maior produtor e exportador de carne suína, estando atrás da China, União Européia e Estados Unidos.

Baseado no sistema intensivo de produção, a suinocultura brasileira apresenta tendência para crescer em produção e produtividade, com menores custos em relação aos países de expressão na atividade (ROPPA, 2006). Embora a produção de suínos seja concentrada em regiões produtoras tradicionais como os estados do PR, SC e RS, atualmente há tendência para o crescimento expressivo em outros estados, principalmente no Centro-oeste do Brasil.

2.1.3 - Avicultura brasileira

O crescimento da bovinocultura, da avicultura e da suinocultura brasileira tem se destacado, desde a década passada, acompanhando o aumento das demandas

interna e externa por proteína animal. Os rebanhos destes animais apresentaram crescimento em 2010, mas em conjunturas diversas.

A região Sudeste é a segunda principal região produtora no País, com 28% de aves alojadas, sobretudo no Estado de São Paulo, com 18% (UBA, 2009).

A avicultura brasileira é uma das atividades mais avançadas tecnologicamente, principalmente a de corte, atingindo níveis de produtividade comparados a países mais desenvolvidos no mundo, o que contribui de forma significativa para o fornecimento de proteína animal de baixo custo e geradora de riquezas para o país, RICHETTI & SANTOS (2000). Nesse sentido, os modernos processos de criação e industrialização associados à melhoria genética das aves têm levado a excelentes índices de conversão alimentar, precocidade, produtividade e sobrevivência. Assim como pela reestruturações dentro de seu sistema produtivo, sendo a mais relevante aquela representada pela produção integrada via contratos Martinelli et. al. (2005), citados por GOMES & GOMES (2008), acrescenta afirmando que a avicultura brasileira vem se colocando entre as mais desenvolvidas do mundo, sendo que para tal desempenho concorre à rápida absorção dos avanços tecnológicos alcançados por países que se caracterizam por possuírem uma atividade avícola muito desenvolvida, como é o caso dos Estados Unidos da América. Ainda segundo o autor, os avanços tecnológicos observados na atividade avícola foram acompanhados por notáveis.

A atividade avícola de corte vem sendo realizada, principalmente por meio de modelos de integração, como de um sistema de produção de frangos de corte, realizado em parceria, de forma contratual, entre uma indústria, cooperativa, etc. (chamada de integradora) e o produtor de frangos (chamado de integrado), portanto, trata-se de um arranjo contratual, segundo os mesmos autores.

A avicultura integrada consiste em um relacionamento entre a agroindústria e os produtores rurais em que o produtor de frango se caracteriza pela utilização de mão de obra familiar, por ser proprietário de pequena extensão de terra e a propriedade ser diversificada, RICHETTI & SANTOS (2000). O ingresso das empresas no sistema de integração é motivado pela tendência do mercado, homogeneidade da matéria-prima, suprimento da capacidade de abate, aumento da produção como garantia de melhor

comercialização, redução da necessidade de investimento e diminuição das despesas operacionais, aumento da produtividade e matéria-prima assegurada.

2.1.4 - Resíduos: dejetos de suínos e cama de frango

Os diferentes setores produtivos tem que buscar adequação ambiental, em função da necessidade de licenciamento ambiental para o funcionamento de suas atividades produtivas. Muitas granjas sofreram mudanças, mais por uma pressão legal, a partir da exigência de licenciamentos, do que pelo aumento da conscientização de produtores e agroindústrias. A atividade deixou de ser em sua maioria desenvolvida em pequenas propriedades, em granjas de pequeno porte e passou a ser desenvolvida em granjas de grande porte, em médias e grandes propriedades. No entanto, desafios ambientais ainda existem, e estes devem ser superados para que as atividades continuem gerando renda e divisas, mas com consciência ambiental e social.

No que diz a respeito ao ambiente, considera-se que a suinocultura está associada como uma das atividades agropecuárias com maior potencial poluidor, principalmente quando se refere ao lançamento de dejetos não tratados em recursos hídricos, contaminando assim rios, lagos, impactando solos e lençol freático.

De acordo com PALHARES & JACOB (2002), os resíduos suínos que promovem o maior impacto nos recursos hídricos são os dejetos, constituídos basicamente por fezes, urina, restos de ração e água.

Em decorrência da grande produção de dejetos com elevada carga orgânica e mineral, a atividade sofre grandes restrições pelos órgãos ambientais. Konzen (1980), citado por NAGAE et al (2005), cita que a carga orgânica do dejetos suíno observou DBO de 52,270 mg/L⁻¹ e DQO de 98,653 mg/L⁻¹ em suínos em crescimento e terminação em sistema de piso ripado. Medri (1997), avaliando suínos em terminação encontrou valor de DBO de 8,304 mg/L⁻¹ e DQO de 15,153 mg/L⁻¹, no dejetos fresco, e Zanotelli (2000) encontrou DQO média de 26,387 mg/L⁻¹, ambos, citados por NAGAE et al (2005), observa-se que há uma grande variação nos valores obtidos, esse fato deve-se as diferenças nos sistemas de criação do pelos animais.

A cama de frango é uma mistura de esterco de galinha, penas, água, resto de ração. Os materiais de cama são muitas vezes feitos das raspas de madeira, serragem, trigo, palha, casca de amendoim, casca de arroz, ou de um outro tipo de resíduo disponível na região. A cama de frango é um composto orgânico, que libera gradativamente macro e micronutrientes para a solução do solo. Tal liberação se dá à medida que o material orgânico vai sendo mineralizado, e a quantidade liberada depende do grau de mineralização do composto, da matéria-prima que deu origem ao mesmo e da quantidade aplicada de composto (SOUZA & CARBALLAL, 2006).

A composição, a quantidade e características da cama de frango variam de acordo com o tipo de material, número de aves/m², duração do ciclo, número de lotes criados, tempo de armazenagem, além de fatores de manejo, ambiental e fisiológico que podem influenciar na produção e composição físico-química da cama em determinada época e localização.

Como a criação de aves de corte tem um ciclo de produção, em média de 42 dias, e durante estes os animais ficam confinados no galpão, se torna necessário um material que possa absorver a umidade (proveniente das fezes, urina e água de bebedouros mal regulados e/ou vazamentos no sistema hidráulico), restos de ração e orgânicos (penas).

Assim, a finalidade da cama é de proporcionar um ambiente sanitariamente seguro ao plantel, onde este não tenha contato com umidade e microrganismos que possam comprometer sua saúde. O objetivo do uso da cama de aviário é evitar o contato direto da ave com o piso, servir de substrato para absorção de água e urina, incorporação das fezes e penas e contribuir para redução das oscilações de temperatura no galpão, considerando essas características, a cama deve ser ainda de fácil disponibilidade, ser composta por um material não tóxico aos animais e com baixo custo.

Segundo ÁVILA et al (2007), devido a expansão da avicultura e melhorias na tecnologia de produção, o material utilizado na preparação das camas, em muitos casos, restringiu-se à maravalha, que foi se tornando progressivamente mais escassa e com maior valor de mercado. A sua obtenção, em muitos casos, depende de fornecedores distantes, aumentando acentuadamente o custo. Pelo fato do Brasil apresentar um clima que permite a produção em aviários abertos, fornece condições para reutilização da cama por até seis lotes. Esta é uma prática que vem sendo utilizada e se tornou uma alternativa a ser considerada

sempre que ocorrem dificuldades na obtenção de materiais a serem utilizados como cama e também como forma de reduzir o excesso desse resíduo para disposição no meio ambiente. Em regiões com grande concentração de produtores, tem-se um excedente de camas, geralmente usadas na alimentação animal ou para disposição no meio ambiente, provocando excesso de nutrientes no solo, forte odores devido à presença de amônia, sendo considerada assim uma atividade impactante.

Segundo LIVESEY et al. (2004), o uso inerente ao uso da cama de aviário na alimentação de bovino é a possibilidade de ocorrência de botulismo em razão da presença eventual de altas concentrações de *Clostridium botulinum*, produtor da toxina botulínica ou de seus esporos.

De acordo com a legislação brasileira, define-se impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

A aplicação de resíduos ao solo, seja dejetos de suíno ou cama de frango, sejam eles na forma sólida ou líquida sem um adequado tratamento, pode provocar eventos impactantes no ambiente, no solo e nos corpos d'água, provocando a degradação dos ecossistemas aquáticos e gerando riscos à saúde humana, sobretudo pela grande carga orgânica e pela enorme quantidade de nitrogênio e fósforo presente nos dejetos. Neste sentido, muitos estudos surgiram nas últimas décadas para avaliar a biodigestão anaeróbia de dejetos de aves (LUCAS JR et al., 1993; SANTOS 2001, STEIL et al., 2002; FUKAYAMA, 2008) e dejetos de suínos (ORRICO 2008 e MIRANDA 2009), com a finalidade de avaliar seu potencial de aproveitamento e quantificar e caracterizar o biofertilizante gerado no processo .

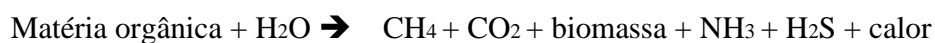
A biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte é uma alternativa sustentável para o tratamento de resíduos avícolas. Através desse processo, o produtor ganha energia elétrica a baixo custo, recicla o material residual da sua granja e contribui para a diminuição dos impactos ambientais gerados no processo de produção.

Segundo PALHARES (2004), a grande importância do processo de biodigestão não está somente no fato de se poder obter energia alternativa a partir de resíduos

orgânicos, mas, também, de saneamento rural, através da redução da carga orgânica poluente dos resíduos; de se obter um efluente apropriado para fertilização do solo. Além de, ao contrário dos sistemas centralizados de produção de energia como o petróleo e o carvão mineral, o biodigestor é um sistema descentralizado e, portanto com reduzidos custos de distribuição da energia para o produtor rural.

2.1.5 - Biodigestão anaeróbia

Segundo CHEN et al., (2008), a biodigestão anaeróbia é um processo biológico natural pela qual a matéria orgânica é reduzida a metano em ambientes livres de oxigênio, de acordo com a equação a seguir:



Sendo a digestão anaeróbia um processo bioquímico complexo, composto por várias reações sequenciais, cada uma com a sua população de microrganismos específica, passa por quatro fases ou estágios para que a atuação de bactérias degrade a matéria orgânica, sendo: 1- hidrolítica, 2- acidogênese, 3- acetogênica e 4- metanogênica, conforme se observa na Figura 2.

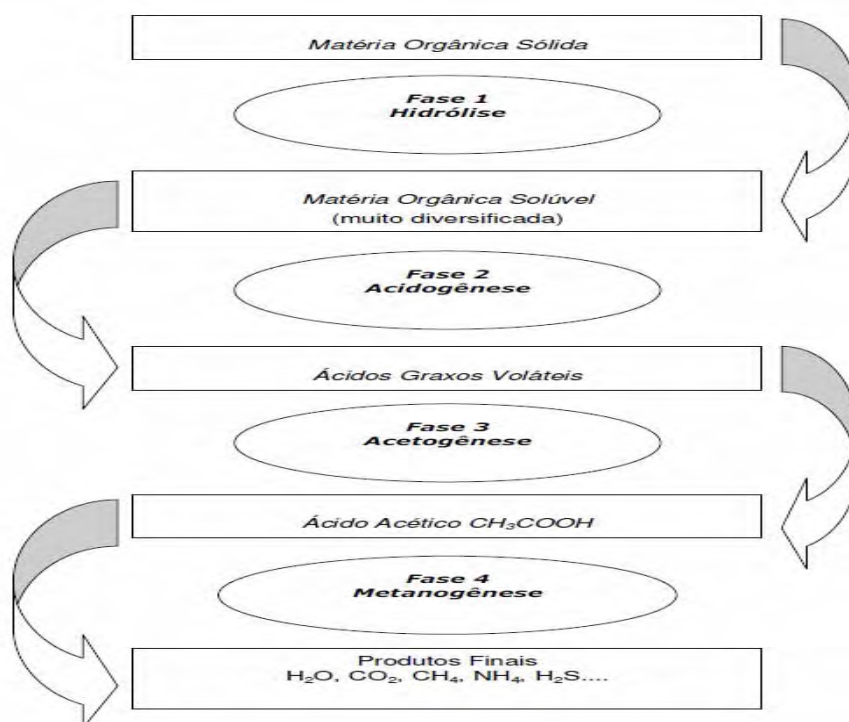


Figura 1 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia
Fonte: JUNIOR, 2000 citado por PÉCORÁ 2006

Na fase hidrolítica, ocorre à hidrólise na qual moléculas complexas insolúveis pelas enzimas para obter compostos solúveis simples, em que os compostos solúveis por sua vez são convertidos em ácidos voláteis, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono; acetogênese, no qual o acetato é criado a partir de ácidos graxos voláteis, além de acetato, álcoois e hidrogênio e, finalmente, metanogênese, na qual o metano é produzido a partir do acetato ou hidrogênio.

Na primeira etapa chamada hidrólise, requer a interferência das chamadas exoenzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas. Os carboidratos transformam-se em açúcares solúveis e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa de carbono e glicose (KIM et al., 2003).

As bactérias acidogênicas atuam logo na sequência da hidrólise do material orgânico em suspensão, são as que mais se beneficiam energeticamente, e as que têm as mais elevadas velocidades de crescimento do consórcio, sendo limitadas apenas por uma eventual limitação da etapa da hidrólise (AQUINO & CHERNICHARO, 2005).

Segundo o mesmo autor, na acetogênese, ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano. As bactérias sintróficas (ou acetogênicas) convertem os compostos intermediários (como butirato e propionato) em acetato, dióxido de carbono e hidrogênio. Estas reações ocorrem naturalmente nos reatores anaeróbios em virtude da interação entre algumas espécies do consórcio.

A metanogênese consiste na produção de metano pelos microrganismos metanogênicos acetoclásticos ou hidrogenotróficos. Os microrganismos acetoclásticos são os mais importantes, pois são os grandes responsáveis pela remoção da matéria orgânica existente, convertendo o acetato sintetizado na fase acetogênica em metano. Tanto os microrganismos metanogênicos acetoclásticos quanto os hidrogenotróficos são muito importantes na manutenção do curso da digestão anaeróbia, uma vez que estes são responsáveis pela função essencial de consumir hidrogênio produzido nas fases anteriores. Com isso, é propiciado o abaixamento da pressão parcial hidrogênio no meio, tornando possíveis as reações de produção das bactérias acidogênicas e acetogênicas (CHERNICHARO, 2007).

Segundo BURKE (2001), a biodigestão anaeróbia fornece uma variedade de benefícios. Os benefícios ambientais incluem que os odores são significativamente reduzidos ou eliminados; um líquido relativamente limpo para lavagem e irrigação pode ser produzido; os agentes patogênicos são substancialmente reduzidos nos produtos líquidos e sólidos; redução nas emissões de gases de efeito estufa e finalmente o poder poluente é substancialmente reduzido.

Segundo o mesmo autor, no setor econômico, há ainda os benefícios adicionais, como o tempo dedicado ao movimento, manuseio e processamento do dejetos é minimizado; o biogás é produzido gerando calor ou energia elétrica, esse calor pode ser utilizado para atender as necessidades de aquecimento da propriedade; pode ser obtida uma renda a partir do processamento dos resíduos importados, a venda de nutrientes orgânicos, e venda de créditos de carbono; a energia gerada pode minimizar a necessidade de modificar a rede elétrica, reduzindo o impacto do novo poder sobre a rede já existente.

Os biodigestores rurais são importantes ainda para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a redução da carga orgânica (por exemplo: convertendo o carbono presente na matéria orgânica em CH_4 que é utilizado como combustível), redução dos sólidos e também a redução de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes. Além de estimularem a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, possibilitam a higienização das instalações para criação de animais, promovendo o tratamento de seus dejetos, proporcionando diminuição de moscas e odores.

2.1.6 - Os biodigestores e modelos de operação

Os biodigestores são equipamentos utilizados para fazer o tratamento de resíduos, são câmaras de fermentação que degradam a matéria orgânica em meio anaeróbio, produzindo o biogás e biofertilizante. No Brasil há diversos modelos de biodigestores que diferem entre si quanto a sua alimentação, no início da propagação dos biodigestores difundiu-se muito o modelo indiano que é uma estrutura de alvenaria escavada no solo o qual teve uma grande expansão e adaptabilidade.

Segundo, COSTA (2005), dentre os biodigestores utilizados no Brasil, no meio rural, são encontrados com mais frequência o batelada, quando o resíduo é obtido

com periodicidade (como a cama de frango que é obtida após a retirada do lote do galpão), o indiano e o chinês, no caso dos resíduos produzidos diariamente (resíduos de suínos, bovinos, caprinos, etc.) com uso mais recente encontram-se o tubular, também biodigestor do tipo contínuo e o batelada sequencial quando há interesse em grande quantidade de biogás em curto intervalo de tempo e no uso de inóculo.

Os modelos contínuos são assim chamados, pois a carga diária, corresponde ao volume semelhante do material fermentado, LUCAS JUNIOR (1995), a biomassa no interior no biodigestor se movimenta por diferença de carga hidráulica, entre a entrada do substrato e a saída do biofertilizante no momento do carregamento, normalmente cada carga requer um tempo de retenção hidráulica de 30 a 50 dias.

Os biodigestores tubulares (ou do tipo plug-flow) podem ser projetados para operação em batelada ou com cargas periódicas. Segundo BENINCASA et al. (1991), esses biodigestores são constituídos por uma estrutura semelhante a um tanque disposto abaixo do nível do solo com uma cobertura plástica flexível de que é fixada em volta das paredes do digestor sendo necessário um selo-d'água para impedir a saída de biogás.

2.1.7 - Biogás

O biogás é, junto com o biofertilizante, é um excelente subproduto para agregar valor na reciclagem de resíduos por biodigestão anaeróbia.

O biogás é uma mistura gasosa combustível, produzida através da digestão anaeróbia, processo fermentativo que tem como finalidade a remoção de matéria orgânica.

A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (Wereko - Broby Hagen, 2000 citados por PÉCORA 2006). Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano.

MIRANDA (2005) e ORRICO JUNIOR (2008), encontraram valores de 65,7 % e 66,5 % de metano em biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, SANTOS

(2001), trabalhando com cama de frango chegou a concentração de 80 % por volta dos 61 e 80 dias após o abastecimentos para biogás proveniente dos substratos com 15 e 5 % de inóculo, e se mantiveram nesses teores até o final do período de fermentação, 140 dias.

Segundo JEONGSIK et al. (2003), o uso do biogás não traz somente ganhos econômicos devido à redução dos gastos com combustíveis, como também traz ganhos ambientais por meio da troca de um combustível não renovável por um renovável e redução da contribuição da atividade para o aquecimento global, pela queima dos gases considerados de maior poder nocivo .

O metano por ser 21 vezes mais poluente do que o dióxido de carbono é considerado de grande contribuição para o efeito estufa, desta forma o armazenamento e posterior queima deste gás gera menor impacto a camada de ozônio e créditos de carbono que podem ser vendidos, resultando em mais uma fonte de renda alternativa.

A produção de biogás poderá ser influenciada por uma série de fatores que podem determinar o sucesso ou a falência do tratamento de determinado resíduo. Entre esses é possível citar a temperatura, o pH, a presença de inóculo, de nutrientes, a composição do substrato, o teor de sólidos totais, e como consequência destes, a interação entre os microrganismos envolvidos no processo (STEIL, 2001).

A composição global do biogás produzido durante a digestão anaeróbia varia de acordo com as condições ambientais atuantes sobre o biodigestor. Esta composição altera-se rapidamente durante o período de partida do sistema e também quando o processo de digestão é inibido. Para biodigestores operando de maneira estável, a proporção de gás carbônico em relação ao metano pode variar substancialmente, dependendo das características do composto orgânico a ser degradado (CHERNICHARO, 1997).

O volume de biogás produzido por unidade de peso de matéria orgânica é variável, e depende de diversos fatores como temperatura, alimentação, manejo, tipo de biodigestor e, fundamentalmente, tipo de material orgânico empregado (Tabela 2).

Tabela 2 – Alguns valores da produtividade de biogás

Material	Produtividade (m ³ kg ⁻¹)
Esterco de bovino leiteiro “in natura”	0,08
Cama de frango	0,11
Cama de galinha poedeira (galpão convencional)	0,35
Esterco de suíno	0,03
Esterco de caprinos	0,05

Fonte: Adaptado de AUGUSTO (2008), COSTA (2009), MIRANDA (2009), ORRICO (2005) XAVIER (2005).

2.1.8- Biofertilizante

O biofertilizante possui compostos bioativos, resultantes da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Em seu conteúdo são encontradas células vivas ou latentes de microrganismos de metabolismo aeróbio, anaeróbio e fermentação (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) e também metabólitos e quelatos organominerais em solutos aquosos. E a sua qualidade é em função, principalmente, do tipo de substrato e da maneira com que se desenvolve o processo a que determinado substrato é submetido.

O biofertilizante representa a adição de microrganismos e seus metabólitos e de compostos orgânicos e inorgânicos com efeito sobre a planta e sua população epifítica, quando pulverizada na parte aérea (TRATCH, 1996, citado por MORALES 2006). De acordo Santos & Akiba (1996), citados por MEDEIROS & LOPES (2006), os metabólitos são compostos de proteínas, enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenóis, ésteres e ácidos, inclusive de ação fito-hormonal produzidos e liberados pelos microrganismos.

De acordo com LUCAS JUNIOR. (1987), a grande vantagem do tratamento de resíduos de origem agrícola e animal, é o estímulo à reciclagem controlada do material orgânico, pelo que ela representa em termos de seu enfoque relacionado à produção de biogás, biofertilizante e ao saneamento ambiental, reduzindo o número de sementes viáveis de plantas daninhas e o número de patógenos, em relação a resíduos de animais não tratados.

Alguns requisitos de qualidade para uso final são apontados pela CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2007).

A resolução do CONAMA 357 também define as condições e os padrões de lançamento de efluentes e estabelece em seu artigo 24 que, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, após o devido tratamento. Os padrões para lançamento no corpo d'água, e os padrões de qualidade do corpo receptor, definidos por lei, são exigidos pelas entidades ligadas a água.

O aproveitamento de resíduos produzidos pelo meio rural ou agropecuário em processos como a biodigestão anaeróbia é eficiente para o manejo sanitário e atender as exigências do licenciamento ambiental necessário para que produtores, agroindústrias, etc., permaneçam em suas atividades. Além de representar uma importante ferramenta para o manejo da fertilidade do solo a aplicação do biofertilizante, tem sido considerado como um excelente adubo orgânico.

2.1.9 – Técnica de separação de resíduos

Entre as técnicas utilizadas para favorecer o melhor desempenho do biodigestor nas propriedades encontra-se a separação das frações mais grosseiras. A operação do biodigestor devem ser realizado com substratos com menos de 10% de sólidos totais, para que o processo seja mais eficiente, conforme recomendação de LUCAS JUNIOR (1994).

Entre as etapas para abastecimento do biodigestor existe, dependendo do substrato, a necessidade de um pré-tratamento. Entre as etapas pode-se determinar que existe a etapa de separação de frações o que segundo LOVATTO (1996), também pode ser definida conhecida como técnica de tratamento físico. A separação de fases pode ser dividida nas seguintes etapas: decantação, peneiramento e centrifugação.

2.1.9.1 - Separação de Fases

A primeira etapa, separação de fases, consiste em separar as partículas contidas nos dejetos líquidos ou ainda contida nos dejetos sólidos, obtendo-se dois produtos:

- Uma fração líquida mais fluída, mas conservando a mesma concentração em elementos fertilizantes solúveis que os dejetos brutos;
- Uma fração sólida, resíduo da peneira, com umidade próxima a 70%, mantendo-se agregada e podendo evoluir para um composto.

Estudos realizados com separação mecânica através de peneiras, comprovam que durante a separação de fases, apenas 20 % de todo o material fica retido na peneira, ou seja, 80 % do material é considerado fração líquida.

São vários os processos utilizados para obtenção de partículas maiores contidas nos dejetos, as quais serão descritos a seguir.

2.9.1.2 - Decantação

A separação por decantação é obtida armazenando-se os dejetos líquidos em um reservatório de maneira que com o tempo a fração sólida em suspensão decante. A solubilidade diferente dos diversos elementos presentes provoca uma divisão heterogênea; fósforo e nitrogênio orgânico são encontrados nos sólidos sedimentados (82% e 62%, respectivamente); o nitrogênio amoniacal (90%) e o potássio (100%), encontrados na fase líquida. O dimensionamento deve levar em conta a vazão do efluente e a velocidade de sedimentação, PALOVATTO (1996).

2.9.1.3 - Peneiramento

Existem diversos tipos de peneiras, todas com o mesmo objetivo, separar os dejetos em duas frações, a sólida e a líquida. Deste modo fica facilitado o posterior processamento dos dejetos. Na avaliação de eficiência foi observado que peneiras com 800 e 500 μm ($10 \mu\text{m} = 0,01 \text{ mm}$) determinaram a eficiência de 40 e 49%, respectivamente. As peneiras classificam-se em estáticas, vibratórias e rotativas. Sendo que as estáticas apresentam uma menor eficiência em relação às demais. Já as peneiras vibratórias separam a fração líquida da sólida realizando movimentos tangenciais e verticais, de forma a manter os dejetos em fluxo contínuo. Por sua vez, nas peneiras rotativas a fração líquida atravessa os crivos depositando-se na sua parte inferior e a fração sólida adere à superfície e é retirada por uma lâmina de raspagem, PALOVATTO (1996).

2.9.1.4 - Centrifugação

Um outro processo de separação das fases dos dejetos é a centrifugação no qual a força gravitacional incide nas partículas em suspensão dos dejetos. A centrífuga pode ser do tipo horizontal, cilindro rotativo ou cônico com diferentes velocidades. A relação c/d (comprimento/diâmetro) do cilindro define a eficiência da centrífuga. Centrífuga de alta rotação com a relação c/d maior que 2 são utilizadas para separar sólidos altamente dispersos com baixa concentração. Centrífugas de média rotação com c/d , menor que 2 são empregadas para separar líquidos com alta concentração de sólidos, PALOVATTO (1996).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Local

A pesquisa foi realizada nas dependências do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista, UNESP – Campus de Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são: 21° 15' 22" S. 48° 18' 58" W, temperatura média anual de 22,2°C e altitude média de 595 m (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2007).

3.1.2 - Os resíduos

Foram utilizados dejetos de suínos e camas de frangos de primeiro e terceiro lote de reutilização. Os dejetos de suínos foram coletados pelo método de raspagem, junto ao setor de suinocultura da FCAV – UNESP de Jaboticabal, a cama de frango era composta por casca de amendoim e foi coletada em galpões comerciais pertencentes à Granja Três Anjos, localizada no município de Colina – SP, sendo a granja integrada da empresa SEARA S.A. A Figura 2 mostra um detalhe de um dos galpões no momento da coleta da cama.



Figura 2 – Detalhe de um dos galpões da granja e coleta da cama utilizada

3.1.3 - Dados meteorológicos

Durante todo o período experimental, foi acompanhada a temperatura ambiente, os dados foram obtidos na estação agroclimatológica, unidade pertencente a UNESP, campus de Jaboticabal, tabela 3.

Tabela 3 - Dados meteorológicos em Jaboticabal de janeiro a dezembro de 2010 e de janeiro a julho de 2011, ou durante todo o período experimental.

Mês/ano 2010	T ^o média (°C)	Precipitação (mm)	ND	Mês/ano 2011	T ^o média (°C)	Precipitação (mm)	ND
Janeiro	24,4	240,7	20	Janeiro	24,7	260,1	13
Fevereiro	25,3	150,7	14	Fevereiro	24,6	208,2	17
Março	24,6	183,0	13	Março	23,1	496,0	22
Abril	22,2	95,5	07	Abril	22,8	92,3	11
Maiο	19,5	10,6	04	Maiο	19,6	7,0	3
Junho	18,5	7,8	02	Junho	17,9	29,7	2
Julho	20,4	0,0	0	Julho	20,1	0,0	0
Agosto	20,8	0,0	0				
Setembro	23,2	141,9	8				
Outubro	23,0	69,4	12				
Novembro	24,1	100,1	13				
Dezembro	25,1	225,3	20				
Média (ano)	22,6	1225,0	113				

Fonte: Estação climatológica UNESP Jaboticabal
ND = número de dias com chuvas

3.1.4 - Descrição do experimento

O experimento foi dividido em três etapas: na primeira etapa realizou-se a biodigestão do dejetos de suíno para obtenção de biofertilizante utilizado para diluição da cama de frango de primeiro e terceiro lote.

Primeira etapa (janeiro a maio de 2010): utilizaram-se seis biodigestores contínuos com capacidade útil de 60 L em fermentação, com substrato de dejetos de suínos diluídos em água, visando a obtenção de biofertilizante, que foi armazenado em caixas d'água que simularam uma lagoa de estabilização.

Os dejetos de suínos foram coletados pelo método de raspagem, junto ao setor de suinocultura da FCAV – UNESP de Jaboticabal.

Os biodigestores contínuos foram abastecidos com cargas diárias de dejetos de suínos e foram operados com um Tempo de Retenção de Hidráulica (TRH) de trinta

(30) dias, sendo efetuados abastecimentos contínuos por um período de 90 dias. O abastecimento inicial e as cargas diárias foram realizadas como se segue:

- Abastecimento Inicial: pesaram-se 5,4 kg de dejetos de suíno os quais foram diluídos em 54,6 kg de água, obtendo-se 60 kg de substrato (capacidade útil de cada biodigestor). Quando se observou estabilização na produção de biogás com aumentos na concentração de metano, constatando a presença de queima, iniciaram-se as cargas diárias.

- Cargas Diárias: diluiu-se 0,270 kg de dejetos de suínos em 1,73 kg de água, obtendo-se 2 kg de substrato e que este tenha aproximadamente 2 % de sólidos totais para o abastecimento diário de cada biodigestor. Os efluentes dos seis biodigestores (biofertilizante) obtidos diariamente foram armazenados em caixa d'água de modo a simular lagoas que normalmente são instaladas após os biodigestores nas propriedades rurais, recebendo luz solar, precipitações pluviométricas, etc.

A Figura 3 mostra a caixa d'água utilizada para o armazenamento dos efluentes.



Figura 3 - Biofertilizante armazenado em caixa d'água.

Na segunda etapa (de julho a dezembro de 2010): o experimento foi conduzido com cama de frango de primeiro lote, foram utilizados biodigestores batelada, descritos por ORTOLANI et al (1986), os quais possuem capacidade útil de 60 L de substrato em fermentação, conforme ilustrado na Figura 4.

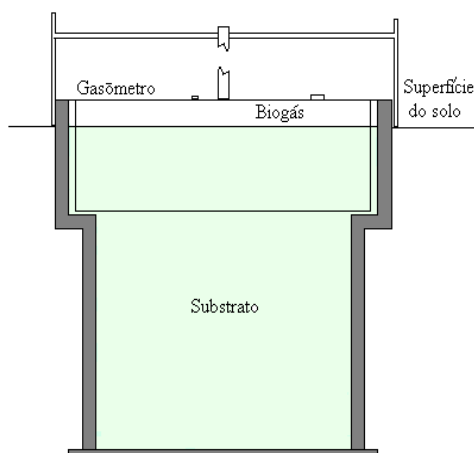


Figura 4 - biodigestor modelo batelada, conforme ORTOLANI et al. (1986).

As condições de todos os tratamentos estão descritos na tabela 4.

Tabela 4 - Condições de inoculação e repetições para a execução do experimento CF1º lote

Resíduo	Abastecimentos dos biodigestores	Repetições
Cama de frango 1º lote	T1 = Cama (5,3 kg) + água (55,78 kg) sem separação da fração sólida (SSFS) 6% ST T2 = Cama (2,7 kg) + água (57,3 kg), com separação da fração sólida (CSFS) 3% ST T3= Cama (5,3 kg) + água (55,78 kg), com separação da fração sólida (CSFS) 6% ST T4 = Cama (5,3 kg) + biofertilizante (55,78 kg) sem separação da fração sólida (SSFS) 6% ST T5= Cama (5,3 kg)+ biofertilizante (55,78 kg) com separação da fração sólida (CSFS) 6% ST T6= Cama (2,7 kg) + biofertilizante (57,3 kg) com separação da fração sólida (CSFS) 3% ST	4

Os tratamentos foram realizados com a cama de frango diluída em água ou biofertilizante, que se encontrava armazenado na caixa d'água (obtido na primeira

etapa). Adotou-se a separação de sólidos ou não para a obtenção dos diferentes tratamentos. Para a separação dos sólidos, adotando-se o processo de separação física por peneiramento, utilizando-se peneira de arroz com 1 mm² de malha, até obter-se substratos com teores de sólidos próximos a 3 e 6 %.

Após processo de peneiramento, obteve-se os seguintes valores de fração líquida que abasteceu os biodigestores com CF de 1º lote:

T2 = 52,7 kg (B1), 53,1 kg (B2), 54,2 kg (B3) e 53,4 kg (B4)

T3 = 48,5 kg, (B1), 47,7 kg (B2), 46,6 kg (B3) e 47,8 kg (B4)

T5 = 46,5 kg, (B1), 47,0 kg (B2), 47,4 kg (B3) e 46,4 kg (B4)

T6= 52,2 kg (B1), 52,5 kg (B2), 53,5 kg (B3) e 53,1 kg (B4)

B1= Biodigestor 1, B2= Biodigestor 2, B3= Biodigestor 3, B4 = Biodigestor 4

Na terceira etapa (de janeiro a julho de 2011) adotaram-se os mesmos procedimentos e tratamentos da segunda etapa utilizando-se cama de frangos de terceiro lote. Os tratamentos adotados na terceira etapa estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Condições de inoculação e repetições para a execução do experimento CF 3º lote

Resíduos	Abastecimentos dos biodigestores	Repetições
Cama de frango 3º lote	T1 = Cama (4,22 kg) + água (55,78 kg) sem separação da fração sólida (SSFS) 6% ST	4
	T2 = Cama (2,1 kg) + água (57,9 kg), com separação da fração sólida (CSFS) 3% ST	
	T3= Cama (4,22 kg) + água (55,78 kg), com separação da fração sólida (CSFS) 6% ST	
	T4 = Cama (4,22 kg) + biofertilizante (55,78 kg) sem separação da fração sólida (SSFS) 6% ST	
	T5= Cama (4,22 kg)+ biofertilizante (55,78 kg) com separação da fração sólida (CSFS) 6% ST	
	T6= Cama (2,1 kg) + biofertilizante (57,9 kg) com separação da fração sólida (CSFS) 3% ST	

Após processo de peneiramento, obtiveram-se os seguintes valores para fração líquida que abasteceu os biodigestores com CF de 3º lote.

T2 = 54,2 Kg (B1), 57,0 Kg (B2), 56,7 Kg (B3) e 57,0 Kg (B4)

T3 = 52,0 Kg, (B1), 51,6 Kg (B2), 52,0 Kg (B3) e 51,3 Kg (B4)

T5 = 52,2 Kg, (B1), 51,2 Kg (B2), 50,8 Kg (B3) e 51,8 Kg (B4)

T6= 57,3 Kg (B1), 56,6 Kg (B2), 55,9 Kg (B3) e 56,6 Kg (B4)

B1= Biodigestor 1; B2= Biodigestor 2; B3= Biodigestor 3; B4 = Biodigestor 4

Nos tratamentos que não tiveram a separação de sólidos, a quantidade de substrato que entrou foi de 59 kg para os que receberam CF 1º lote e 60 kg para os que receberam CF 3º lote para todos os tratamentos.

A energia recuperável de cada sistema de produção foi calculada a partir das produções de metano (CH₄) nos biodigestores abastecidos com os dejetos desses sistemas e operados por tempo suficiente para alcançar o verdadeiro potencial dos mesmos, em L de CH₄ por kg de sólidos (ou matéria orgânica) adicionados. O potencial verdadeiro ou rendimento final de CH₄ (MØLLER et al., 2004) de cada dejetos expressará a potencialidade de seu aproveitamento energético, refletindo assim na eficiência energética dos sistemas. Quanto maior a recuperação de energia contida nos dejetos, maior a eficiência energética do sistema.

3.1.5 - ANÁLISES LABORATORIAIS

3.1.5.1- Teores de sólidos totais e voláteis

As amostras dos dejetos nos ensaios foram submetidas à pré-secagem, em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C, durante 72 h.

Após a pré-secagem, parte das amostras foram submetidas às análises de Sólidos Totais (ST) em estufa de circulação de ar forçada por 12 h a 105 °C. Os ST resultantes foram para a mufla a 600 °C, durante 2 h, de modo que possibilitasse a determinação de Sólidos Voláteis (SV), conforme descrito em APHA (1998).

3.1.5.2 - Caracterização mineral das amostras

A determinação dos nutrientes foi feita a partir da matéria seca, para posterior análise de macronutrientes.

O método é baseado na digestão total da matéria orgânica com ácido sulfúrico (H₂SO₄) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 50%, utilizando-se do digestor Digesdahl

Hach. Foram efetuadas a digestão, de aproximadamente 0,5 g da amostra, com 10 ml de ácido sulfúrico fumegante (H_2SO_4), e posterior adição de 10 ml de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 50% até a temperatura de $440^\circ C$, obtendo um líquido translúcido (composto somente pela fração inorgânica, pois a orgânica foi completamente digerida).

Com esse extrato pode-se determinar os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cobre, Manganês, Zinco, Sódio, segundo BATAGLIA et al. (1983).

Para a determinação de nitrogênio foi utilizado o destilador de micro kjeldahl, cujo princípio baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal ($(NH_4)_2SO_4$) em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de $(NH_4)_2SO_4$, na presença do indicador ácido/base, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Determinou-se os teores de fósforo pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2010. O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N. A concentração de fósforo das amostras é obtida utilizando uma reta padrão traçada previamente com concentrações conhecidas de padrões de 0 e 52 mg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por MALAVOLTA et al. (1991).

As concentrações de K foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica tipo chama modelo GBC 932 AA.

3.1.5.3 - Determinação do potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH), foi realizado com base no substrato coletado de afluente e efluente utilizado para determinação dos teores de sólidos totais e voláteis. Utilizou-se o medidor de pH digital “Digimed (DMPH – 2)”, sendo que a determinação do pH das amostras realizou-se a partir do material recentemente coletado e com sua umidade natural.

3.1.5.4 - Temperatura (t°) do biogás e ambiente

A temperatura ambiente era monitorada por meio de termômetro digital (em °C), antes de cada leitura do biogás. Para a leitura da temperatura de biogás, após a leitura da produção em m³, colocava-se o termômetro no local de liberação de gás, em seguida, aguardava-se o período para estabilização da temperatura, o que ocorria em média de 60 segundos, procedendo-se então a tomada da temperatura do biogás.

3.1.5.5 - Produção de biogás

A produção de biogás, foi realizada conforme ocorre o acúmulo na produção, com acompanhamento realizado diariamente e ao menos 01 vez por semana realiza-se a leitura. A leitura consiste, na altura medida pela régua fixada junto ao biodigestor pelo deslocamento vertical do gasômetro. O número obtido na leitura era multiplicado pela área de seção transversal interna dos gasômetros. Após cada leitura os gasômetros eram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm em 20°C, sendo efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), onde pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal.

Para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$(V_0P_0) / T_0 = (V_1P_1) / T_1$$

em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m³;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10,322,72 mm de H₂O;

T_0 = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9.652,10 mm de H₂O;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades de fezes (cama de frango), de afluente, de ST e SV adicionados nos biodigestores e SV reduzidos durante o processo de biodigestão. E os valores expressos em m³ de biogás / kg de cama, de Sólidos Totais adicionados e de Sólidos Voláteis reduzidos.

3.1.5.6 - Análise da composição do biogás produzido

Para avaliação da composição do biogás produzido, foram feitas análises com base nos teores de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Semanalmente eram retiradas amostras de biogás dos biodigestores durante todo o período experimental, utilizando seringas plásticas de 50 mL de volume. As determinações foram feitas utilizando-se um cromatógrafo de fase gasosa da marca FINNINGAN GC 2001 - equipado com colunas Porapak Q, Peneira Molecular 5A e detector de condutividade térmica, utilizando o hidrogênio como gás de arraste. A calibração do equipamento é feita com o gás padrão contendo 55,4% de metano, 35,1% de dióxido de carbono, 2,1% de oxigênio e 7,7% de nitrogênio.

3.2 - Análise estatística

Os dados obtidos para os potenciais de produção de biogás por kg de dejetos, de ST adicionados, de SV adicionados, de SV reduzidos, e as quantidades de macronutrientes foram analisados em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3X2, sendo dois (2) substratos: cama de frango com água e cama de frango com biofertilizante e três (3) diluições: sem a separação da fração sólida 6% (SSFS 6%), com separação da fração sólida 3% (CSFS 3%) e com separação da fração sólida 6% (CSFS 6%), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5% utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

Para observar os dados comparando os lotes das camas, utilizou-se os gráficos box - plot gerados pelo programa estatístico R (PANOSSO & MALHEIROS, 2007).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante o experimento.

4.1 – Caracterização química do biofertilizante obtido com dejetos de suínos

O biofertilizante de dejetos de suínos foi obtido na primeira etapa de aquisição de dados e, após armazenamento em caixa d'água foi utilizado para compor os tratamentos que receberam este material na diluição da cama de frangos de primeiro e terceiro lote de criação de frangos (etapas 2 e 3). Na tabela 6 estão apresentados os teores de N, P e K , valor do potencial de hidrogênio e teor de matéria seca (%), presentes no biofertilizante de dejetos de suíno utilizado.

Tabela 6 – Valores médios do potencial hidrogeniônico e teores de N, P e K, com base na matéria seca do biofertilizante de dejetos de suíno utilizado nas diluições das camas de frango.

Material	pH	MS (%)	g/100g		
			N	P	K
Biofertilizante de dejetos de suíno	6,58	0,31	3,78	1,11	2,51

MS= matéria seca, N = nitrogênio, P= fósforo e K = potássio

Observa-se que o pH do biofertilizante, apresentou-se bem próximo a neutralidade, mostrando um bom indicativo para reaproveitá-lo em processos de biodigestão anaeróbia. Os valores de N, P e K, estão próximos aos valores encontrados por ORRICO JUNIOR (2008), 3,84, 2,05 e 2,32 em porcentagem na matéria seca, respectivamente.

4.2 - Caracterização química das camas de frango

Tabela 7 – Caracterização química dos teores de N, P e K com base na matéria seca e porcentagem de MS das camas de frango composta por casca de amendoim de 1º e 3º lotes de reutilização.

Material	MS %	g/100 g		
		N	P	K
CF 1º lote	81	3,64	2,26	0,55
CF 3º lote	89	3,34	1,39	1,19

CF= cama de frango N = nitrogênio P= fósforo e K = potássio

Observa-se que houve um aumento no teor de potássio, mostrando o acúmulo de alguns nutrientes depositados após as criações das aves, devido à composição das excretas, penas, rações e outros materiais que compõem a cama de frango, ou mesmo manejo adotado na granja. Deve-se observar que, de forma geral, ocorrem acúmulos de nutrientes quando se reutiliza a cama de frangos em sucessivos lotes de criação, este fato foi mostrado por FUKAYAMA (2008), as diferenças observadas para os teores de N e P, em comparação aos valores encontrados pela autora pode ser justificada por ser granjas diferentes, cada

produtor estabelece um tipo de manejo alimentar, e deve-se levar em consideração que o nitrogênio é um mineral volátil.

4.3 – Redução dos teores de sólidos totais e voláteis

Na Tabela 8 são apresentados os valores iniciais (carga inicial dos biodigestores) e finais (biofertilizante) de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem e reduções em porcentagem de sólidos voláteis para os tratamentos que receberam cama de frango de 1º lote. Observando-se que, os tratamentos que receberam a cama de frango + água e cama de frango + biofertilizante com separação de sólidos a 6 %, foram os que apresentaram valores próximos para redução de sólidos voláteis em porcentagem, 51,3 % e 49,1%, respectivamente, indicando que na fração líquida há maior quantidade de nutrientes solúveis e mais facilmente degradável.

Tabela 8- Valores de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem e reduções em porcentagem de sólidos voláteis nos tratamentos que compostos por cama de 1º lote.

CF de 1º lote	Diluições	ST (%)		ST (kg)		SV(%)		SV (kg)		Reduções (%)	
		I	F	I	F	I	F	I	F	ST	SV
CF+H ₂ O	SSFS 6%	5,512	2,317	3,307	1,390	4,569	1,691	2,741	1,015	57,263	37,220
CF+H ₂ O	CSFS 3%	2,685	0,627	1,611	0,376	2,009	0,397	1,205	0,238	76,306	48,241
CF+H ₂ O	CSFS 6%	4,753	0,815	2,852	0,489	3,196	0,458	1,917	0,275	82,882	51,392
CF+Bio	SSFS 6%	5,660	1,444	3,396	0,866	4,341	1,046	2,605	0,627	74,461	45,516
CF+Bio	CSFS 6%	5,308	1,176	3,185	0,705	3,981	0,704	2,388	0,423	77,635	49,137
CF+Bio	CSFS 3%	2,896	1,838	1,737	1,103	2,335	1,203	1,401	0,722	56,462	29,017

ST= sólidos totais SV= sólidos voláteis

SSFS = sem separação da fração sólida CSFS= com separação da fração sólida

I = inicial F= final

FUKAYAMA (2008), encontrou valores de 29,33 e 29,66 % na redução de sólidos voláteis na cama de frango com casca de amendoim de 2º e 3º lote de reutilização respectivamente, em biodigestores bateladas (avaliados mesma época do ano), valores inferiores

aos encontrados nesse trabalho para os tratamentos que receberam cama de frango+água nas diferentes diluições, pois fração líquida apresentada nesse trabalho, pode ter influenciado a redução da matéria orgânica.

FUKAYAMA (2008), encontrou valores de 56,94 e 45,23 % na redução de sólidos voláteis na cama de frango com casca de amendoim de 1º lote de reutilização com água em biodigestores operados épocas iguais e épocas diferentes (época do ano) respectivamente, valores próximos aos encontrados nesse trabalho para os tratamentos que receberam cama de frango+ água CSFS 3% e cama de frango + água CSFS 6% .

SANTOS (2001), trabalhando com cama de frango composta por maravalha (1º e 9º lotes subquentes), em biodigestores bateladas operados sequencialmente, obteve valores entre 25 e 46,39 % de redução de SV, valores próximos aos encontrados nesse trabalho para cama de frango de 1º lote, que foi entre 29,01 a 51,39 %. Valores que segundo SANTOS (2001), SV de 25,48 % é considerado bem baixo do que se espera em um processo de biodigestão que ocorre normalmente, uma vez que a redução de sólidos voláteis pode nos dar um indicativo da matéria orgânica que se converterá em biogás.

Na tabela 9, estão apresentados os dados de reduções de sólidos para os tratamentos que receberam cama de frango de 3º lote. Observa-se que pelas medias igual aos substratos que receberam cama de frango de 1º lote, os tratamentos que receberam cama de frango + água e cama de frango + biofertilizante com separação de sólidos a 6 % apresentaram maiores reduções entre 86,495 e 80,33 %.

Tabela 9 - Valores de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem e reduções em porcentagem de sólidos voláteis nos tratamentos compostos por cama de 3º lote.

CF de 3º lote	Diluições	ST (%)		ST (kg)		SV (%)		SV (kg)		Reduções (%)	
		I	F	I	F	I	F	I	F	ST	SV
CF+H ₂ O	SSFS 6%	4,569	1,600	2,742	0,960	3,811	1,063	2,287	0,638	64,954	71,995
CF+H ₂ O	CSFS 3%	2,214	0,519	1,329	0,311	1,751	0,312	1,050	0,187	76,211	81,959
CF+H ₂ O	CSFS 6%	4,114	0,780	2,469	0,468	3,449	0,465	2,069	0,279	81,056	86,495
CF+Bio	SSFS 6%	4,488	1,756	2,693	1,054	3,396	1,184	2,038	0,710	60,817	65,111
CF+Bio	CSFS 6%	4,132	1,002	2,479	0,601	2,890	0,563	1,734	0,338	75,766	80,331
CF+Bio	CSFS 3%	2,191	0,662	1,314	0,397	1,463	0,393	0,878	0,236	69,661	83,016

ST= sólidos totais SV= sólidos voláteis

SSFS = sem separação da fração sólida CSFS= com separação da fração sólida

I = inicial F= final

Em comparação aos substratos que receberam cama de frango de 3º lote, os de 1º lote apresentaram menores valores para os parâmetros de reduções de SV, os tratamentos compostos por cama de frango + água e cama de frango+ biofertilizante com separação de sólidos a 6 % em ambas as reutilizações de cama apresentaram valores próximos para redução de SV em porcentagem, fato que pode ser justificado pelo tratamento possuir separação de sólidos e uma matéria orgânica de fácil degradação na fração líquida, havendo mais atuação de bactérias.

O tratamento que recebeu cama de frango de 3º lote diluída no biofertilizante com separação de sólidos a 3% apresentou uma redução de 83,0 % de SV, valor próximo ao mesmo tratamento que recebeu água. Dessa forma fica evidente a contribuição que o processo de separação da fração sólida tem sobre a redução da matéria orgânica.

4.4 - Potenciais de produção de biogás

Na Tabela 10, estão os valores dos potenciais de produções de biogás (m^3) kg^{-1} de cama, sólidos totais adicionados, sólidos voláteis adicionados, sólidos voláteis reduzidos para os tratamentos que receberam cama de primeiro lote.

O tratamento que recebeu cama de frango com biofertilizante sem a separação de sólidos a 6 % apresentou os maiores resultados 1,389 m³ de biogás, embora o biofertilizante tenha atuado como importante inóculo favorecendo a produção de biogás, a fração sólida demorou a ser digerida, pois em cama de primeiro lote há maior concentração de matéria orgânica digerível, consequentemente mais atuação de bactérias.

O tratamento que recebeu cama de frango + água sem a separação de sólidos a 6% também apresentou valores de produção de biogás 1,024 m³ de biogás, valores próximos ao encontrado por FUKAYAMA (2008), onde a autora encontrou valor de 0,986 m³ de biogás para tratamentos que receberam cama de 1º lote.

Observa-se que as maiores produção de biogás foi nos tratamentos que não tiveram a separação da fração sólida, indicando que na fração sólida pode haver elevados conteúdos de matéria orgânica digerível.

Tabela 10 – Potenciais médios de produção de biogás em biodigestores alimentados com cama de frango de 1º lote.

Substrato CF 1º lote	Diluição	Potenciais (m ³ de biogás kg ⁻¹)				
		BIOGÁS	ST AD	SV AD	SV RED	CAMA
CF+H ₂ O	SSFS 6%	1,0245 b	0,3120 b	0,3772 b	0,6240 a	0,1932 b
CF+H ₂ O	CSFS 3%	0,3460 b	0,2157 b	0,2860 b	0,3712 b	0,1282 b
CF+H ₂ O	CSFS 6%	0,4722 b	0,1660 b	0,2465 b	0,2877 b	0,0890 b
Médias		0,6142 B	0,2312 B	0,3032 B	0,4276 B	0,1368 B
CF+Bio	SSFS 6%	1,3887 a	0,4090 a	0,5337 a	0,7060 a	0,2620 a
CF+Bio	CSFS 6%	0,6882 a	0,2150 a	0,2887 b	0,3530 a	0,1297 a
CF+Bio	CSFS 3%	0,5560 b	0,3215 a	0,4050 a	0,8652 a	0,2060 a
Média		0,8776 A	0,3151 A	0,4090 A	0,6414 A	0,1992 A
CV (%)		12,08	12,68	13,87	18,94	12,88

CV = Coeficiente de variação

Letras minúsculas comparam médias entre os tratamentos que receberam água ou biofertilizante.

Letras maiúsculas comparam médias de substratos que receberam biofertilizante com médias de tratamentos que não receberam biofertilizante.

A produção de biogás por kg⁻¹ de cama, para todos os tratamentos foi mais expressiva para o tratamento que receberam cama de frango associada ao biofertilizante de dejetos de suíno sem a separação de sólidos 6%, diferindo dos demais tratamentos (P<0,05), apresentando um valor de 0,2620 m³ de biogás por kg⁻¹ de cama.

COSTA (2009), encontrou valores de 0,165 m³/biogás por kg⁻¹ de dejetos, a autora trabalhou com cama de frango de primeiro lote com serra de *pinus* sem a

separação de sólidos a 4 % e um tempo de retenção de 150 dias, associada ao biofertilizante de dejetos de suíno, valores diferentes ao encontrado nesse trabalho, pois os teores de sólidos e o tempo de retenção foi maior que no trabalho da autora.

TESSARO (2011), trabalhando em biodigestores batelada, com cama de frango de primeiro lote, composta por serra de *pinus*, sem a separação de sólidos, diluída em biofertilizante de cama de frango, encontrou valores de 0,410 m³/biogás por kg⁻¹ de dejetos, resultado bem maior em comparação ao encontrado nesse trabalho para o tratamento que recebeu cama de frango com biofertilizante de suíno, pois nesse trabalho o autor trabalhou com um tempo de retenção bem menor (60 dias) e o biofertilizante de dejetos de aves mostrou-se um eficiente inóculo para o experimento.

Em comparação aos substratos compostos por cama com água ou com biofertilizante, pelas médias, observa-se que aqueles que receberam biofertilizante diferiram daquelas que não receberam biofertilizante (P<0,05).

Para a variável de sólidos totais adicionados observa-se que o tratamento que recebeu biofertilizante sem a separação de sólidos a 6%, apresentou o maior valor, 0,4090 m³ de biogás quando comparado com o mesmo tratamento que recebeu água, todos os tratamentos que receberam biofertilizante, diferiram (P<0,05) daqueles que receberam água.

COSTA (2009), encontrou valores de 0,3031 m³ de biogás/kg⁻¹ de sólidos adicionados, nos tratamentos que receberam cama de frango diluída em biofertilizante de dejetos de suíno sem a separação de sólidos, valor próximo ao encontrado nesse trabalho, quando comparado pelas médias daqueles que receberam biofertilizante.

A inclusão de biofertilizante na diluição das camas, favoreceu a produção de biogás nos tratamentos, indicando que mesmo em épocas de inverno (estes foram operados de julho a dezembro), esse tipo de inóculo pode influenciar na produção de biogás da cama de frango, pois esse tipo de material é de difícil degradação e o uso de biofertilizante mostra-se eficaz no processo de biodigestão.

Na Tabela 11, estão os valores dos potenciais de produções de biogás (m³) kg⁻¹ de cama, sólidos totais adicionados, sólidos voláteis adicionados, sólidos voláteis reduzidos e por cama para os tratamentos receberam cama de 3º lote.

Em comparação pelas médias observa-se que não houve uma diferença ($P>0,05$), na maioria das variáveis avaliadas entre os substratos para água e biofertilizante, exceto para as variáveis de sólidos voláteis adicionados e sólidos voláteis reduzidos.

Comparando os tratamentos compostos por água ou biofertilizante, para produção de biogás, o tratamento que recebeu cama de frango com água sem a separação de sólidos a 6 %, apresentou o maior valor, uma produção de 1,0635 m³ quando comparado com aquele tratamento que recebeu água, em seguida o tratamento que recebeu cama de frango associada ao biofertilizante com separação de sólidos a 3 % apresentou valor de 0,7005 m³ de biogás apresentando diferença significativa ($P<0,05$) daquele que recebeu água, que foi de 0,531 m³ de biogás.

Tabela 11 – Potenciais médios de produção de biogás em biodigestores alimentados com cama de frango de 3º lote.

Potenciais (m ³ de biogás kg ⁻¹)						
Substrato CF 3º lote	Diluição	BIOGÁS	ST AD.	SV AD	SV RED	CAMA
CF+H2O	SSFS 6%	1,0635 a	0,3882 a	0,4667 a	0,6490 a	0,2517 a
CF+H2O	CSFS 3%	0,5315 b	0,4030 b	0,5117 b	0,6305 b	0,2532 b
CF+H2O	CSFS 6%	0,7260 b	0,2927 b	0,3490 b	0,4040 b	0,1722 b
Média		0,7736 A	0,3613 A	0,4425 B	0,5611 B	0,2257 A
CF+Bio	SSFS 6%	0,7572 b	0,2825 b	0,3730 b	0,5752 b	0,1795 b
CF+Bio	CSFS 6%	0,7925 b	0,2815 b	0,4072 a	0,5140 a	0,1660 b
CF+Bio	CSFS 3%	0,7005 a	0,6035 a	0,9047 a	1,2437 a	0,3770 a
Média		0,7500 A	0,3891 A	0,5616 A	0,7776 A	0,2408 A
CV (%)		15,15	13,76	12,69	15,0	12,77

CV = Coeficiente de variação

Letras minúsculas comparam médias entre os tratamentos que receberam água ou biofertilizante.

Letras maiúsculas comparam médias de substratos que receberam biofertilizante com médias de tratamentos que não receberam biofertilizante.

FUKAYAMA (2008), encontrou valores de 1,029 m³ de biogás em cama de frango reutilizada em época diferente e valores de 1,141 m³ de biogás em cama de frango reutilizada em época igual, ambas de 3º lote de reutilização, valores maiores aos encontrados nesse trabalho para os tratamentos que receberam água.

Para a variável de produção de biogás kg⁻¹ de cama de frango, houve diferença significativa para os substratos avaliados ($P<0,05$), exceto os tratamentos que receberam cama de frango com água ou biofertilizante com separação de sólidos a 6%, que

apresentaram uma produção de $0,1722 \text{ m}^3$ de biogás/ kg^{-1} de cama. Para aqueles que receberam biofertilizante, o tratamento composto por cama de frango com a separação de sólidos a 3 % foi o que apresentou maior valor, $0,3770 \text{ m}^3$ de biogás/ kg^{-1} de cama.

AIRES (2009) e FUKAYAMA (2008), encontraram valores de $0,212 \text{ m}^3$ de biogás kg^{-1} de cama, para cama não peneirada diluída em água, e $0,204 \text{ m}^3$ de biogás/ kg^{-1} de cama com água para cama de frango de 3º lote reutilizada em épocas iguais respectivamente, valores próximos aos encontrados nesse trabalho para o tratamento que recebeu cama de frango associado à água sem a separação de sólidos a 6 %.

Segundo ORRICO et al. (2007), o melhor parâmetro para refletir o potencial de determinada biomassa e, portanto, mais indicado para se utilizar em projetos de biodigestores, é aquele que expressa a produção de biogás por kg de ST adicionados nos biodigestores, pois elimina a interferência do teor de água presente na biomassa.

Observando os dados desse trabalho, o tratamento que apresentou maior valor de produção de biogás kg^{-1} de ST adicionados, foi o que recebeu cama de frango de 3º lote associado ao biofertilizante na diluição com a separação de sólidos a 3 %, o mesmo também que apresentou maiores resultados para produção de biogás por kg de SV reduzido, este parâmetro nos dá um indicativo que houve uma eficiência na conversão de SV em biogás.

4.5 – Produção de biogás representados em gráficos

Para melhor comparação visual de todos os tratamentos avaliados, tanto os que receberam cama de 1º ou de 3º lote, estão representados em gráficos blox plot, ou gráficos de caixas, este tipo de gráfico nos permite visualizar a simetria dos valores como um todo. Nas figuras 5, 6 e 7, estão apresentados os gráficos para produção de biogás, produção de biogás kg^{-1} de cama de frango e produção de biogás kg^{-1} de sólidos totais adicionados, para os tratamentos que receberam cama de frango com água ou biofertilizante tanto de 1º ou de 3º lote, respectivamente.

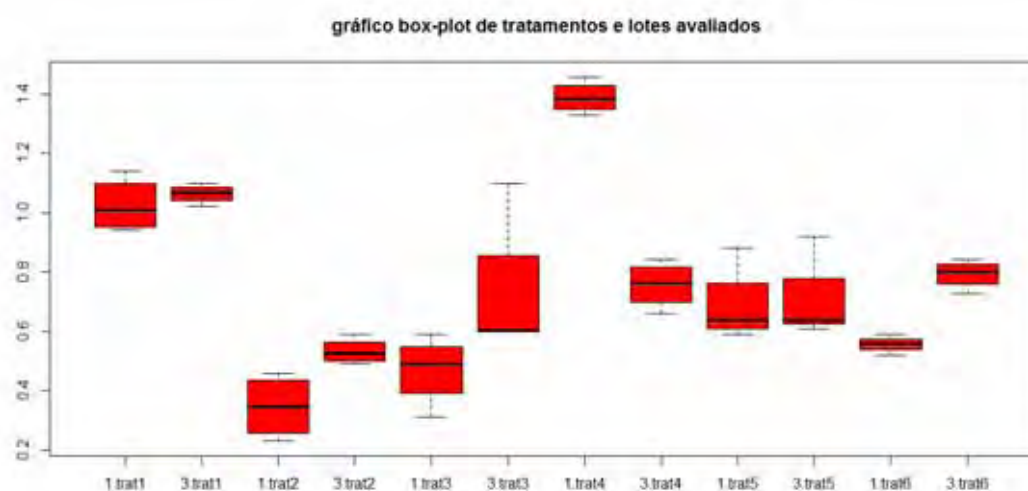


Figura 5 – Produção de biogás em gráficos box plot.

1= CF de 1º lote, t1= H₂O SSFS 6%, t2 = H₂O CSFS 3%, t3= H₂O CFSF 6%, t4= bio SSFS 6%, t5 = bio CSFS 3% , t6= bio CFSF 3%

3 = CF 3º lote t1= H₂O SSFS 6%, t2 = H₂O CSFS 3%, t3= H₂O CFSF+ 6%, t4= bio SSFS 6% ,t5 = bio CSFS + 6%, t6= bio CFSF + 3%

Pela Figura 5, podemos observar que na produção de biogás comparando cama de 1º com 3º lote, o tratamento que recebeu cama de 1º lote associado ao biofertilizante sem a separação de sólidos a 6% apresentou maior produção, se destacando com evidência de todos os tratamentos, fato justificado pela cama de primeiro lote, não sofre a pré fermentação aeróbia, devido a reutilização dos lotes, havendo por tanto uma maior atuação de bactérias para degradação desse material.

Já nos tratamentos em que utilizou-se o substrato sem a separação de sólidos a 6% com diluição em água, foram os tratamentos que obtiveram a segunda maior produção de biogás, com padrão de comportamento similar, independente do número de reutilizações das camas. O tratamento cama de frango com biofertilizante, sem separação da fração sólida a 6%, também apresentou produção de biogás similar independente do número de reutilizações de cama. Já os demais tratamentos, cama de frango+ água com separação de sólidos 3% , cama de frango + água com separação de sólidos 6%, e cama de frango+ bio com separação de sólidos 3%, observou-se que a produção de biogás foi superior nos tratamentos com 3 reutilizações de cama de frango.

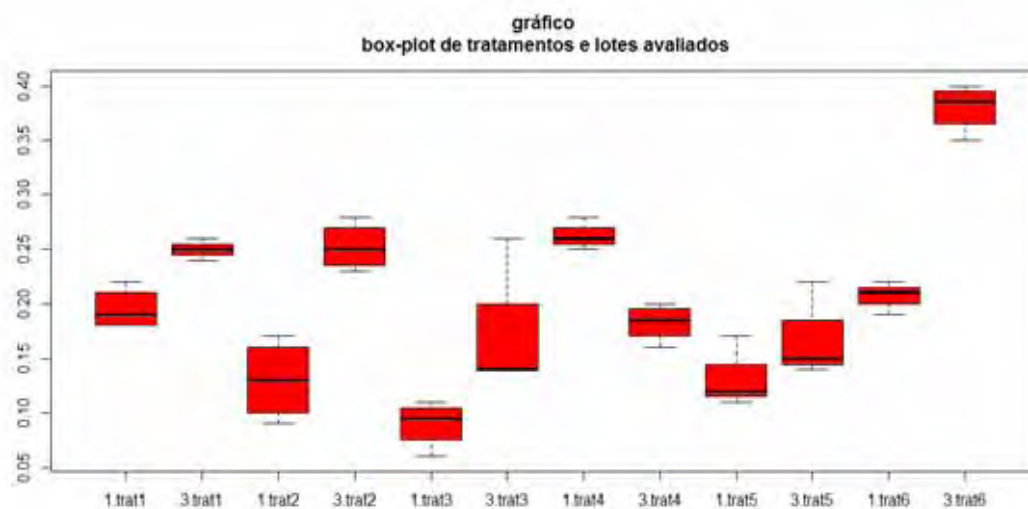


Figura 6 – Produção de biogás kg^{-1} de cama em gráficos box plot
 1= C F de 1º lote, t1= H_2O SSFS 6%, t2 = H_2O CSFS 3%, t3= H_2O CFSF 6%, t4= bio SSFS 6%, t5 = bio CSFS 3% , t6= bio CFSF 3%
 3 = CF 3º lote t1= H_2O SSFS 6%, t2 = H_2O CSFS 3%, t3= H_2O CFSF+ 6%, t4= bio SSFS 6% ,t5 = bio CSFS + 6%, t6= bio CFSF + 3%

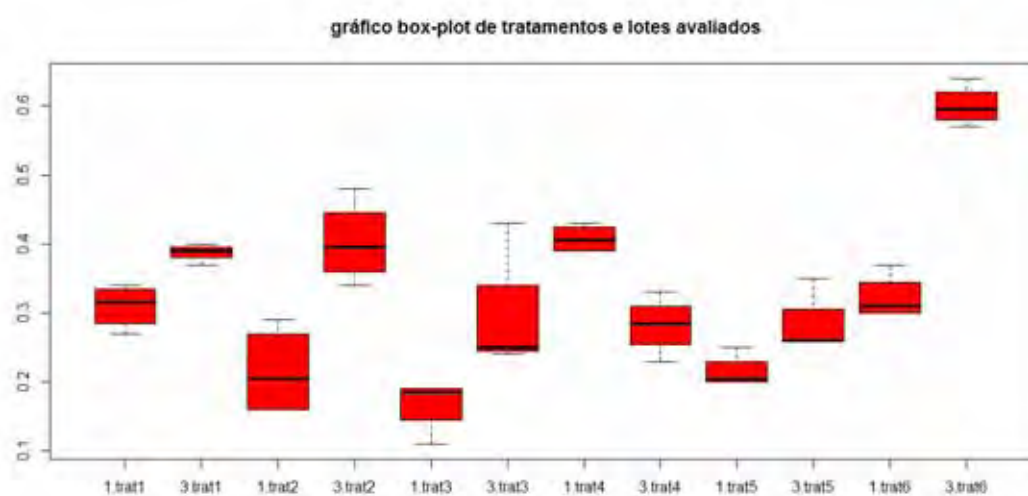


Figura 7 – Produção de biogás kg^{-1} de sólidos adicionados em gráficos box plot
 1= C F de 1º lote, t1= H_2O SSFS 6%, t2 = H_2O CSFS 3%, t3= H_2O CFSF 6%, t4= bio SSFS 6%, t5 = bio CSFS 3% , t6= bio CFSF 3%
 3 = CF 3º lote t1= H_2O SSFS 6%, t2 = H_2O CSFS 3%, t3= H_2O CFSF+ 6%, t4= bio SSFS 6% ,t5 = bio CSFS + 6%, t6= bio CFSF + 3%

Comparando os tratamentos que receberam cama de frango de 1º lote com os de 3º lote, observa-se que o tratamento que recebeu cama de 3º lote associada ao biofertilizante na diluição com separação de sólidos a 3 % foi o que mais produziu biogás kg^{-1}

de cama de frango e por kg^{-1} de sólidos totais adicionados se destacando dos demais tratamentos. Nas Figuras 6 e 7, observa-se que de maneira geral, todos os tratamentos, com exceção do tratamento de cama de frango+bio sem a separação de sólidos 6%, observou-se incremento na produção de biogás quando utilizou-se cama com 3 lotes de reutilização.

4.6 - Distribuição das produções de biogás

As produções volumétricas semanais de biogás de cada tratamento estão representados nas Figuras 8 à 13, e 14 à 19 para os tratamentos que receberam cama de frango de 1º e 3º lote, respectivamente.

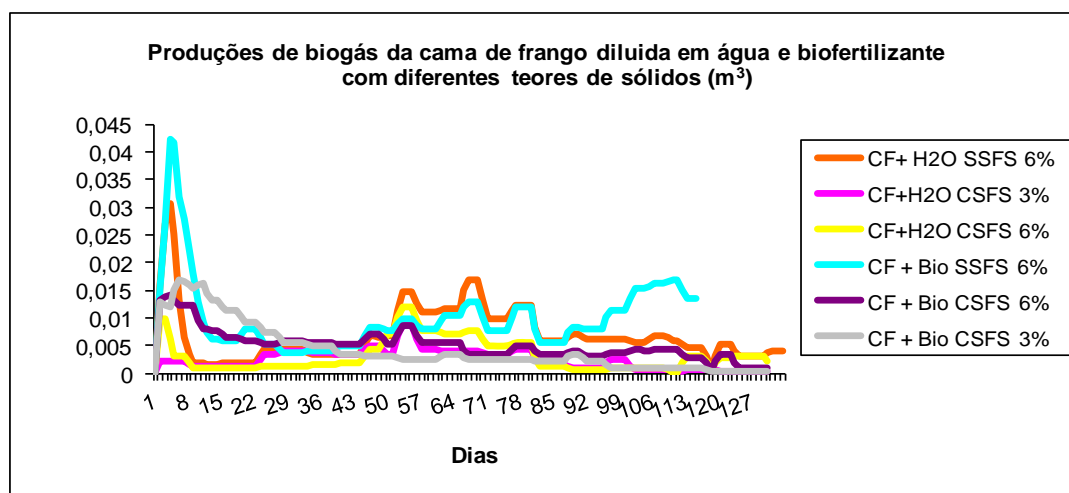


Figura 8 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote com água ou biofertilizante com diferentes diluições.

Observa-se na Figura 8, que o tratamento que recebeu cama de frango + biofertilizante de suíno sem a separação de sólidos foi o que mais produziu em comparação aos outros tratamentos apresentando uma produção estável a partir do 50º dia até o 85º dia de produção, e à partir deste momento apresentou um novo pico de produção até o dia 120 quando ainda apresentou uma tendência de produção contínua, enquanto os demais tratamentos encontravam-se com produção estabilizada e baixa.

O tratamento que recebeu cama de frango+ biofertilizante com separação de sólidos a 3%, e 6%, mostraram-se eficaz do primeiro dia até o 65º dia de

produção, apontando que a separação de sólidos e o uso de inoculo (biofertilizante) favorece a produção de biogás nos primeiros 50 dias de produção, permitindo que o dimensionamento para uso do biodigestor operado em batelada, ocorra em média com uma nova reutilização de cama a cada 45 dias, respeitando o vazio sanitário que é de em 10 dias, realizando um ciclo de produção de frangos fazendo uma geração energética na granja.

Observa-se também, que os tratamentos que receberam cama de frango+ água e cama de frango + biofertilizante sem a separação de sólidos apresentaram um pico de produção durante a primeira semana de produção, maior do que os tratamentos em que se realizou a separação de sólidos, e depois uma queda de produção de biogás e um novo pico foi obtido com aproximadamente 50 dias, comportamento esperado em processos de biodigestão anaeróbia em sistemas bateladas, pois nesse sistema de abastecimento há um pico de produção e logo em seguida um leve declínio para estabilizar o processo. Porém observa-se que o declínio de produção obtido nos primeiros 50 dias, não foi muito diferente dos tratamentos com separação de sólidos + H₂O com 3 e 6%, indicando que se o planejamento energético da granja exigir produção de biogás rápida, entre 30 e 60 dias, indica-se a utilização de biofertilizante na diluição da cama.

A Figura 9 compara as produções de biogás da cama de frango + água e cama de frango + biofertilizante ambos sem a separação de sólidos a 6 %, e mostra que o tratamento que recebeu cama de frango + biofertilizante acelerou e apresentou um pico na produção, mantendo-se estabilizado do 28º dia ao 85º dia, e em seguida apresentou um outro pico de produção que foi do 100º até os 120º dias, fato explicado pela influência da temperatura, pois esse período coincide com os meses de altas temperaturas na região, entre outubro e novembro.

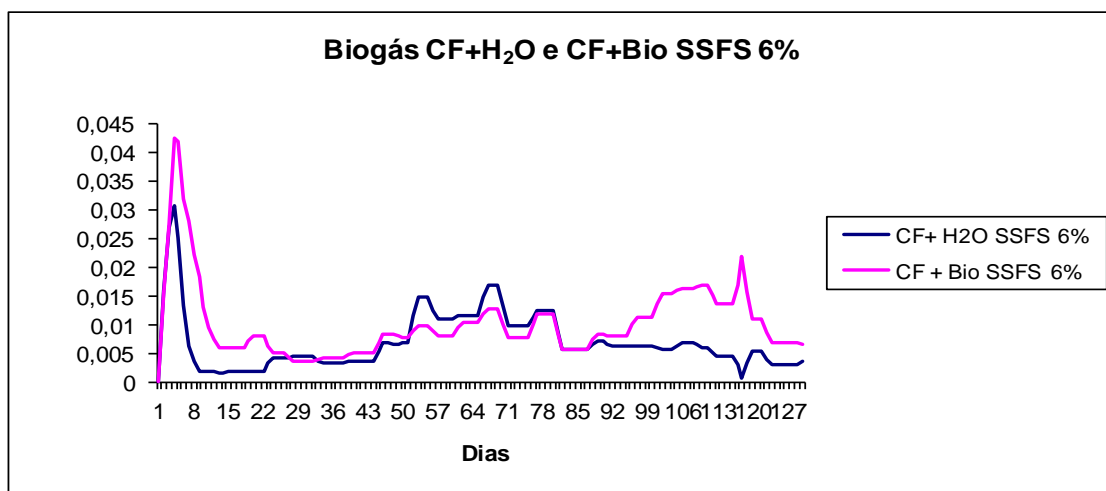


Figura 9 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição sem separação de sólidos 6 %.

A Figura 10 compara as produções de biogás da cama de frango + água e cama de frango + biofertilizante ambos com a separação de sólidos a 3 %, e mostra que o tratamento que recebeu cama de frango + biofertilizante a 3% apresentou as melhores produções, mantendo o pico até os 50º dias, além da produção mais rápida, com pico já na primeira semana, indicando a eficiência do uso do biofertilizante para antecipar o processo. E em função do menor teor de ST, em ambos os tratamentos, observou-se redução na produção após os 100 dias de avaliação do processo.

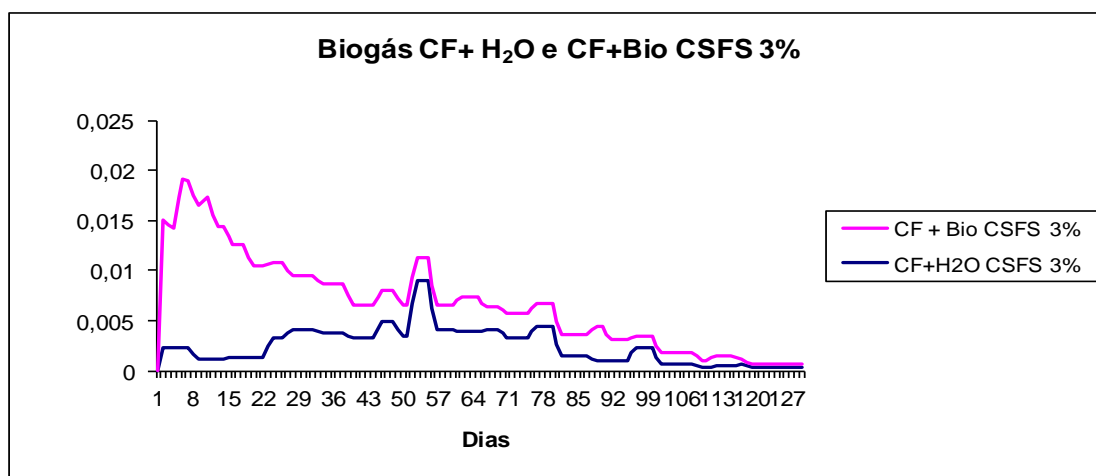


Figura 10 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 3 %.

A Figura 11 compara as produções de biogás da cama de frango + água e cama de frango + biofertilizante ambos com a separação de sólidos a 6 %, e mostra que o tratamento que recebeu cama de frango + biofertilizante apresentou as melhores produções, mantendo-se estável durante os 80^o dias de produção. Em ambos os tratamentos observou-se o mesmo padrão de produção de biogás, porém a produtividade foi muito superior no tratamento em que recebeu o biofertilizante.

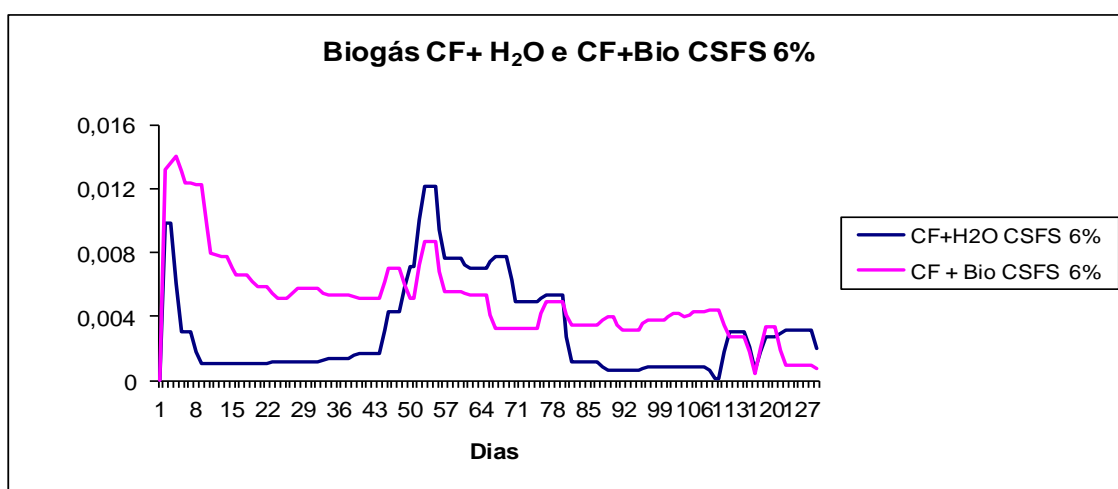


Figura 11 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1^o lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 6 %.

Na Figura 12 estão apresentadas as produções de todos os tratamentos que receberam cama de frango de 1^o lote diluída em água.

O tratamento que recebeu 6 % de sólidos sem a separação foi o que apresentou maior pico de produção, apresentando um declínio na segunda semana de operação e mantendo a estabilidade do 23^o dia até aproximadamente os 120^o dias de operação. Durante todo o período de avaliação, este tratamento ou foi superior, ou equivalente, aos demais tratamentos com diluição em água.

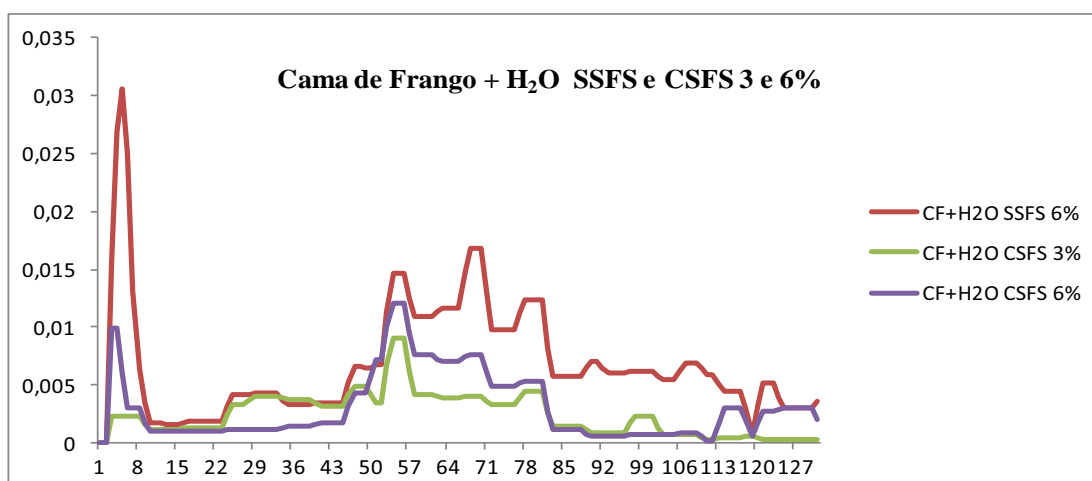


Figura 12 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote diluída em água com diferentes diluições.

Na Figura 13 estão apresentadas as produções de todos os tratamentos que receberam cama de frango de 1º lote diluída em biofertilizante. Observa-se que o tratamento que recebeu biofertilizante sem a separação de sólidos a 6%, ter apresentado um grande pico de produção nas duas primeiras semanas, este apresentou uma redução entre o 15 e 43 dia, e voltou a apresentar aumento de produção de biogás da 43 ao 127 dia de avaliação. Apesar dessa redução, observou-se que a ausência de separação da fração sólida, apresentou melhor produção média do que os tratamentos com separação da fração sólida, e entre esses tratamentos foi o que recebeu biofertilizante com separação de sólidos a 3 % que mostrou-se mais eficaz do que o com 6%, até o 43 dia, onde ocorreu a inversão da produção até aproximadamente os 92º dias de operação.

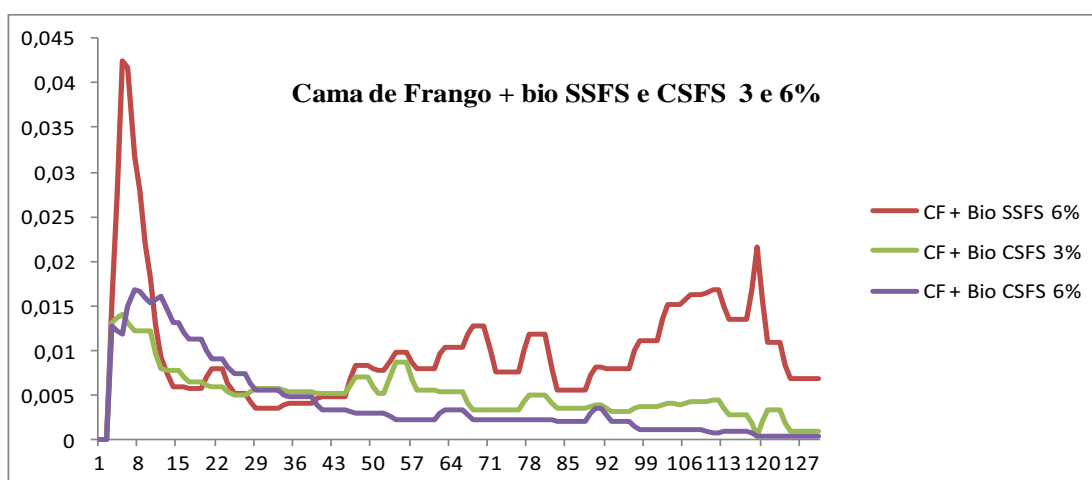


Figura 13 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 1º lote diluída em biofertilizante com diferentes diluições.

Na Figura 14 estão apresentadas as produções volumétricas de todos os tratamentos que receberam cama de frango de 3º lote, onde os tratamentos que receberam cama de frango com água SSFS a 6% e cama de frango com biofertilizante CSFS a 3% foram os que mais se destacaram apresentando picos e estabilidades de produções, principalmente nos primeiros dias e na metade do período experimental.

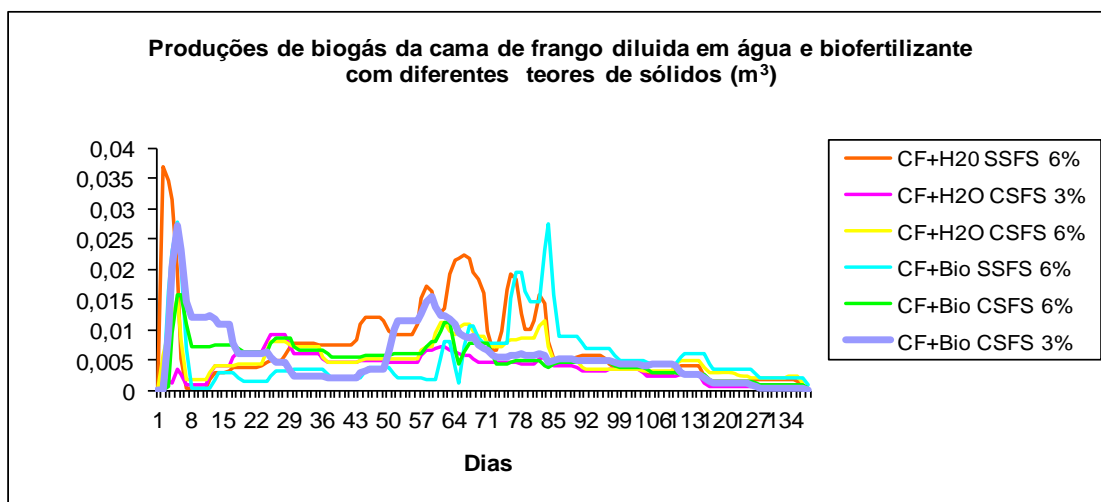


Figura 14 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote com água ou biofertilizante com diferente diluições.

Na figura 14, observa-se que em ambos os tratamentos houve um pico de produção na primeira semana de operação, logo em seguida uma queda, porém os tratamentos que receberam biofertilizante apresentaram maiores produções até aproximadamente o 70º dia, os tratamentos que receberam água, somente começaram a elevar sua produção após o 22 dia, porém mantiveram-se regular durante todo o processo.

Já na Figura 15 observou-se que o pico de produção ocorreu na primeira semana, independente do diluente utilizado, e a partir do 2º dia o tratamento com água, foi o que apresentou maior produção de biogás, mantendo- estável até o 85º dia. Somente após essa data que o tratamento com biofertilizante apresentou maior produtividade, porém a mesma foi muito similar à obtida com o uso de água.

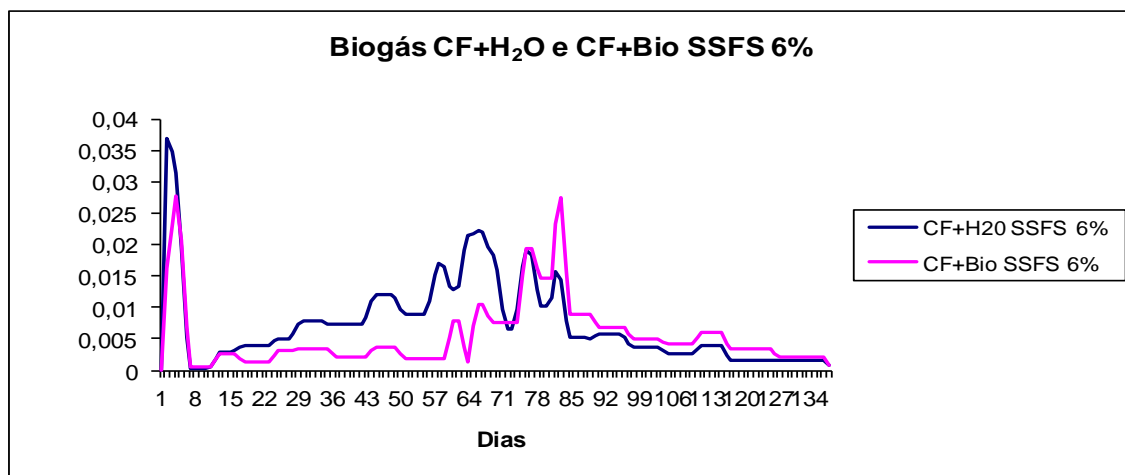


Figura 15 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição sem separação de sólidos 6 %.

Na figura 16 pode-se observar que o tratamento que recebeu biofertilizante mostrou maior eficiência no processo, apresentando picos elevados de produção e estabilidade durante o experimento quando comparado ao tratamento que recebeu água. A maior diferença observada entre os substratos ocorreu somente nas duas primeiras semanas, em que o uso de biofertilizante, promoveu maior produção de biogás do que o uso de água, e entre o 50º a 71º dia.

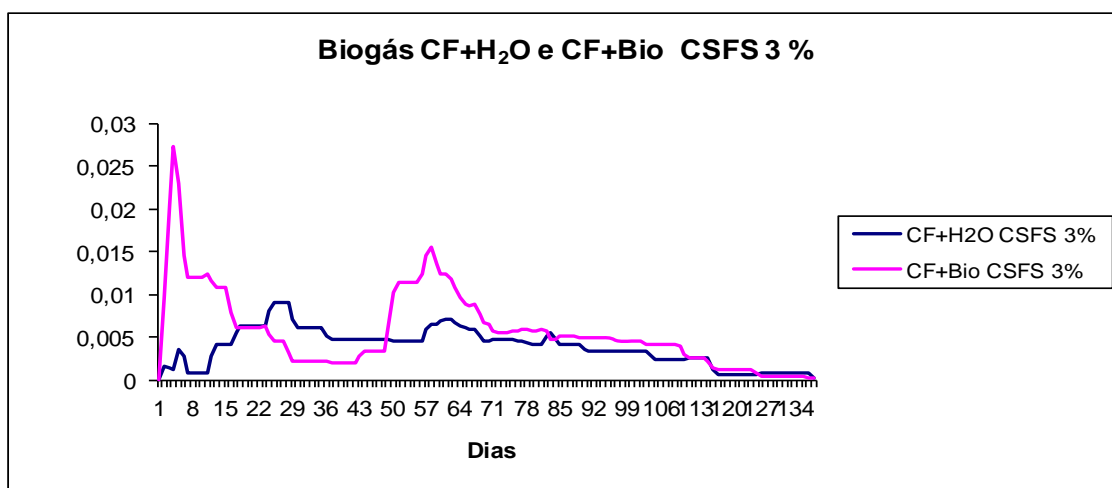


Figura 16 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 3 %.

Figura 17 mostra que o tratamento que recebeu biofertilizante teve uma produção mais acelerada em comparação ao tratamento que recebeu água, esse

tratamento apresentou um pico de produção na primeira semana e logo em seguida houve uma queda, comportamento esperado em sistemas batelada, já na segunda semana começou a operar de forma esperada, estabilizando-se até aproximadamente o 64º dia de produção mantendo-se estável até o final do experimento, enquanto o tratamento que recebeu água apresentou um pico de produção no início e somente por volta do 25º dia de produção começou a apresentar estabilidade.

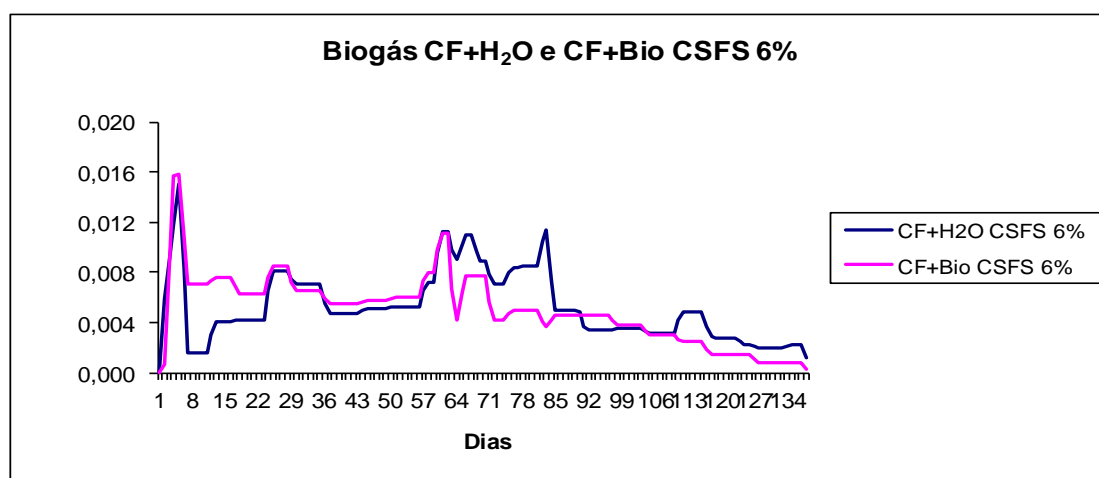


Figura 17 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote, para os tratamentos que receberam água ou biofertilizante na diluição com separação de sólidos 6 %.

Na Figura 18 estão apresentadas as produções volumétricas de todos os tratamentos que receberam cama de frango de 3º lote diluída em água. Observa-se que os tratamentos que receberam separação da fração tanto para 3 e 6% operaram quase que de forma homogênea, com exceção dos 58º aos 85º dias, o tratamento com separação de sólidos a 6 % apresentou um maior pico e produção ao longo do período.

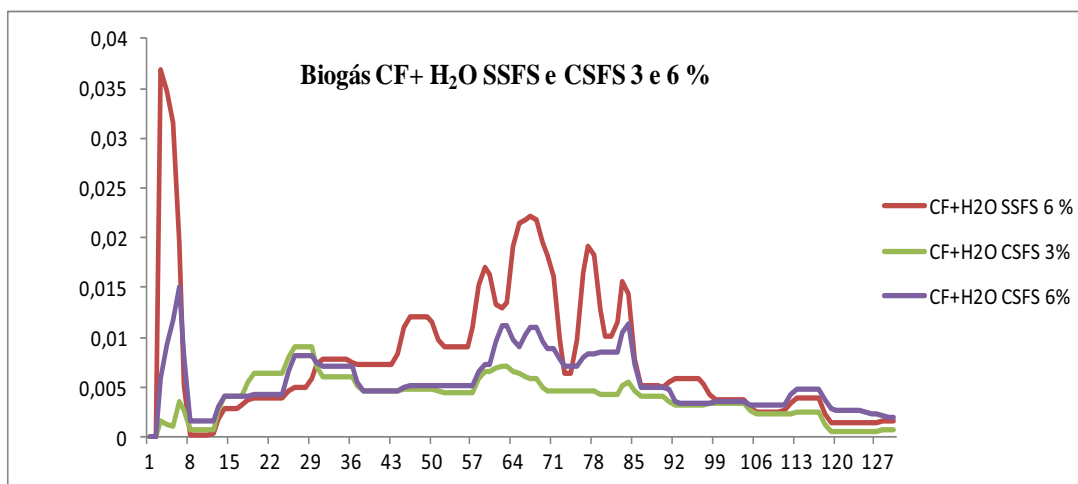


Figura 18 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote diluída em água com diferentes diluições.

Na Figura 19 estão apresentadas as produções volumétricas de todos os tratamentos que receberam cama de frango de 3º lote diluída em biofertilizante. Observa-se que a produção do tratamento com separação de sólidos a 3 % foi maior em comparação aos demais do início até os 30º dia a partir do 45º dia voltou a apresentar picos de produção até os 110º dias, e o tratamento com separação de sólidos a 6 % apresentou produção maior durante os 7º ao 80º dias de operação. Já o tratamento sem separação de sólidos com 6%, após o pico da primeira semana, só apresentou aumento de produção de biogás após os 70º dias.

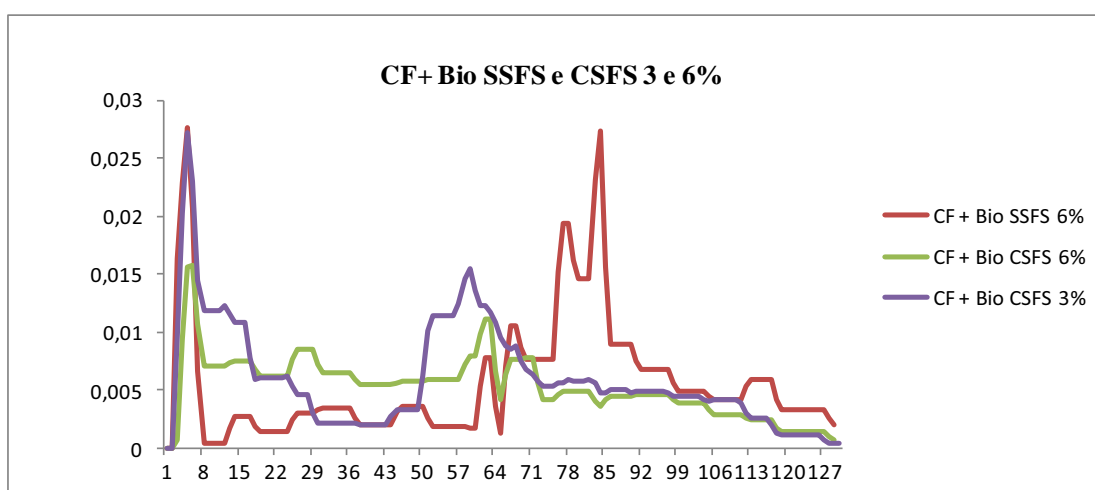


Figura 19- Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com cama de frango de 3º lote diluída em biofertilizante com diferentes diluições.

4.7 - Composição do biogás nos tratamentos avaliados

Nas Figuras 20 e 21 estão apresentados os valores médios em porcentagem de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) nos tratamentos que receberam cama de frango de 1º lote e 3º lote respectivamente.

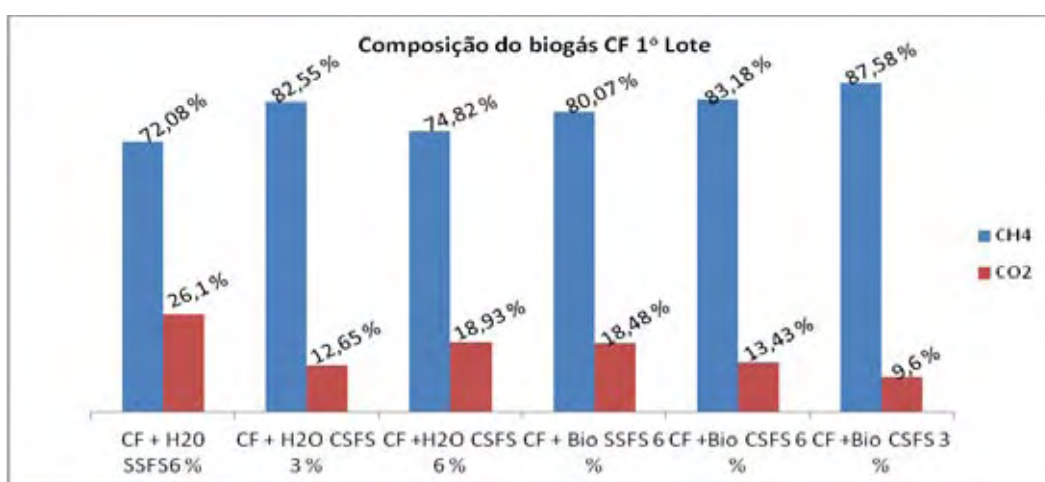


Figura 20 – Teores em (%) de CH_4 e CO_2 nos substratos que receberam cama de frango de 1º lote .

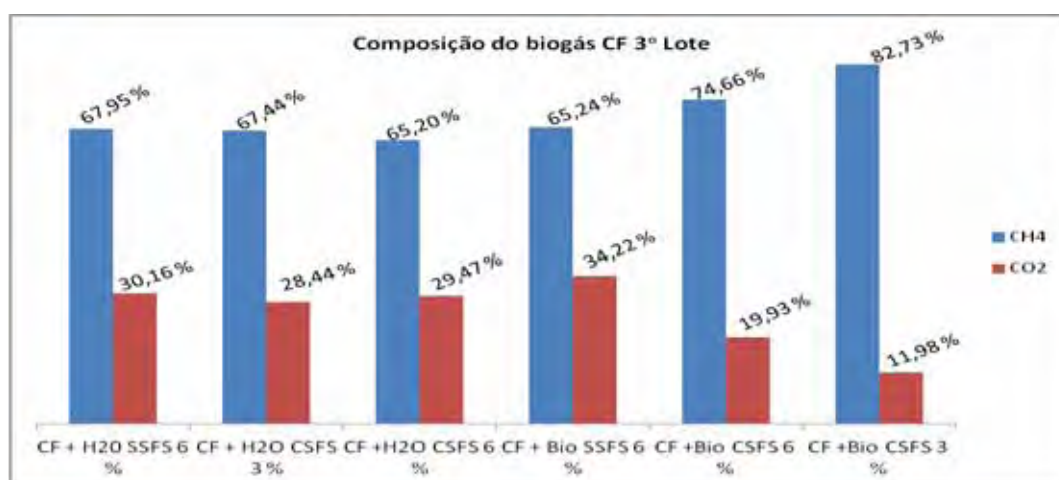


Figura 21 – Teores em (%) de CH_4 e CO_2 nos substratos que receberam cama de Frango de 3º lote .

De acordo com as figuras, pode-se observar que o tratamento que recebeu cama de frango CSFS + biofertilizante a 3 % tanto para 1º como o 3º lote, foi que apresentou valores mais elevados para CH_4 em média de 87,6 e 82,7 % respectivamente, fato

explicado em função da adição do biofertilizante ser rico em bactérias que degradam a matéria orgânica e da separação de sólidos, pois os sólidos contidos na fração líquida normalmente são mais facilmente hidrolisados e convertidos a metano.

FUKAYAMA (2008), encontrou em média valores de 82,5 % de CH_4 em substratos de cama de frango de primeiro de lote com casca de amendoim sem separação de sólidos diluídas em água. O mesmo comportamento foi observado neste experimento, porém os teores observados são menores que os encontrados para os tratamentos que receberam água.

AIRES (2009), trabalhando com cama de frango composta por casca de amendoim com diferentes reutilizações com e sem separação de sólidos, comparou a produção de metano e chegou a resultado de 81,35 e 78,92 % de CH_4 para cama de 1º lote e 85,98 e 81,98 % para cama de 3º lote, ambas com e sem separação de sólidos respectivamente, resultados próximos aos encontrados nesse trabalho.

COSTA (2009), encontrou valores de entre 70 e 90 % de metano em biogás, em tratamentos que continham cama de frango diluída em biofertilizante e água e cama de frango diluída em biofertilizante ambos sem a separação de sólidos, respectivamente, valores maiores que os encontrados nesse trabalho que foi em média de 83,3 % de metano.

Em processos de biodigestão anaeróbia, comumente nas primeiras fases há uma maior concentração (%) de CO_2 , devido ao estágio que envolve as bactérias fermentativas, compreendendo microrganismos anaeróbios e facultativos, logo em seguida há o aumento na concentração de CH_4 caracterizando a formação de biogás por excelência, maior concentração de metano foi observado em todos os tratamentos, independente da reutilização da cama ou da diluição.

O biogás é formado principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), gás amônia (NH_3), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e nitrogênio (N_2), sendo o metano um combustível por excelência e o biogás é mais puro quanto maior for o teor de metano (LUCAS JUNIOR, 1994), e nesse trabalho em ambos os tratamentos compostos por cama de frango tanto de 1º como de 3º lote diluída em água ou biofertilizante, foi observado que o teor de metano foi sempre maior em comparação ao teor de dióxido de carbono.

4.8 - Potenciais de hidrogênio nos tratamentos avaliados

Na tabela 12 estão apresentados os valores de potencial de hidrogênio encontrados para todos os tratamentos, tanto para os substratos compostos por cama de frango de 1º e 3º lote. O pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência do processo, Schulz (2001). Observou-se em média que houve pouca variação entre os teores de pH.

Tabela 12 – Potencial de hidrogênio nos tratamentos que receberam cama de 1º lote e 3º lote

1º lote	diluição	A	E	3º lote	diluição	A	E
CF+H ₂ O	SSFS 6%	7,99	7,87	CF+H ₂ O	SSFS 6%	8,24	8,26
CF+H ₂ O	CSFS 3%	7,91	8,37	CF+H ₂ O	CSFS 3%	8,31	8,30
CF+H ₂ O	CSFS 6%	8,09	8,44	CF+H ₂ O	SFS 6%	8,29	8,14
CF+Bio	SSFS 6%	7,91	8,29	CF+Bio	SSFS 6%	8,54	7,86
CF+Bio	CSFS 6%	8,10	8,29	CF+Bio	CSFS 6%	8,55	8,58
CF+Bio	CSFS 3%	8,08	8,11	CF+Bio	CSFS 3%	8,59	8,63

A= Afluente E= efluente

Segundo, VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), na digestão anaeróbia, a faixa de pH ótimo é o resultado das diversas reações que ocorrem. A maioria dos autores considera que um pH entre 6,6 e 7,4 corresponde a uma condição ótima, embora se possa conseguir estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla de pH, entre 6,0 e 8,0. O valor e a estabilidade do pH no reator anaeróbio são extremamente importantes: uma taxa elevada de metanogênese só pode se desenvolver quando o pH se mantém numa faixa estreita, perto do valor neutro, se o pH tiver um valor menor que 6,3 ou superior a 7,8 a taxa de metanogênese diminui rapidamente. O valor do pH no reator se estabelece após o equilíbrio iônico dos diferentes sistemas ácido/base presentes no sistema de tratamento.

Os dados de pH encontrados nesse trabalho (tabela 12) mostram que o tratamento que recebeu cama de frango de 1º lote apresentou em seu afluente uma variação de pH entre 7,1 e 8,0, tornando o meio favorável a formação de bactérias metanogênicas nesse

tratamento, já os valores de pH no material de entrada e saída para o tratamento que recebeu cama de frango de 3º lote apresentou valores superior a 8,0, considerado alcalino.

Deve-se levar em consideração ainda que se o efluente do biodigestor apresentar pH menor que 7,0, ou um efluente ácido, deve-se avaliar o processo, pois esse valor indica digestão incompleta ou sobrecarga do biodigestor. Se no caso o efluente apresentar um pH superior a 8,5, efluente bastante alcalino, deve-se avaliar a operação pois esse valor pode indicar um excesso de retenção hidráulica.

Segundo NOGUEIRA (1986), outro fator que tende a elevar o pH neste estágio e o teor de amônia, que aumenta quando as proteínas começam a serem digeridas. A amônia dissolvida em água é bastante alcalina, é possível conseguir estabilidade na formação de metano em uma faixa de pH entre 6,0 e 8,0. O pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência do processo, Schulz (2001).

4.9 – Quantidades de N, P e K em biofertilizante de cama de frango de 1º e 3º lote com diferentes substratos

Na tabela 13, estão apresentados os valores de nitrogênio, fósforo e potássio dos efluentes de cama de frango de 1º lote.

Tabela 13 – Valores de nitrogênio, fósforo e potássio g/100 g em biofertilizante de cama de frango de 1º lote.

CF 1º Lote	Diluição	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
CF+H ₂ O	SSFS 6%	3,616 a	2,675 b	4,885 a
CF+H ₂ O	CSFS 3%	3,867 a	3,932 b	6,243 a
CF+H ₂ O	CSFS 6%	2,974 b	3,292 b	8,493 a
Média		3,486 A	3,301 B	6,540 A
CF+ bio	SSFS 6%	3,747 a	7,107 a	2,817 b
CF+ bio	CSFS 6%	3,135 b	5,859 a	6,572 b
CF+ bio	CSFS 3%	3,872 a	6,084 a	3,537 b
Média		3,584 A	6,350 A	4,309 B
CV (%)		11,07	30,61	34,55

CV = coeficiente de variação

Letras minúsculas comparam médias entre os tratamentos que receberam água ou biofertilizante.

Letras maiúsculas comparam médias de substratos que receberam biofertilizante com médias de tratamentos que não receberam biofertilizante.

Observa-se que pelas médias para a concentração de nitrogênio entre os substratos que receberam água ou biofertilizante não houve diferença entre eles ($P>0,05$), apresentando valores entre 3,486 e 3,584 g/100 g, respectivamente. Em comparação aos teores de fósforo e potássio houve diferença ($P<0,05$) entre os substratos avaliados, sendo que para os teores de fósforos aqueles que receberam biofertilizante com diferentes diluições apresentaram as maiores concentrações e para potássio os que continham água no seu substrato apresentaram as maiores concentrações, diferindo estatisticamente entre si ($P<0,05$).

AIRES (2009), encontrou valores de 3,69, 1,62 e 1,55 para concentrações de N, P e K em camas de primeiro lote sem a separação de sólidos, e valores de 5,7, 2,31 e 1,39 nas concentrações de N, P e K para os tratamentos com separação da fração sólida, valores próximos aos encontrados nas concentrações de N nesse trabalho para os substratos compostos por água com e sem a separação de sólidos, os valores de P e K, nesse trabalho foram maior dos que os encontrados pelo autor.

Na tabela 14, estão apresentados os valores de nitrogênio, fósforo e potássio dos efluentes de cama de frango de 3º lote.

Tabela 14 – Valores de nitrogênio, fósforo e potássio g/100 g em biofertilizante de cama de frango de 3º lote.

CF 3º Lote	Diluição	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
CF+H ₂ O	SSFS 6%	3,818 a	2,848 b	6,824 a
CF+H ₂ O	CSFS 3%	3,589 a	4,785 a	6,548 a
CF+H ₂ O	CSFS 6%	3,403 a	2,828 b	8,071 a
Média		3,603 A	3,487 A	7,148 A
CF+ bio	SSFS 6%	3,995 a	2,597 b	5,690 a
CF+ bio	CSFS 6%	3,479 a	3,153 a	7,833 a
CF+ bio	CSFS 3%	3,877 a	3,827 a	5,955 a
Média		3,784 A	3,192 A	6,463 A
CV (%)		10,32	16,97	17,35

CV= coeficiente de variação

Letras minúsculas comparam médias entre os tratamentos que receberam água ou biofertilizante.

Letras maiúsculas comparam médias de substratos que receberam biofertilizante com médias de tratamentos que não receberam biofertilizante.

De modo geral, pelas médias observa-se que não houve diferença entre as variáveis para todos os tratamentos compostos por água ou biofertilizante ($P>0,05$).

FUKAYAMA (2008), encontrou valores de 3,77, 2,61 e 11,80 g/100g de N, P e K, respectivamente em efluentes obtidos após processos de biodigestão anaeróbia da cama de frango de 3º lote, valores próximos aos encontrados nesse trabalho, para os tratamentos comparados com a cama associada à água, com exceção aos valores de potássio, onde a autora encontrou valores maiores do que nesse trabalho, isso pode ser explicado, pelo fato de haver diferença na ração fornecida aos animais, pode haver diferenças nos materiais utilizados como cama, no balanço nutricional, no manejo dos frangos de corte, na reutilização da cama, dentre diversas outras variações.

Segundo FORESTI et al. (1999), a disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. Dentre eles o carbono, nitrogênio e o fósforo são minerais essenciais para todos os processos biológicos da metanogênese. A quantidade de N e P necessária para a degradação da matéria orgânica presente depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese, a partir de reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico.

Os dados obtidos em relação a concentração de nutrientes nos biofertilizantes, tanto dos tratamentos compostos por cama de frango de 1º como de 3º lote com água ou biofertilizante, destacam a importância do processo de biodigestão anaeróbia na reciclagem dos nutrientes contidos nesses tipos de resíduos, pois observam-se potenciais fertilizantes de N - P- K de 35-33-65 kg, respectivamente para cada 100 L de biofertilizante com a cama de 1º lote quando diluída em água e 35-63 e 43 kg de N-P-K quando diluída em biofertilizante. Para as camas de 3º lote observam-se potenciais de aproximadamente 36-35-71 kg de N-P-K quando diluídas em água e 37-32-65 kg de N-P-K quando diluída em biofertilizante.

5.0 - CONCLUSÕES

Conclui-se que avicultura de corte gera resíduos com alto conteúdo energético e de nutrientes que podem e devem ser aproveitados.

O estudo das diluições da cama de frango e a inclusão do biofertilizante mostrou eficiência em processos de biodigestão anaeróbia, tanto para cama de primeiro ou de terceiro lote.

A inclusão de biofertilizante em cama de 1º lote sem a separação de sólidos a 6% resultou nas maiores produções de biogás.

A diluição a 3 % com a separação de sólidos associada ao biofertilizante de suíno apresentou maiores resultados para produção de biogás/kg/cama e por kg de sólidos totais adicionados, indicando que não é preciso ter muita concentração de sólidos no substrato para projetar dimensionamentos de biodigestores.

Para o parâmetro teor de metano foi observado que o tratamento que recebeu diluição a 3 % com a separação de sólidos associada ao biofertilizante de suíno apresentou os maiores resultados tanto para substratos compostos com cama de frango de primeiro e terceiro lote.

As concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, foram mais expressivas para os substratos com cama de 1º lote contendo biofertilizante independente das

diluições, os que receberam cama de 3º lote não houve diferença entre eles para as concentrações de N, P e K.

6.0 - REFERÊNCIAS

AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

AMARAL, C. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, nov./dez. 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th. ed. Washington, DC: APHA, 1998.

ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria, 2008. p. 271-285.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas estratégicas de controle. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 151-161, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. Produção mundial de carne suína 2010. Disponível em: <www.abipecs.org.br>. Acesso em: 12 dez. 2011.

AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

AVILLA, V. S. et al. **Materiais alternativos, em substituição à maravalha como cama de frangos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. (Circular Técnica, n. 465).

BATAGLIA, O. G. et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico).

BELLAVER, C.; FIGUEIREDO, E. A. P. Conjuntura da avicultura e suinocultura para 2007. *Feed & Food*, Porto Feliz, v. 3, n. 6, p. 22-24, 2007.

BENINCASA, M.; ORTOLANI A. F.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores convencionais?** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP/FCAV, 1991. 25 p. (Boletim Técnico).

BUDIÑO, L. F. E.; TUCCI, M. F.; HANNAS, M. I. **In: SEMINÁRIO SOBRE GERAÇÃO, APROVEITAMENTO E UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA SUINOCULTURA**, 2000, Jaboticabal. UNESP: Jaboticabal, 2000. 79 p.

BURKE, P. E.; DENNIS, A. **Dairy waste anaerobic digestion handbook, options for recovering, beneficial products and from dairy manure**. Olympia: Environmental Energy Company, 2001. 57 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiano1>. Acesso em: 26 jun. 2007.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

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

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 1997. v. 5, 246 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007. 359 p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 01 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 23 jan. 2009.

COSTA, L. V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do**

biofertilizante. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização de dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

EMBRAPA. **Anuário estatístico de suinocultura**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 2011. (Documentos, n. 146).

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

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, 1999. p. 29-52.

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.

GOMES, A. P. W.; GOMES, A. P. Sistema de integração na avicultura de corte: um estudo de caso na região de Viçosa - MG. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008. **Anais...** Rio Branco, 2008.

GOMEZ, A. The evaluation of compost quality. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 17, p. 310-314, 1998.

GONÇALVEZ, R. G.; PALMEIRAS, E. M. Suinocultura brasileira. **Revista Acadêmica de Economia**, [s. l.], n. 71, dic. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da pecuária municipal. Notas Técnicas, v. 38, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/notatecnica.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática de dados. Índice de preços ao produtor. 2008. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

JEONGSIK, K. et al. Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 95, n. 3, p. 271-275, 2003.

KIM, M. et al. Hydrolysis and acidogenesis of particulate organic material in mesophilic and thermophilic anaerobic digestion. **Environmental Technology**, London, v. 24, p. 1183-1190, 2003.

KONZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves. Informe Técnico. Videira: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul31.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

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

LIVESEY, J. E.; SHARP, R. T.; HOGG, R. A. Recent association of cattle botulism with poultry litter. **Veterinary Record**, London, v. 154, p. 734-735, 2004.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 f. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

LUCAS JUNIOR, J. Estudos preliminares do estrume de suínos como substrato para biodigestores rurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 16., 1987, Jundiaí. **Resumos...** Jundiaí: SBEA, 1987. p. 66.

LUCAS JUNIOR, J. Utilização de resíduos da avicultura de corte para a produção de energia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 5.; CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 13., 2003, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Associação Brasileira de Zootecnia, 2003. p. 131-141.

LUCAS JUNIOR, J. et al. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. p. 915-930.

MALAVOLTA, E. et al. Micronutrientes, uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 1991. p. 1- 33.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 3, n. 3, p. 24-26, nov. 2006.

MIRANDA, A. P. **Influência da temperatura e do tempo de retenção hidráulica em biodigestores alimentados com dejetos de bovinos e suínos**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

MIRANDA, A. P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 2009. 123 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 26, p. 485-495, 2004.

MORALES, M. M. **Avaliação dos resíduos sólidos e líquidos num sistema de abate de bovinos**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

NAGAE, R.; DAMASCENO, S.; RICHARD, A. Caracterização do dejetos de suínos em crescimento e terminação criados no sistema de lâmina d'água submetido a dois manejos de higienização. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Saneamento ambiental brasileiro: utopia ou realidade? anais**. Rio de Janeiro: ABES, 2005. p. 1-6.

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

OLIVEIRA, P. A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. 188 p. (Documentos, n. 27).

ORRICO, A. C. A. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 639-647, set./dez. 2007.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

ORTOLANI, A. F. et al. Bateria de mini-biodigestores: estudo, projeto, construção e desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. **Anais...** Botucatu: FCAV/UNESP, 1986, p. 229-239.

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 SUÍNOS E TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE RAÇÕES, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 2002. p. 31-44.

LOVATTO, P. A. Manejo de dejetos. In: _____. **Suinocultura geral**. Santa Maria: CCR, 1996. cap. 9.

PANOSSO, A. R.; MALHEIROS, E. B. **Software R - Estatística aplicada à zootecnia**. Jaboticabal: UNESP, 2007.

PÉCORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RICHETTI, A.; SANTOS, A. C. O sistema integrado de produção de frango de corte em minas gerais: uma análise sob a ótica da economia dos custos de transação. Organizações rurais e agroindustriais. **Revista de Administração da UFLA**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 34-43, jul/dez. 2000.

ROPPA, L. Perspectivas da produção mundial de carnes, 2006 a 2030. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, n. 34. p. 16-27. 2006.

SAGULA, A. L. **Caldo de cana de açúcar em codigestão da cama de frango**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

SANTOS, T. M. B **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SCHULZ, C. K. **Remoção biológica de carbono do efluente as parbolização de arroz utilizando reatores EGSB**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1981. 166 p.

SILVA, D. J.; QUEIRÓZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2002. p. 57-76.

SOUZA, I. B.; CARBALLAL, M. R. **Acúmulo diário de matéria seca em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com uso cama de frango e diferentes doses de nitrogênio**. 2006. 701 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia)-Instituto de Ciências Agrárias, Faculdades Integradas de Mineiros, Mineiros, 2006.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)-Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

STEIL, L.; LUCAS JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbias de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 146-149, 2002.

TESSARO, A. A. **Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia)-Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2011.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. Relatório anual 2008-2009. Disponível em: <www.ubaef.org.br>. Acesso em: 15 dez. 2009.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. Relatório anual 2010/2011. Disponível em: <http://www.abef.com.br/ubabef/publicacoes_relatoriosanuais.php>. Acesso em: 15 dez. 2011.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Departamento de Ciências Exatas. Estação agroclimatológica: valores médios do período 1971-2000. Disponível em: <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 13 maio 2007.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. 226 p.

XAVIER, C. A. N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite: obtenção de parâmetros e dimensionamento**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2005.

WEISS, W. P. Predicting energy values of feeds. In: Symposium: prevailing concepts in energy utilization by ruminants. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, p. 1802-1811, 1993.