

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNOMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO EM
CO-DIGESTÃO COM CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

ALEX LUIZ SAGULA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Março – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO EM
CO-DIGESTÃO COM CALDO DE CANA**

ALEX LUIZ SAGULA

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

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

BOTUCATU-SP

Março 2012

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

S129b Sagula, Alex Luiz, 1979-
Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-digestão com caldo de cana-de-açúcar / Alex Luiz Sagula. - Botucatu : [s.n.], 2012
xi , 56 f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Jorge de Lucas Junior
Inclui bibliografia

1. Biodigestor. 2. Co-digestão. 3. Cana de açúcar. 4. Cama de frango. I. Lucas Junior, Jorge de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMÁ DE FRANGO EM CO-DIGESTÃO
COM CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR

ALUNO: ALEX LUIZ SAGULA

ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE DE LUCAS JUNIOR

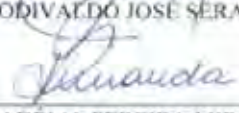
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JORGE DE LUCAS JUNIOR



PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM



PROF. DR. ADÉLIA PEREIRA MIRANDA

Data da Realização: 18 de janeiro de 2012.

A D. Luiza Therezinha Delâmonica, minha mãe e minha fortaleza... por sempre me dar forças e auxiliar não só nessa empreitada do mestrado, mas em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Patrícia, por sempre me ajudar e dar força, por sempre ser tão presente...

Dedico...

AVANCE SEMPRE

*...se você não conseguir fazer uma coisa grandiosa hoje,
faça alguma coisa pequena, pois pequenos riachos acabam convertendo-se em
grandes Rios...*

AD

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus, por ser pai eterno que sempre ilumina e protege a todos.

Aos meus pais e irmã por terem me ensinado tudo que é certo, sempre apoiando todas minhas iniciativas na minha vida.

Ao professor Dr. Jorge de Lucas JR., pela orientação, dedicação, apoio e amizade.

A professora Dra. Silvana Martinez Baraldi Artoni, pelo incentivo e apoio para realização do mestrado.

Aos professores membros da banca examinadora da defesa e da qualificação, Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim, Prof. Dra. Adélia Pereira Miranda, Prof. Dr. Marco Antonio M. Biaggioni, Prof. Dr. Sergio Campos, pelas valiosas contribuições.

A Faculdade de Ciências Agrônômica – FCA - UNESP, campus de Botucatu e ao programa de pós-graduação do curso de Energia na Agricultura pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

As funcionárias do setor de pós graduação da FCA, sempre me auxiliando e prontas para sanarem minhas dúvidas.

A Laura, minha namorada e amiga que me ajudou em todo meu experimento e sempre se mostrou muito paciente comigo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, FCAV – UNESP – Campus de Jaboticabal, Luizinho, Marquinho, Ailton, Primo, Davi, Tiãozinho, Silvia, enfim, a todos, pela ajuda nos experimentos e obrigado pelo convívio agradável no ambiente de trabalho.

Aos colegas de laboratório: Natasha, Juliana, Marcelo, Bernardo, Airon, Cristiane, Estevão, Maria Fernanda, Joseli, Paula, Livia, Lorenzo e Paulo, agradeço não só pelas trocas de experiência, mas pelo convívio diário nessa fase.

Aos meus amigos de infância que sempre estiveram presente na minha vida e por sempre dar conselhos que me ajudaram em alguns momentos difíceis pelo qual que passei.

Aos meus amigos da republica Santa Cerva, onde morei durante um ano e aprendi a viver em comunidade e também fiz grandes amizades.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XI
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Panoramas atuais da avicultura de corte no Brasil.....	8
2.2 Geração de resíduos na avicultura de corte.....	10
2.3 Biodigestão anaeróbia.....	12
2.4 Modelo de biodigestores.....	15
2.4.1 Modelo Indiano.....	16
2.4.2 Modelo Chinês.....	17
2.4.3 Modelo Fluxo Tubular.....	18
2.5 Cana de açúcar.....	20
2.6 Co-digestão.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Delineamento experimental e análise estatística.....	23
3.2 Preparo do inóculo.....	25
3.3 Abastecimentos inicial dos biodigestores.....	27
3.4 Abastecimentos diários dos biodigestores.....	29
3.5 Extração do caldo de cana.....	31
3.6 Estudo de caso.....	32

3.7 Análise laboratoriais.....	33
3.7.1 Teores de sólidos totais e voláteis.....	33
3.7.2 Produção de biogás.....	33
3.7.3 Determinação do potencial hidrogeniônico.....	34
3.7.4 Temperatura do biogás e ambiente.....	35
3.7.5 Análise da composição do biogás produzidos.....	35
3.7.6 Caracterização mineral das amostras.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Teores de sólidos totais e voláteis.....	37
4.2 Produção e composição de biogás.....	39
4.3 Análises de macro micronutrientes.....	44
4.4 Uso da cama de frango em co-digestão com caldo de cana em biodigestores – estudo de caso.....	46
4.4.1 Estimativa da produção de cama de frango em galpões em que se adotam cinco reutilizações.....	47
4.4.2 Cálculo da quantidade de cama disponível para as cargas diárias.....	47
4.4.3 Cálculo da quantidade de resíduos de cama retidos no sistema de separação de sólidos.....	48
4.4.4 Cálculo do volume do biodigestor e lagoa para o sistema de biodigestão anaeróbia	49
4.4.5 Estimativa de área necessária para o plantio da cana de açúcar.....	49
4.4.6 Estimativa de produção de metano para CFCSS e CFCSS + 7% de caldo de cana...	50
5 CONCLUSÕES.....	51
6 REFERÊNCIAS.....	52
7 APÊNDICE.....	56

LISTA DE TABELAS

	Paginas
Tabela 1. Composição de cana-de-açúcar e sólidos solúveis no caldo.	21
Tabela 2. Composição das cargas diárias utilizadas nos abastecimento dos biodigestores correspondentes aos tratamentos CFCSS, CFCSS + 5% de caldo e CFCSS + 7% de caldo.	30
Tabela 3. Valores de potencial de hidrogênio, sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem de reduções nos tratamentos avaliados.	38
Tabela 4. Potenciais de produções de biogás (m ³) por kg ⁻¹ de dejetos em cama de frango de 5º lote de reutilização, durante 30 dias.	39
Tabela 5. Concentração de macronutrientes, em g/100g de matéria seca, no efluente, em biodigestores contínuos abastecidos com cama de frango de quinta reutilização e caldo de cana a 5 e 7%.	45
Tabela 6. Concentração de micronutrientes, em mg/kg de matéria seca, no efluente, em biodigestores contínuos abastecidos com cama de frango de quinta reutilização e caldo de cana a 5 e 7%.	45

LISTA DE FIGURAS

	Paginas
Figura 1. Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: Adaptado de Chernicharo, (2007) apud Lettinga et al., (1996)	14
Figura 2. Biodigestor modelo indiano. Fonte: Adaptado de Deganutti et. al., 2002.	16
Figura 3. Biodigestor modelo chinês. Fonte: Adaptado de Deganutti et. al., 2002.	17
Figura 4. Vista longitudinal (A), vista transversal (B) e foto do reator anaeróbio modelo fluxo tubular (C).	19
Figura 5. Representação esquemática do biodigestor contínuo (A) e o gasômetro (B) (medida em cm).	24
Figura 6. Vista dos biodigestores contínuos, instalados no interior do laboratório.	25
Figura 7. Dejeito de bovino leiteiro, coletado para o preparo do inóculo (A), separação de sólidos de dejeito de bovino leiteiro (B).	26
Figura 8. Armazenamento do substrato de dejetos leiteiros, após a separação de sólidos, sendo posteriormente fechada para provocar a fermentação.	26
Figura 9. Vista do galpão onde foi coletada a cama de frango.	26
Figura 10. Homogeneização da CF + Água (A), separação da fração sólida da CF + Água (B).	28
Figura 11. Inóculo composto por dejeito de bovino leiteiro (I) e fração líquida de CF + Água, após separação de sólidos (F).	28
Figura 12. Abastecimento inicial dos biodigestores, com CFCSS + I.	29
Figura 13. Vista dos baldes antes de abastecer os biodigestores.	31

Figura 14. Local onde era moída a cana para extrair o caldo.	31
Figura 15. Pesagem do caldo.	32
Figura 16. Armazenamento do caldo congelado para o abastecimento diário dos biodigestores.	32
Figura 17. Temperatura ambiente onde estavam os biodigestores.	41
Figura 18. Distribuição da produção de biogás (m^3 /dia), em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5 ^o lote, para os tratamentos C1 e CFCSS + caldo de cana a 5 %.	41
Figura 19. Distribuição da produção de biogás (m^3 /dia), em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5 ^o lote, para os tratamentos C2 e CFCSS + caldo de cana a 7 %.	41
Figura 20. Distribuição da produção de m^3 de metano, em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5 ^o lote, para os tratamentos C1 e CFCSS + caldo de cana a 5 %.	43
Figura 21. Distribuição da produção de m^3 de metano, em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5 ^o lote, para os tratamentos C2 e CFCSS + caldo de cana a 7 %.	43
Figura 22. Esquema da disposição dos galpões - Aviários	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**ABREVIATURA TERMO**

Atm - Atmosfera
Ca - Cálcio
CH₄ - Metano
cm - Centímetro
CO₂ - Dióxido de carbono
Cu - Cobre
CV - coeficiente de variação
°C - graus Celsius
Fe - Ferro
g - Grama
GLP - gás liquefeito de petróleo
h - Horas
K - Kelvin
k - Potássio
Kg - Kilograma
L - Litros
m² - metro quadrado
m³ - metro cúbico
Mg - Magnésio
mg - Miligrama
mL - Mililitros
Mn - manganês
MN - matéria natural
MS - matéria seca
N - Nitrogênio
Na - Sódio
P - Fósforo
Ps - peso seco
Pu - peso úmido
% - Porcentagem
ST - sólidos totais
SV - sólidos voláteis
TRH - tempo de retenção hidráulica
Tmed - temperatura média
Zn - zinco

RESUMO

A avicultura brasileira alcançou nos últimos anos níveis de produtividade e ajuste na organização e coordenação que a colocam como uma das mais competitivas do mundo. A cama de frango gerada no processo produtivo das aves demonstra ter grande potencial para a obtenção de energia com o uso de biodigestores. Objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar a inclusão de 5 e 7% do caldo de cana de açúcar, no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango com separação de sólidos em sistemas contínuos de abastecimento. O experimento foi dividido em duas fases, sendo que na primeira foi realizado o preparo do inóculo com dejetos de bovino leiteiro e na segunda fase foram abastecidos oito biodigestores contínuos com o inóculo obtido + cama de frango com separação de sólidos (CFCSS), associada ao caldo de cana em diferentes proporções composto por dois tratamentos com quatro repetições. O tratamento T1 – CFCSS (Controle) e tratamento T2 – CFCSS + caldo de cana (5% por um período de 30 dias e 7 % por mais 30 dias). Foram analisados os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), potencial de hidrogênio (pH) e concentrações de micro e macronutrientes. Para os tratamentos avaliados observou-se que houve uma redução de 66,05 e 74,33% para ST e SV respectivamente, para o tratamento

controle. O tratamento com caldo de cana 5% apresentou valor de 0,5500 m³ de biogás e o que recebeu caldo de cana a 7% apresentou valor de 0,6919 m³ de biogás em 30 dias de operação. Esses resultados demonstram que o caldo de cana foi eficiente para que as bactérias metanogênicas degradassem a matéria orgânica, expressando grande potencial de produção de biogás.

Palavras-chaves: Biodigestor, co-digestão, cama de frango e caldo de cana de açúcar.

ANAEROBIC DIGESTION OF POULTRY LITTER INTO CO-DIGESTION OF SUGARCANE JUICE. Botucatu, 2012. 56p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALEX LUIZ SAGULA

Adviser: JORGE DE LUCAS JUNIOR

SUMMARY

The Brazilian aviculture production in recent years achieved levels of productivity and adjusted the organization and coordination that pose as one of the most competitive in the world. The poultry litter generated in the production process of the birds shows a high potential to produce energy using biogas. Objective was to evaluate the inclusion of 5 and 7% of the juice of sugar cane in the process of anaerobic digestion of poultry litter with separation of solids in a continuous system of supply. The experiment was divided into two phases with the first was conducted in the preparation of the inoculums with dairy cattle manure and the second phase were supplied with eight digesters continuous inoculums obtained + poultry litter with separation of solids (PLSS) associated cane juice in different proportions composed of

two treatments with four replications. The T1 – PLSS (Control) and T2 PLSS + cane juice (5% for a period of 30 days and 7% for 30 days). We analyzed the levels of total solids (TS) and volatile solids (VS), potential hydrogen (pH) and concentrations of macronutrients and micronutrients. For those treatments evaluated showed that there was a reduction of TS and VS, 66,05 and 74,33% respectively for a control 1. Treatment with 5% sugar cane juice showed a value of 0,5500 m³ of biogas and received sugar cane juice to 7% showed a value of 0,6919 m³ of biogas within 30 days of operation. These results demonstrate that the juice was effective for the methanogenic bacteria degrade organic matter expressing great potential for biogas production.

Keywords: Biodigestor, poultry litter, sugar cane juice and co-digestion

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ao longo dos anos vem aumentando a produção de frango de corte, devido à melhorias nos parâmetros zootécnicos como: melhoramento genético e a nutrição, que proporcionam melhor conversão alimentar, além destes ainda foi investindo grande capital em equipamentos, caracterizando a avicultura como uma das mais desenvolvidas culturas produzidas. Um dos fatores que impulsionaram este desenvolvimento foi o aumento no consumo interno, isto decorreu em função da população brasileira estar substituindo a carne bovina de sua alimentação por carne de frango, principalmente devido aos elevados preços da carne bovina e o aumento na exportação.

Em virtude do crescimento da produção intensiva de frangos de corte no Brasil, ocorreu uma maior geração de resíduos, estes são gerados desde a criação das aves até o abate. Para os resíduos gerados durante o abate das aves, provenientes dos frigoríficos, já há tecnologias adequadas para o tratamento e eliminação; em contrapartida os oriundos da criação das aves conhecidos como cama de frangos, o produtor é o principal responsável pelo seu destino final, sendo que este deve sofrer um tratamento prévio antes do seu despejo no ambiente.

À medida que cresce a produção no setor agropecuário de aves, bovinos e suínos, são exigidas melhorias ambientais, como tratamento dos dejetos e resíduos, tendo em vista o atendimento das diretrizes do desenvolvimento sustentável. O conceito de sustentabilidade envolve não somente os aspectos ambientais, mas também aspectos sociais e econômicos. A comissão mundial sobre o meio ambiente e desenvolvimento, criado pela ONU (Organização das Nações Unidas), conceituou o desenvolvimento sustentável como sendo um processo dinâmico destinado a satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades.

As questões ambientais relacionadas às atividades agropecuárias tomam uma importância ainda maior, devido às várias exigências referentes ao desenvolvimento produtivo com qualidade nutricional e ambiental, exigências estas atribuídas principalmente por parte dos consumidores e importadores. Essa questão ambiental até um passado recente, não era considerada pelos produtores como parte integrante no manejo de sua propriedade, porém houve uma mudança de conceito, em que os produtores passaram a fazer melhorias na cadeia produtiva.

Uma forma encontrada de tratamento dos dejetos e resíduos agropecuários que vem sendo empregada na agropecuária é o uso de biodigestores, em diversos tipos de criação de animais. O biodigestor é uma câmara fechada, abastecida com material orgânico que é degradado na ausência de oxigênio à formas mais simples gerando como produtos finais o biogás e o biofertilizante que podem ser usados na propriedade rural. As vantagens da utilização da biodigestão anaeróbia é o controle de odores, redução da emissão de gases e ainda a reciclagem energética.

Muitos tipos de resíduos, pelas suas características, são de difícil degradação por parte das bactérias, principalmente as metanogênicas, sendo necessária a adição de aditivos no interior do biodigestor para facilitar tal degradação. Um aditivo que vem sendo pesquisado para melhorar essa degradação é o caldo de cana, devido às grandes quantidades de carboidratos solúveis, podendo proporcionar um maior crescimento microbiano, aumentando a população de microorganismos e conseqüentemente favorecendo a degradação da matéria orgânica.

Objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar a produção e composição do biogás em biodigestores contínuos abastecidos com cama de frango com separação de sólidos e inclusão de cinco e sete por cento de caldo de cana.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panoramas atuais da avicultura de corte no Brasil

A avicultura brasileira alcançou nos últimos anos níveis de produtividade e ajuste na organização e coordenação que a colocam como uma das mais competitivas do mundo. Assim, o Brasil é hoje um dos maiores exportadores mundiais de carne de frango com uma produção de 11,02 milhões de toneladas de carne por anos. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, atrás somente dos EUA, e China (AVISITE, 2010).

Segundo Teixeira (2008) apud Fernandes Filho & Queiroz (1960), no início da década de 1960, teve início a constituição de modernização da avicultura de corte brasileira baseada num modelo que consistia na integração, quase sempre do pequeno produtor com a grande agroindústria, com o uso de novas tecnologias para criação e manejo dos animais.

A integração é um contrato entre a empresa e o produtor de frango, que cede suas instalações (mão de obra, energia, água e galpões) e a empresa fornece o pintainho, ração, medicamentos entre outros insumos.

Este contrato de parceria com as grandes indústrias foi o que aumentou expressivamente a exportação e o mercado interno da carne de frango. Estima-se que 75% dos produtores de frangos de corte do país possuam contratos de parceria (TEIXEIRA, 2008).

A fim de atender a demanda interna e externa crescentes, a produção de frangos de corte tem se expandido nos últimos anos para regiões do centro-oeste do país além dos tradicionais produtores que estão no sul do Brasil (GARCIA & FERREIRA FILHO, 2005).

Nos últimos anos, houve a substituição da carne bovina por alternativas proteicas, principalmente a carne de frango, pode-se dizer que alguns fatores foram importantes para que houvesse essa mudança sendo um deles caracterizado pela queda dos preços relativos do frango frente às demais carnes (TEIXEIRA, 2008).

O aumento da produção nacional de frangos de corte, principalmente nos últimos anos, possibilitou ao setor uma maior inserção no mercado internacional e a continuidade do abastecimento doméstico sem alteração no preço (CARVALHO, 2007). No primeiro trimestre de 2011, as exportações de carne de frango, foram da ordem de 893,9 mil toneladas, o que significou aumento de 10,7% no volume e de 18,1% no preço médio. Este desempenho gerou receita de US\$1,744 bilhão, valor quase 31% superior ao do período de janeiro-março de 2010 (AVISITE, 2011).

Atualmente a exploração avícola tem se caracterizado pela produção de frango de corte cada vez mais precoce, constituindo um dos ramos da produção animal de maior desenvolvimento e progresso tecnológico. No entanto, esse aumento gera um montante de resíduos de mesma proporção (AIRES, 2009).

Segundo Santos (2001), o aumento da demanda de carne de frango, tem exigido uma produção rápida e caracteristicamente concentrada, com crescimentos vertiginosos do setor. Conseqüentemente são produzidas excessivas quantidades de resíduo nos galpões de criação.

2.2 Geração de resíduos na avicultura de corte

A Resolução nº 05, de 05 de agosto de 1993, descreve a respeito dos resíduos sólidos:

“Considerando, finalmente, que as ações preventivas são menos onerosas e minimizam os danos à saúde pública e ao meio ambiente, resolve:

Art. 1º Para os efeitos desta Resolução definem-se:

I - Resíduos Sólidos: conforme a NBR-nº 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível”.

II - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos: documento integrante do processo de licenciamento ambiental, que aponta e descreve as ações relativas ao manejo de resíduos sólidos, no âmbito dos estabelecimentos mencionados no art. 2º desta Resolução, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como a proteção à saúde pública;

III - Sistema de Tratamento de Resíduos Sólidos: conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos e conduzem à minimização do risco à saúde pública e à qualidade do meio ambiente;

IV - Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos: conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam ao lançamento de resíduos no solo, garantindo-se a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente.”(CONAMA, 1993)

Para destinar adequadamente os resíduos, os produtores devem possuir um programa racional de controle dos dejetos, visando a sua correta utilização para evitar os problemas de poluição. Por outro lado os resíduos gerados nas atividades ligadas a produção animal, apesar dos problemas ambientais que podem causar, apresentam valor energético,

podendo significar um fator de agregação, na atividade principal. Dessa forma, encontrar uma maneira adequada para o manejo dos dejetos e ou resíduos é o maior desafio para reduzir os custos de produção e minimização dos impactos ambientais (COSTA, 2009).

O desenvolvimento avícola sustentável pode ser iniciado tendo por base o planejamento da implantação da atividade e do manejo correto dos dejetos, que usa a estratégia de crescimento a partir da reciclagem dos resíduos.

A cama de frango caracterizada como todo material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito às aves, sendo muito importante na epidemiologia das doenças, pois a cama recebe todas as excreções das aves, possuindo, alta carga microbiana e parasitária, como vírus e fungos (PAGANINI, 2004). Portanto, a cama é a mistura das excretas (fezes e urina), com o material utilizado como substrato para receber e absorver a umidade das dejeções, penas e descamações da pele das aves, restos de alimentos e água, sendo estes últimos provenientes dos comedouros e bebedouros. Na qualidade ambiental, a cama tem importância nas principais variáveis ambientais do galpão avícola (temperatura, umidade e composição química do ar), devido às suas funções: absorção da umidade, isolante térmico e absorção do impacto do peso da ave (PAGANINI, 2004).

Devido ao grande aumento no custo dos produtores, estes optam por reutilizar a cama, sendo que há uma variação de reutilização de oito a 12 ciclos de cria das aves, obtendo-se, ao final, grande quantidade de cama de frango, tonando-se problema seu destino final. Até o ano de 2000, este resíduo era utilizado como fonte de alimento para o gado bovino de corte, sendo, até então, uma prática muito difundida e incentivada no país. Porém, esta prática foi proibida em 2001 pela Instrução Normativa nº15 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como uma das medidas preventivas para se evitar no país os riscos potenciais da Encefalopatia Espongiforme Bovina ou “doença da vaca louca”.

Com a proibição de utilizar a cama de frango como alimento para gado bovino, muitos produtores, utilizam-na como fertilizante do solo, sendo desejável economicamente, uma vez que apresenta um recurso interno da propriedade rural e contém elevada concentração de nutrientes. Em muitas propriedades é a única fonte de nutrientes adicionados ao solo pelos agricultores. Entretanto, do ponto de vista ecológico, há grandes restrições ao seu uso, pois este resíduo pode ser poluente do solo e das águas superficiais e

subterrâneas. Os problemas são agravados pela alta concentração de confinamentos de frangos e pela diminuição de áreas disponíveis para deposição de resíduos (HAHN, 2004).

Segundo Hahn (2004), os dois elementos presentes em altas concentrações na cama de aviário que estão relacionados com a contaminação ambiental, são o nitrogênio e o fósforo. O nitrogênio pode contaminar a atmosfera, o solo e as águas superficiais e subterrâneas. O fósforo pode contaminar o solo, principalmente, as águas superficiais. Além destes, o potássio e nutrientes como o cobre, zinco, cálcio e magnésio, em menores concentrações na cama de aviário, também apresentam risco de contaminação quando a cama é inadequadamente utilizada.

Santos (1997), mensurou as concentrações de macronutrientes, para cama de frango utilizando como substrato base a maravalha e dois ciclos de criação, encontrando teores de minerais de 3,54; 1,27; 2,89; 2,54; 0,59 e 0,033 g/100g para N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente, e ainda teores de micronutriente e metais pesados em torno de 380, 1799, 378, 293, 4006, 22, 21, e 79 µg/g para Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Cr, Pb e Ni, respectivamente.

Uma alternativa sustentável para o tratamento de resíduos avícolas é o sistema de biodigestão anaeróbia da cama de frango de corte, com esse 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.

2.3 Biodigestão anaeróbia

No meio existem vários ambientes favoráveis, para digestão anaeróbia, sendo representados pelos pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas, sendo que estes sistemas anaeróbios possuem concentrações baixas de oxigênio, facilitando o processo (PRATI, 2010).

A biodigestão anaeróbia é um processo biológico natural e eficiente no tratamento de consideráveis quantidades de resíduos, reduzindo o seu poder poluente e os riscos sanitários advindos dos mesmos (HILL, 1980). Este processo ocorre na ausência de oxigênio molecular, onde se tem consórcios de diferentes tipos de microrganismos interagindo

estritamente para promover a transformação de composto orgânico complexos, em simples (STEIL, 2001).

O processo de biodigestão anaeróbia é dividido em quatro estágios, sendo eles hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo que para cada estágio estão envolvidas diferentes populações microbianas (STEIL, 2001).

Hidrólise – consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais mais simples e assim podem passar pelas paredes celulares das bactérias fermentativas (CHERNICHARO, 1997).

Acidogênese - as bactérias fermentativas acidogênicas consomem os compostos orgânicos simples, produto oriundo da hidrólise e transforma-os em ácidos orgânicos (propionato, butirato, etc). Estes produtos metabólicos serão a base do consumo das bactérias acetogênicas e arqueias metanogênicas, segundo Chernicharo (1997).

Acetogênese – as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos ácidos orgânicos em substrato para os microrganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 1997).

Metanogênese – esta etapa final do processo de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelos microrganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 1997). As arqueias metanogênicas atuam sobre os produtos gerados nas etapas anteriores, sendo que as arqueias metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela produção de aproximadamente 70% de metano do processo, tendo como fonte de energia os ácidos acéticos para produzir metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) a partir dos seus metabolismos e as rota das arqueias metanogênicas hidrogenotróficas produzem cerca de 30% do metano do processo usando hidrogênio como fonte de energia e gás carbônico (CO_2) como aceptor de elétrons, resultando maior liberação de energia e formando metano a partir dessa reação (LIMA, 2011 apud OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

Como produto final de toda esta atividade anaeróbia é gerado o biogás, caracterizado por ter os seguintes gases na sua composição: metano, gás carbônico, oxigênio, nitrogênio e outros gases caracterizado como um gás inflamável oriundo da degradação da matéria orgânica por microrganismos.

O biogás era considerado um subproduto obtido a partir da decomposição anaeróbia de lixo urbano, resíduos de animais e de estação de tratamento de

efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico e a alta dos preços dos combustíveis, deram início ao desenvolvimento de energias renováveis ou limpas (PRATI, 2010).

Com passar dos anos, esse processo vem sendo difundido por vários países. A recuperação de energia gerada pelos processos de tratamento anaeróbio foi impulsionada pela crise do petróleo, quando diversos países buscaram alternativas para a sua substituição. Entretanto, as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades, os recursos humanos, financeiros e à cultura (PRATI, 2010). Na figura 1, estão representadas as rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

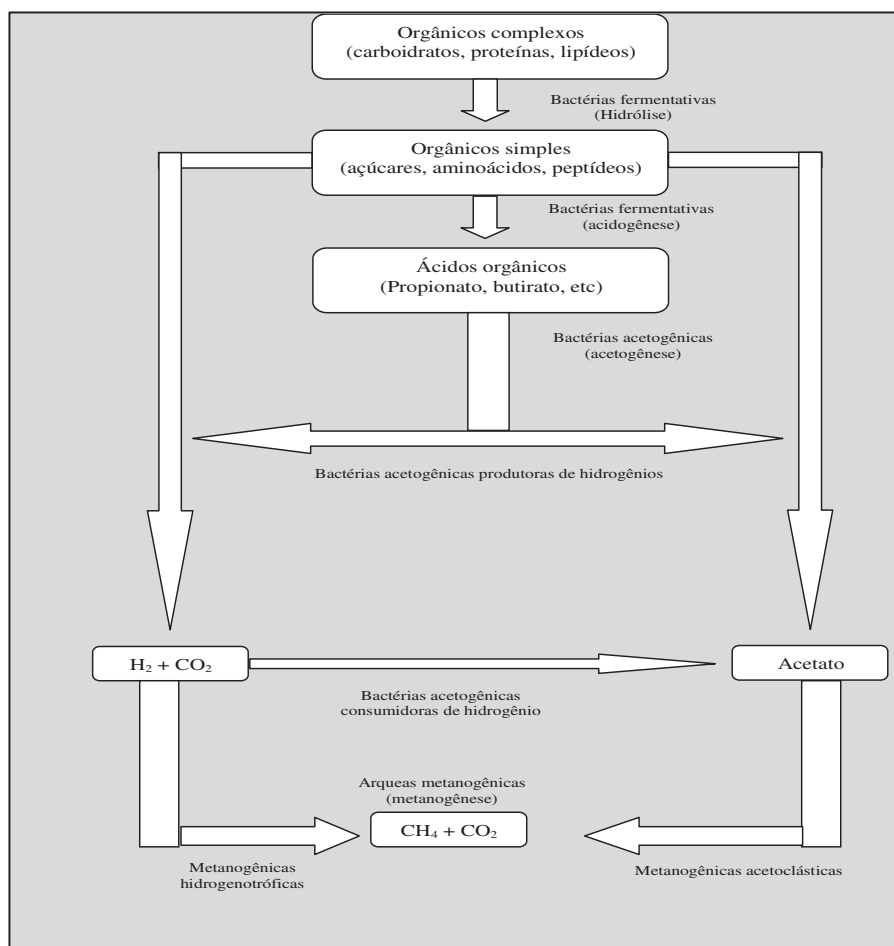


Figura 1. Rota metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Fonte: Adaptado de Chernicharo, (2007) apud Lettinga et al., (1996)

Para que o processo de biodigestão seja eficaz, é fundamental o conhecimento de três parâmetros básicos que influenciam na produção de biogás. Esses parâmetros são:

- Tempo de Retenção de Microrganismos (TRM);
- Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e
- Tempo de Retenção de Sólidos (TRS).

O TRH é entendido como o intervalo de tempo necessário de permanência do afluente para que ocorra o processo de biodigestão de maneira adequada. Os TRM e TRS são os tempos de permanência dos microrganismos e dos sólidos no interior dos biodigestores, sendo esses tempos expressos em dias. De forma resumida pode-se dizer que altas produções de metano são conseguidas, satisfatoriamente, com longos TRM e TRS (FUKAYAMA, 2008).

2.4 Modelos de biodigestores

Atualmente, os biodigestores, tornaram-se uma ferramenta primordial, para o tratamento dos resíduos agropecuários, contribuindo para a preservação do meio ambiente devido à reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes (DEGANUTTI et. al., 2002). O biodigestor é uma câmara na qual ocorre um processo bioquímico denominado biodigestão anaeróbia, que tem como resultante o biofertilizante e o biogás, composto principalmente o metano e o dióxido de carbono (PRATI, 2010 apud MAGALHÃES, 1986).

Os benefícios dos biodigestores se relacionam ao aproveitamento dos dejetos animais que tinham um destino impróprio, sendo este utilizado para produção de biogás e biofertilizante, com benefícios no aumento da produtividade, preservação do meio ambiente e na saúde humana e animal.

A seguir são descritos alguns tipos de biodigestores utilizados nas propriedades rurais do Brasil.

2.4.1 Modelo Indiano

O biodigestor indiano (Figura 2) é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. A operação do biodigestor é constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante (DEGANUTTI et. al., 2002).

O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano, deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. O abastecimento também deverá ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos (DEGANUTTI et. al., 2002).

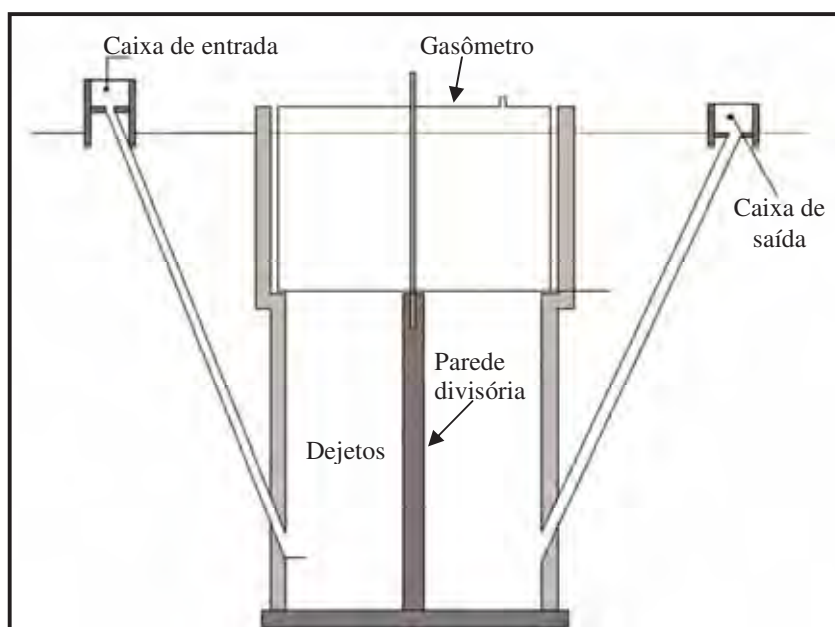


Figura 2. Biodigestor modelo indiano.

Fonte: Adaptado de Deganutti et. al., 2002.

2.4.2 Modelo Chinês

Biodigestor modelo Chinês (Figura 3), é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (DEGANUTTI et. al., 2002).

Semelhante ao modelo indiano, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

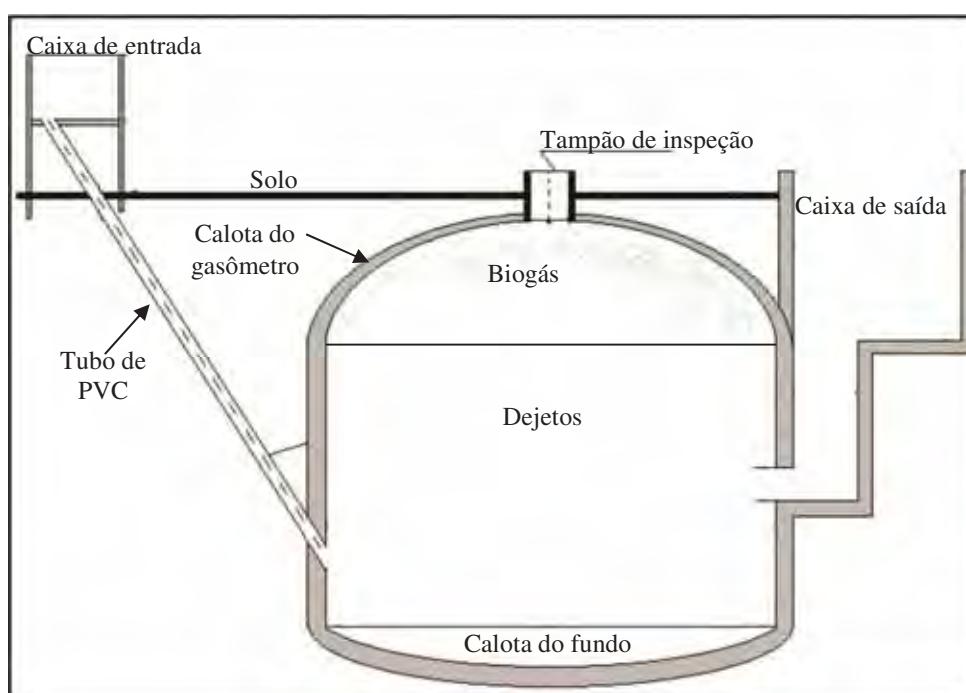


Figura 3. Biodigestor modelo chinês.
Fonte: Adaptado de Deganutti et. al., 2002.

2.4.3 Modelo Fluxo Tubular

O reator anaeróbio modelo fluxo tubular (Figura 4), chamado de fluxo pistão “plug-flow”, é um reator de alimentação contínua caracterizado como uma lagoa retangular coberta (relação comprimento/largura na ordem de 3:1) (LIMA, 2011). Este modelo de reator permite que as partículas locomovam-se na mesma sequência da direção em que elas entram no reator, o material novo adicionado ao tanque desloca o material mais antigo para o extremo oposto, fluindo como um pistão e teoricamente com a mínima dispersão longitudinal, permanecendo no tanque por um tempo suficiente para as partículas serem degradadas pelos os microorganismos. Tal condição também é geralmente encontrada em uma tubulação de fluxo ou em um longo canal estreito (LIMA, 2011 apud QASIM, 1999).

Atualmente o fluxo tubular é o modelo mais utilizado no Brasil, principalmente aplicado aos dejetos da suinocultura, tem um regime hidráulico semelhante aos reatores de fluxo de pistão, entretanto, pelo formato construtivo e regime de carga, tende a comportar-se como fluxo disperso. Em função das características físicas do reator e do substrato podem ocorrer zonas mortas (sem atividade de microorganismos), geralmente próximas aos cantos, reduzindo o volume útil do reator, comprometendo o tempo de retenção hidráulica do substrato e o desempenho do sistema (PATZA, 2006).

Este modelo é caracterizado basicamente por uma câmara de fermentação escavada no solo, com formato de tronco de pirâmide invertido, sendo a cobertura da câmara de fermentação revestida por uma manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta e o revestimento interno feito por material sintético flexível, manta de Policloreto de Vinila (PVC), espessuras de 0,8mm à 1 mm, nas cores preta ou branca, para evitar vazamentos, contaminação do solo e do lençol freático (LIMA, 2011).

Estes materiais conferem um custo menor quando comparado com uso da alvenaria e são de mais fácil instalação. Ao contrário do PEAD a manta de PVC tem vida útil superior em função da resistência à radiação solar. O PEAD ao longo do tempo tende a ressecar e rachar o que acarreta vazamento de substrato e biogás. Com relação ao contato com o substrato, ambos toleram variação do pH e são resistente aos desgastes físicos (LIMA, 2011).

Segundo o mesmo autor, a cobertura com manta de PVC flexível atua como um gasômetro (balão), armazenando biogás produzido, evitando sua emissão para atmosfera. Ao inflar-se, a pressão do biogás se manterá constante devido à flexibilidade da manta do gasômetro.

Neste sistema, a remoção de lodo e a recirculação dos dejetos são feitos com auxílio de bomba hidráulica, contribuindo com a agitação do substrato por meio de mistura hidráulica. Outra forma de promover essa agitação é através da recirculação do biogás do gasômetro para fundo da câmara de fermentação através de um compressor de gás e válvula de alívio, favorecendo a degradação do substrato e contribuindo para aumentar a eficiência do processo de digestão anaeróbia por meio dessa mistura de gás (LIMA, 2011).

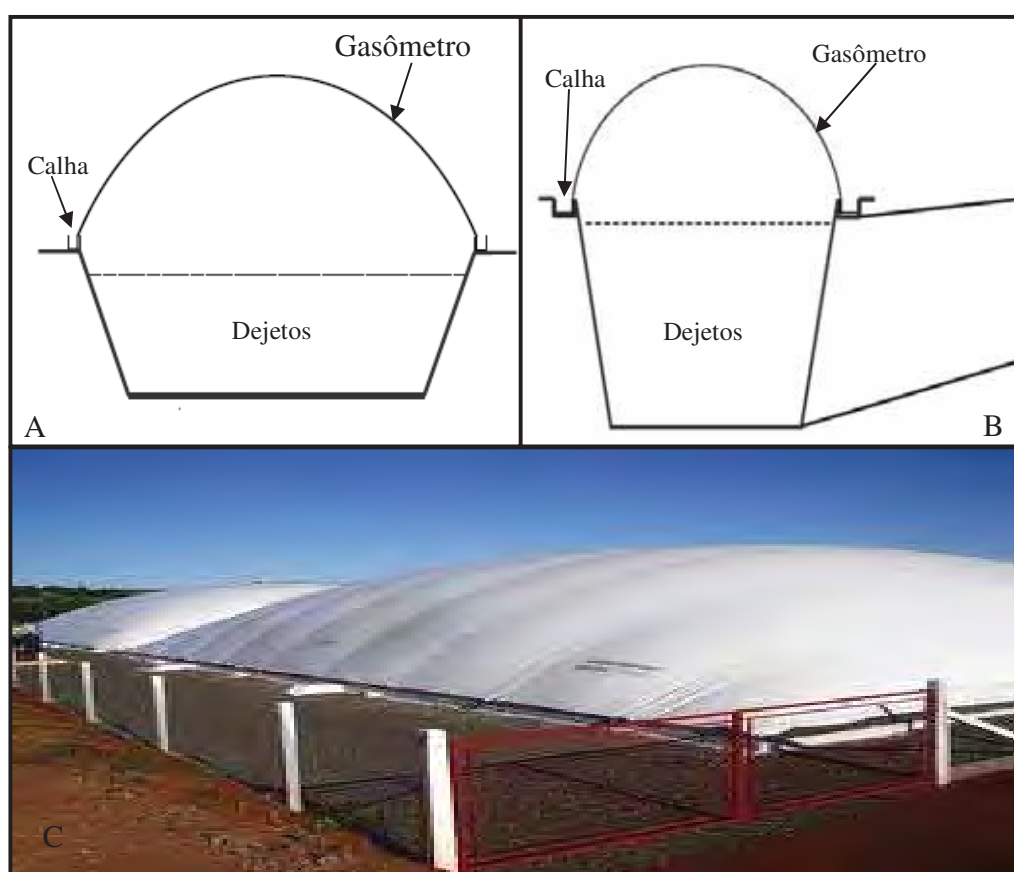


Figura 4. Vista longitudinal (A), vista transversal (B) e foto do reator anaeróbio modelo Fluxo Tubular (C).

2.5 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta que pertence ao gênero *Saccharum* L., é a gramínea mais cultivada nas regiões tropicais e subtropicais. As regiões de cultivo da cana de açúcar são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo ao país duas safras ao ano. O Brasil ocupa uma posição muito privilegiada, sendo um dos maiores produtores de açúcar (UNICA, 2008).

A cana é uma planta composta em média, de 65 a 75% de água, e seu principal componente é a sacarose, que corresponde de 70 a 91% das substâncias sólidas solúveis (UMERABA, 2010 apud FAVA, 2004). O teor de sacarose contido no caldo é de fundamental importância, pois ele é um indicativo da quantidade de carbono contida no líquido (COLEN, 2003).

A extração do caldo de cana tem o rendimento por tonelada de cana, refletido diretamente no rendimento do produto obtido com o caldo (açúcar, etanol, biogás, etc), considerando as condições de sacarose e produtividade por área plantada (COLEN, 2003).

Segundo Umebara (2010) o caldo é um sistema coloidal complexo no qual o meio de dispersão é a água. Alguns constituintes estão em dispersão molecular ou solução, onde as partículas são menores que 1µm de diâmetro, tais como: sacarose, glicose, levulose e sais minerais (matérias solúveis).

Assim sendo, a constituição do caldo de cana é: 75 a 82% de água e 18 a 25% de sólidos totais dissolvidos, onde se encontram os açúcares, tais como sacarose (14,5 a 23,5%), glicose (0,2 a 1,0%) e frutose (0 a 0,5%), 0,8 a 1,5% de não-açúcares orgânicos (proteínas, amidas, aminoácidos, ceras, pectinas, materiais corantes) e 0,2 a 0,7% de compostos inorgânicos (K, P, Ca, Na, Mg, S, Fe, Al e Cl) (UMEBARA, 2010 apud DELGADO, 1975).

O caldo de cana está situado entre os entrenós da fase sólida na cana de açúcar, considerando que esta seja um composto bifásico sólido-líquido (HAMERSKI, 2009 apud CHEN; CHOU, 1993). As características de composição das variedades comerciais da cana-de-açúcar e sólidos solúveis do caldo de cana variam dentro de certos limites conforme o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição de cana-de-açúcar e sólidos solúveis no caldo.

Componentes da cana de açúcar	(%) em massa na cana de açúcar
Água	73-76
Sólidos	24-27
Sólidos solúveis	10-16
Fibra (seca)	11-16
Constituinte do caldo de cana	(%) em sólidos solúveis
Açúcares	
Sacarose	75-92
Glicose	70-88
Frutose	2-4
Sais	2-4
Ácidos orgânicos	3,0-4,5
Ácidos carboxílicos	1,5-5,5
Aminoácidos	1,1-3,0
Outros não açúcares orgânicos	0,5-2,5
Proteínas	0,5-0,6
Amido	0,001-0,100
Gomas	0,30-0,60
Ceras, gorduras, fosfolipídeos	0,05-0,15

FONTE: Modificado de CHEN; CHOU, 1993.

Segundo Xavier (2009), o caldo de cana-de-açúcar adicionado como aditivo no substrato de biodigestores, pode acarretar uma boa produção de CH₄, devido a contribuição, do carboidrato prontamente solúvel, para o estabelecimento rápido e efetivo de comunidades microbianas típicas da biodigestão anaeróbia. Os produtores que fornecem cana-de-açúcar como volumoso para os animais poderiam facilmente fornecer o caldo de cana para a biodigestão anaeróbia dos dejetos.

Por outro lado, o caldo de cana adicionado aos substratos por disponibilizarem para o meio carboidratos prontamente solúveis, pode contribuir para acidificação acentuada do mesmo devido à facilidade de hidrólise e acidogênese, prejudicando a metanogênese por alguns dias devido à queda de pH por presença excessiva de ácidos formados (XAVIER, 2009).

De acordo Xavier (2009) apud Demirer & Chen (2004) as bactérias acidogênicas têm crescimento rápido e pH ótimo de 5,2 a 6,5 ao passo que as metanogênicas crescem mais lentamente, como as acetogênicas, e o seu pH ótimo é de 7,5 a 8,5. Então, quando o ambiente se torna ácido pela presença de AGV, o grupo predominante de microrganismos é aquele que resiste ao pH ácido, conseguindo aproveitar os nutrientes do meio liberando subprodutos que podem não ser aproveitados pelos outros grupos de

microrganismos afetados pelas condições de pH alteradas. Além disso, subprodutos como propionato e butirato não podem ser diretamente aproveitados pelas metanogênicas, mas apenas acetato e H₂.

2.6 Co-digestão

A co-digestão é consórcio de um resíduo orgânico a outros resíduos que podem ser ricos em carboidratos ou microrganismos, como caldo de cana, vinhaça, esterco bovino e de galinha entre outros. Sendo este termo usado para descrever o tratamento combinado de resíduos com várias características complementares, sendo uma das principais vantagens da tecnologia anaeróbia (FERNÁNDEZ, 2005).

Muitos trabalhos, que tratam de co-digestão têm sido focados na busca de sinergia ou antagonismo entre os substratos co-digeridos. Por exemplo, a otimização da relação carbono e nitrogênio quando a co-digestão de resíduos urbanos e lodo de esgoto são apontados como benéfica para produção de metano (FERNÁNDEZ, 2005).

A técnica de co-digestão permite a utilização de instalação existente, aumentando a produção de biogás e da energia produzidas nas unidades de co-geração, com isso não se tem custo com novas instalações (GÓMEZ et al. 2006).

A co-digestão anaeróbia pode ser uma alternativa para o tratamento de resíduos da cadeia produtiva avícola, uma vez que o processo combina a valorização do resíduo gerado em produção de energia limpa além de apresentar uma excelente taxa de degradabilidade do material que pode vir a ser utilizado como biofertilizante (MATTER, J.M. et al., 2009)

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa e Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV), UNESP – Campus de Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 595 metros.

O experimento foi desenvolvido em duas fases. Na primeira, consistiu do preparo do inóculo com dejetos de bovino de leite, sendo o mesmo armazenado em caixa d'água com tampa, com capacidade para 1000L, por aproximadamente 15 dias para pré-fermentação. Após este período iniciou-se o abastecimento dos biodigestores contínuos e posteriormente as cargas diárias.

3.1 Delineamento experimental e análise estatística

Para o experimento foram utilizados oito biodigestores contínuos e gasômetros, confeccionados de PVC rígido conforme esquema (Figuras 5 e 6), os quais

possuem capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação e instalados no interior do laboratório, sendo composto por dois tratamentos com 4 repetições.

As mensurações foram realizadas a partir dos 30 dias de operação dos biodigestores. O tratamento controle não mudou durante todo o período, determinando-se que quando os biodigestores eram abastecidos com caldo a 5%, o tratamento controle foi chamado de C1 e os que receberam caldo a 7% (C2).

Para todos os tratamentos avaliaram-se os seguintes parâmetros: produção de biogás/m³, produção de biogás por kg⁻¹ de sólidos totais adicionados e reduzidos, de sólidos voláteis adicionados e reduzidos, substrato, m³ de biogás por kg⁻¹ de cama de frango e macro e micronutrientes, sendo estes então submetidos à análise de variância pelo teste T de student do programa SAS versão 9.1 (2003). Para a avaliação entre os tratamentos controle e com diferentes porcentagens de caldo de cana, utilizou-se o limite de confiança com probabilidade de 95%.

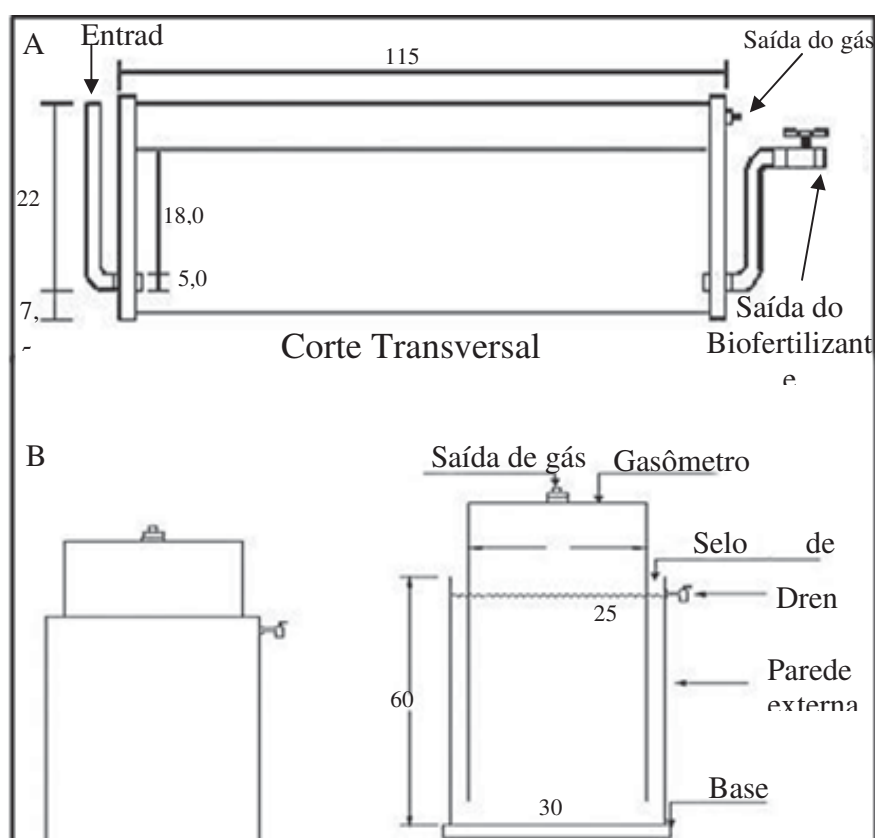


Figura 5. Representação esquemática do biodigestor contínuo (A) e o gasômetro (B) (medida em cm).



Figura 6. Vista dos biodigestores contínuos, instalados no interior do laboratório.

3.2 Preparo do inóculo

Utilizou-se para o preparo do inóculo (I), dejetos de bovino leiteiro, coletado no setor de Bovinocultura de Leite da FCAV/UNESP – Jaboticabal. Para tanto, os dejetos foram raspados, sendo em seguida transportado para o laboratório para análise da matéria seca (MS), obtendo-se valor médio de 22,29%, com o qual efetuou-se os cálculos para se obter substrato (dejetos bovinos diluídos em água) com 2% de sólidos totais (ST). Para tanto, pesou-se 6,4 kg de esterco + 63,6 kg de água, obtendo-se 70 kg de substrato, os quais foram homogeneizados e separados em duas frações (sólidos e líquidos) em peneira de arroz com malha de 1 mm, os sólidos retidos foram desprezados e a fração líquida foi armazenada em uma caixa d'água de 1000L. Essa operação foi realizada por oito vezes de modo a se obter um volume de 560L do substrato. A caixa foi tampada por um período de 15 dias para início de fermentação (Figuras 7 e 8).



Figura 7. Dejeto de bovino leiteiro, coletado para o preparo do inóculo (A), separação de sólidos, de dejeto de bovinos leiteiro (B).



Figura 8. Armazenamento do substrato de dejeto leiteiro, após a separação de sólidos, sendo posteriormente fechada para provocar pré-fermentação.

3.3 Abastecimento inicial dos biodigestores

Para os abastecimentos dos biodigestores contínuos, coletou-se cama de frango (CF) em galpão comercial convencional (Figura 9) de propriedade rural integrada ao sistema de produção da Empresa Seara, localizado no município de Taquaritinga – SP. O substrato base para a cama consistiu de casca de amendoim e a cama e reutilização de cinco lotes. A cama foi transportada ao laboratório para análise da MS, obtendo-se valor médio de 85% com o qual se preparou substrato com um teor médio de 3% de sólidos totais.

Para a partida dos biodigestores contínuos, utilizou-se tambor com capacidade de 70 kg, pesando-se 3 kg de CF e 47 kg água (Figura 10) e obtendo-se CF+ÁGUA. Esse material foi misturado e peneirado utilizando-se peneira de arroz malha de 1 mm (Figura 10) e a fração líquida foi denominada cama de frango com separação de sólidos (CFCSS). Em seguida pesou-se 40 kg de CFCSS + 20 kg do Inóculo, obtendo 60 kg de CFCSS+I, para abastecer cada biodigestor (Figuras 11 e 12).



Figura 9. Vista do galpão onde foi coletada a cama de frango.



Figura 10. Homogeneização da CF + Água (A), separação da fração sólida da CF + Água (B).



Figura 11. Inóculo composto por dejecto de bovino leiteiro (I) e Fração líquida de CFCSS (F).



Figura 12. Abastecimento inicial dos biodigestores, com CFCSS + I.

3.4 Abastecimentos diários dos biodigestores

Depois do abastecimento, foram realizados testes de queima do biogás proveniente dos biodigestores para detecção de presença ou não de CH_4 em quantidade suficiente para manter a chama. Os testes foram realizados por meio de um bico de Bunsen cuja mangueira era acoplada à saída de biogás, detectando-se a presença de CH_4 , iniciaram os abastecimentos diários dos biodigestores.

Em seguida, adotando-se um tempo de retenção hidráulica de 30 dias e com um volume dos biodigestores de 58L, calculou-se a quantidade de carga diária, para este utilizou-se a seguinte equação:

Onde

$$CD = \frac{\text{Vol.}}{\text{TRH}}$$

No qual:

CD = Carga Diária, em litros

Vol. = Volume do Biodigestor, em litros

TRH = Tempo de Retenção Hidráulica, em dias

Os biodigestores contínuos eram abastecidos diariamente adotando-se dois tratamentos, ou seja, T1 – CFCSS e T2 – CFCSS + caldo de cana.

O T1 foi considerado controle e no T2 adotou-se o abastecimento por um período de 30 dias com caldo de cana a 5% e depois de 30 dias aumentou-se a quantidade de caldo de cana-de-açúcar para 7%, por mais 30 dias. Os biodigestores foram numerados de um a oito e determinou-se que os biodigestores ímpares eram o controle (CFCSS) e os pares correspondiam ao tratamento que recebia caldo de cana-de-açúcar (CFCSS+CALDO). A carga diária apresentava o mesmo volume para os dois tratamentos e assim sendo a adição de caldo substituiu parte do substrato base cama mais água.

Para as cargas diárias preparava-se uma quantidade suficiente de cama de frango com separação de sólidos, para o abastecimento dos oito biodigestores. Para isso pesava-se 1,8kg de cama de frango + 18,2kg de água, misturando a CF + água e em seguida era feito o processo de peneiramento, obtendo-se CFCSS. Após a separação de sólidos, utilizaram-se oito baldes (Figura 13) com capacidade de 2L. Em 4 baldes colocava-se 1,930kg de CFCSS para as quatro repetições que correspondiam ao tratamento CFCSS e nos outros quatro CFCSS + caldo de cana Tabela 2. Desta forma, para o tratamento que recebeu caldo de cana descontou-se da quantidade de CFCSS a quantidade referente a adição de caldo, sendo que com a adição de caldo a 5%, pesou 1,830kg de CFCSS + 100g de caldo e para a adição de 7% utilizou-se 1,795kg de CFCSS + 135g de caldo. Após o peneiramento observou-se, em média, que a fração retida na peneira (sólidos) correspondia a 4,164 kg (20,82%) e a fração líquida utilizada nos abastecimentos correspondia a 15,836 kg (79,18%).

Tabela 2. Composição das cargas diárias utilizadas nos abastecimento dos biodigestores correspondentes aos tratamentos CFCSS, CFCSS + 5% de caldo e CFCSS + 7% de caldo.

Trtamento	Cama de frango	Água	Caldo	Total
CFCSS	0,219	1.711	0	1,930
CFCSS + Caldo 5%	0,208	1.622	0,100	1,930
CFCSS + Caldo 7%	0,204	1.591	0,135	1,930



Figura 13. Vista dos baldes antes de abastecer os biodigestores.

3.5 Extração do caldo de cana

Uma vez na semana coletava-se a cana-de-açúcar da variedade IAC 86-2480, em seguida transportava-se até o Departamento de Engenharia Rural e, utilizando-se uma moenda manual, prensava-se a cana para a extração do caldo. Em seguida o caldo era pesado nas quantidades de 100 e 135 g para os tratamentos que recebiam 5 e 7 % de caldo, respectivamente colocados em copos descartáveis de 100 ml e levados ao freezer, para que o mesmo não perdesse suas propriedades e pudesse ser utilizado na preparação dos substratos ao longo da semana(Figuras 14, 15 e 16).



Figura 14. Local onde era moída a cana para extrair o caldo.



Figura 15. Pesagem do caldo.



Figura 16. Armazenamento do caldo congelado para o abastecimento diário dos biodigestores.

3.6 Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado com base em estimativas de granjas comerciais conforme parâmetros obtidos na literatura e os valores de produção de biogás, da biodigestão anaeróbia da cama de frango de quinta reutilização, com adição de caldo de cana, considerando-se os resultados obtidos neste trabalho.

3.7 Análises laboratoriais

3.7.1 Teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis, dos substratos, afluentes e efluentes dos ensaios de biodigestão anaeróbia, foram acondicionadas em cadinhos de alumínio previamente tarados, pesados para se obter o peso úmido (Pu) do material e em seguida, levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C até atingirem peso constante e em seguida, resfriadas em dessecador e pesadas novamente em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologia descrita por APHA (1998).

Para a determinação do teor de sólidos voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram pesados em cadinhos de porcelana e levados à mufla a temperatura de 575°C durante um período de 2 horas e após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso de cinzas. O teor de sólidos voláteis foi determinado a partir de metodologia descrita por APHA (1998).

3.7.2 Produção de biogás

A produção de biogás foi quantificada conforme ocorreu o acúmulo em gasômetros, realizando-se a leitura diária. A leitura consistiu, na medição da altura aferida em régua fixada junto ao gasômetro, que se deslocava verticalmente. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área de seção transversal interna dos gasômetros, igual a 0,04906 m². Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm em 20°C, foi 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, utiliza-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1}$$

em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m^3 ;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10.322,72 mm de H_2O ;

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, 9673,24 mm de H_2O ;

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

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9627,24 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 46 mm de água, obtém-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

$$V_0 = V_1/T_1*274,70$$

3.7.3 Determinação do potencial hidrogeniônico

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

3.7.4 Temperatura (t°) do biogás e ambiente

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

3.7.5 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 foram retiradas amostras de biogás dos biodigestores durante todo o período experimental, utilizando-se seringas plásticas de 50 mL de volume. As determinações foram feitas em cromatógrafo de fase gasosa da marca FINNINGAN GC 2001 equipado com colunas Porapack Q, Peneira Molecular 5A e detector de condutividade térmica, utilizando o hidrogênio como gás de arraste. A calibração do equipamento foi 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.

3.7.6 Caracterização mineral das amostras

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

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 (H₂SO₄) e posterior adição de 10 ml de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 50% até a temperatura de 430°C, obtendo um líquido translúcido composto somente pela fração inorgânica, pois a orgânica foi completamente digerida.

Com esse extrato podemos determinar os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cobre, Manganês, Zinco, Sódio, segundo metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

Para a determinação de nitrogênio foi utilizado o destilador micro Kjeldahl, cujo princípio baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 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 vanadomolibdo fosfórico 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. (1989).

Os demais minerais foram quantificados por absorção atômica. E realizada através de um equipamento de absorção atômica modelo GBC 932 AA acoplado a um computador contendo o software GBC AA.. Nele, as amostras digeridas são comparadas com padrões segundo o elemento que se esteja analisando.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Teores de sólidos totais e voláteis

Os valores médios das concentrações, dos sólidos totais e sólidos voláteis, em massa e em porcentagens, no início e final do processo de biodigestão anaeróbia e reduções de sólidos totais e voláteis, em porcentagens, nos tratamentos avaliados de acordo com período de operação (Tabela 3). Para as reduções de ST e SV foram realizada análise estatística.

Nos valores de teores de sólidos e voláteis, pode-se observar que houve uma redução, indicando que o processo de biodigestão anaeróbia promoveu a redução de material orgânico adicionado em todos os tratamentos avaliados. Essa redução esta relacionada com a estabilização do sistema e com a adaptação dos microrganismos anaeróbios.

O tratamento CFCSS + caldo 7%, apresentou média de 0,050 kg de ST adicionado no material de entrada nos biodigestores, sendo que demais tratamentos obtiveram valores inferiores. O tratamento controle C2 foi o que diferiu estatisticamente pelo limite de confiança entre todos os tratamentos, apresentando menores valores para a redução de SV 61,07%, sendo que os tratamentos C1, CFCSS + caldo 5 e 7% não apresentaram diferença

significativa, indicando que o substrato desses tratamentos demoraram mais para serem degradado pelas bactérias. Aires (2009), trabalhando com cama de frango de casca de amendoim e quarta reutilização com separação de sólidos sem adição de inóculo em sistema contínuo de abastecimento obteve valores de redução de SV de 46,71%.

Fukayama (2008), avaliando a biodigestão de cama de frango (casca de amendoim), obteve 43,57% de redução no teor de SV na cama de 4^o reutilização. Este resultado é inferior ao encontrado neste trabalho com cama 5^o reutilização, uma vez que quanto mais reutilizada a cama maior disposição de matéria orgânica e consequentemente mais nutrientes podem sofrer atuação de bactérias.

O tratamento controle C2 foi o que apresentou maior variação de pH sendo entrada 9,12 e 7,04 saída. Segundo BATISTA (1981), as bactérias que produzem metano sobrevivem numa faixa estreita de pH (6,5 e 8,0). Ainda sobre pH, para que ocorra fermentação e produção normal de biogás, é necessário que se tenha uma faixa de pH entre 7,0 e 8,0 (COSTA, 2009 apud SILVA, 1983).

Embora o tratamento C2 apresentou maior pH na entrada, levemente alcalino e neutralidade na saída (em média de 7,0). 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 ser digeridas, sendo esta bastante alcalina.

Tabela 3. Valores de potencial de hidrogênio, sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem de reduções nos tratamentos avaliados.

Tratamento	Período de operação	pH		ST (%)		ST (Kg)		SV (%)		SV (kg)		ST	SV		
		I	F	I	F	I	F	I	F	I	F			Reduções (%)	
C1 CFCSS + Caldo 5%	18/abril a 17/Maio	8,90	6,82	2,043	0,674	0,039	0,015	1,474	0,361	0,028	0,007	66,050	Aa	74,330	Aa
		8,81	6,67	2,105	0,760	0,041	0,013	1,624	0,426	0,031	0,008	63,690	Aa	73,600	Aa
C2 CFCSS + Caldo 7%	12/Junho a 11/Julho	9,12	7,04	1,456	0,743	0,028	0,019	0,966	0,366	0,019	0,007	48,350	Ac	61,070	Ab
		8,86	6,78	2,578	0,989	0,050	0,014	2,107	0,535	0,041	0,010	61,550	Bb	74,540	Ba

Letras maiúsculas comparam períodos de operação (teste T student), enquanto letras minúsculas comparam níveis de inclusão de caldo (limites de confiança). As médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de T student ($P < 0,05$). ST – Sólidos totais, SV – Sólidos voláteis, I – Inicial e F – Final.

4.2 Produção e composição de biogás

Para os potenciais de produção de biogás durante 30 dias em biodigestores abastecidos com cama de frango de quinta reutilização com separação de sólidos foram avaliados os potenciais de m^3 de biogás/kg: sólidos totais adicionados (STadic.), sólidos totais reduzidos (STred.), sólidos voláteis adicionados (SVadic.), sólidos voláteis reduzidos (ST red.), cama e substrato (Tabela 4).

Para o período de 18 de abril a 17 de maio, o tratamento CFCSS + caldo 5% apresentou valores médios de $0,4539 \text{ m}^3$ de biogás/kg STadic. e de $0,0881 \text{ m}^3$ de biogás/kg cama, valor este estatisticamente superior ($P < 0,05$) ao produzido pelo tratamento C1 ($0,3175 \text{ m}^3$ de biogás/kg STadic e $0,0552 \text{ m}^3$ de biogás/kg cama). O tratamento CFCSS + caldo 7% apresentou valor de $0,4647 \text{ m}^3$ de biogás/kg STadic. e de $0,0552 \text{ m}^3$ de biogás/kg cama, apresentando valores superiores ($P < 0,05$) aos alcançados pelo tratamento C2 ($0,3122$ e $0,0396$ respectivamente) sendo esta comparação efetuada durante o período de 12 de junho a 11 de julho.

Na comparação entre todos os tratamentos pelo limite de confiança com probabilidade de 95%. O tratamento CFCSS + caldo 5 e 7%, apresentou valores médios de $0,4535$ e $0,4647 \text{ m}^3$ de biogás/kg STadic., respectivamente, não diferindo entre si, quando comparado com C1, já quando comparado ao tratamento C2 houve diferença. Comparando-se a produção em m^3 de biogás/kg cama, verificou-se que houve diferença entre os tratamentos, sendo que o tratamento CFCSS + caldo 7% apresentou o maior valor produção ($0,1130 \text{ m}^3$ de biogás/kg cama), quando comparado aos tratamentos CFCSS + caldo 5%, C1 e C2.

Tabela 4. Potenciais de produções de biogás (m^3) por kg^{-1} de dejetos em cama de frango de 5º lote de reutilização, durante 30 dias.

Tratamento	Período de operação	m^3 Biogás	Potenciais (m^3 de biogás/Kg)					
			STadic.	STred.	SVadic.	SVred.	Cama	Substrato
C1 CFCSS + Caldo 5%	18/abril a 17/Maio	0,3632 Bc	0,3175 Bb	0,4926 Ab	0,4453 Bb	0,6124 Ba	0,0552 Bc	0,0063 Bc
		0,5500 Ab	0,4539 Aa	0,7197 Ba	0,5878 Aa	0,8032 Aa	0,0881 Ab	0,0095 Ab
C2 CFCSS + Caldo 7%	12/Junho a 11/Julho	0,2605 Bd	0,3122 Bb	0,6705 Aa	0,4765 Bb	0,8028 Aa	0,0396 Bd	0,0045 Bd
		0,6919 Aa	0,4647 Aa	0,7571 Aa	0,5686 Aa	0,7642 Aa	0,1130 Aa	0,0120 Aa

Letras maiúsculas comparam períodos de operação (teste T student), enquanto letras minúsculas comparam níveis de inclusão de caldo (limites de confiança). As médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de T student ($P < 0,05$).

Xavier (2009), trabalhando com inclusão de caldo de cana em biodigestão anaeróbia em sistema contínuo, obteve uma produção de biogás por um período de 15 dias, de 0,821 e 0,809 m³ de biogás/dia para caldo de cana com 6 e 8% respectivamente.

Comparando esses valores com o presente trabalho, observou-se uma diferença inferior de 33% referente à inclusão de caldo a 5% de caldo e 15% referente à inclusão de 7% de caldo. Este comportamento pode ser explicado pelas características dos dejetos utilizados, uma vez que o referido autor trabalhou com dejetos de gado leiteiro, sendo este de fácil degradação.

Aires (2009), utilizando cama de frango reutilizada e água em sistema de biodigestão contínuo e com separação de sólidos, obteve valor de 1,441 m³ de biogás/kg STadic., pode-se supor que o valor encontrado pelo autor foi superior devido ao fato de mesmo utilizar-se de cama de 1^o, 2^o, 3^o e 4^o subsequentes nos biodigestores, formando desta maneira um meio propício para uma maior produção m³ de biogás/kg STadic, uma vez que compõe populações de microrganismos adaptados ao resíduo.

A Figura 17 representa a temperatura ambiente no interior do laboratório onde foram instalados os biodigestores, sendo assim possível analisar a variação da temperatura durante os 30 dias correspondentes ao período em que os biodigestores foram abastecidos com caldo de cana a 5 e 7%.

O período 1 (18/abril a 17/maio) corresponde aos biodigestores operados com os tratamentos C1 e CFCSS + caldo 5%, já o período 2 (12/junho a 11/julho) corresponde aos biodigestores operados com os tratamentos C2 e CFCSS + caldo 7%. Pode-se observar que não houve uma grande variação da temperatura ambiente interna onde estavam instalados os biodigestores, isso significa que não houve interferência da temperatura ambiente externa, por serem os ensaios conduzidos em épocas diferentes.

A produção volumétrica diária de biogás de cada tratamento ao longo de 30 dias em que a produção biogás estabilizou (Figura 18 e 19). Observa-se que nos tratamentos controle (C1) e caldo de cana 5%, não há uma diferença muito grande de produção de biogás entre eles, a partir do momento em que aumentou-se a porcentagem de inclusão de caldo para 7% houve uma resposta muito rápida e uma maior produção de biogás em comparação aos tratamentos C1, C2 e CFCSS + caldo 5%, isso pode ter ocorrido pelo aumento de carboidratos no biodigestor.

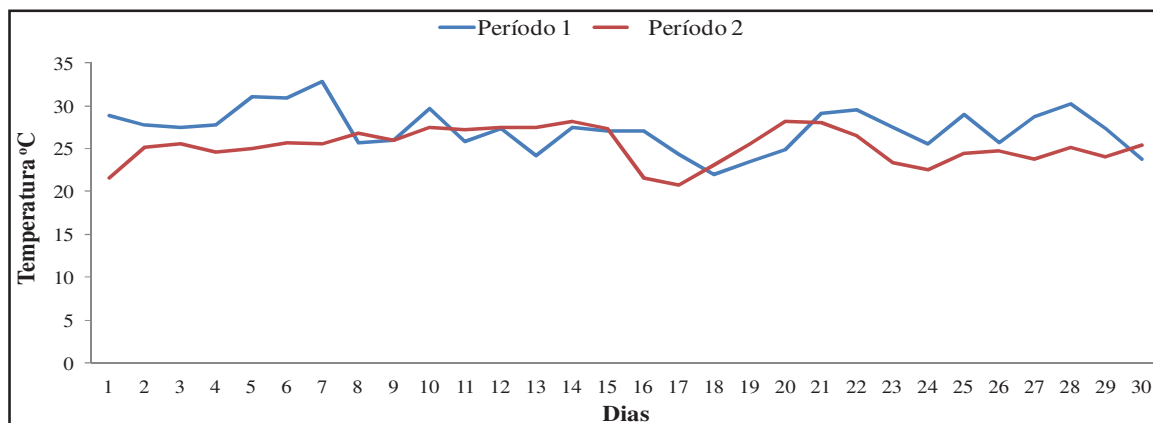


Figura 17. Temperatura ambiente onde estavam os biodigestores.

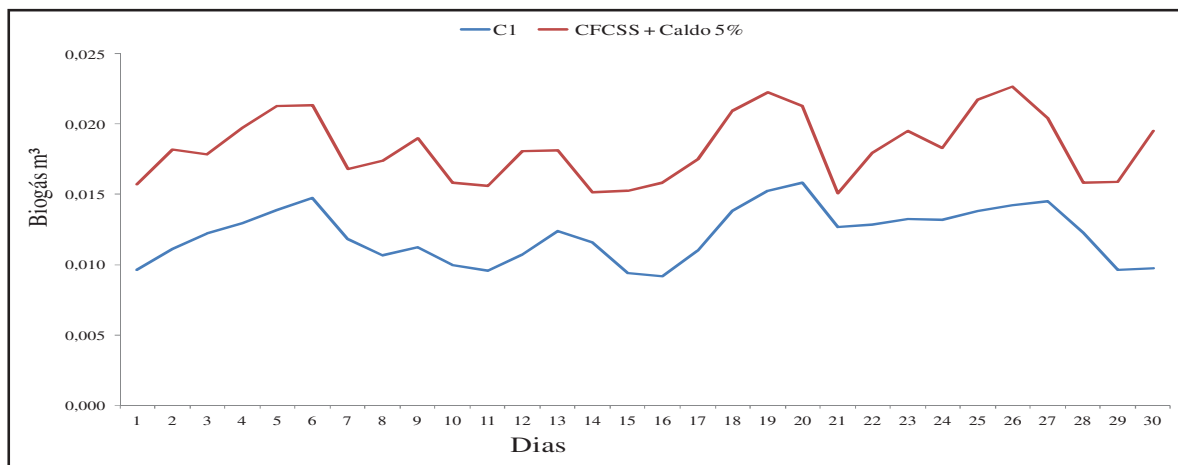


Figura 18. Distribuição da produção de biogás (m^3/dia), em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5^o lote, para os tratamentos C1 e CFCSS + caldo de cana a 5 %.

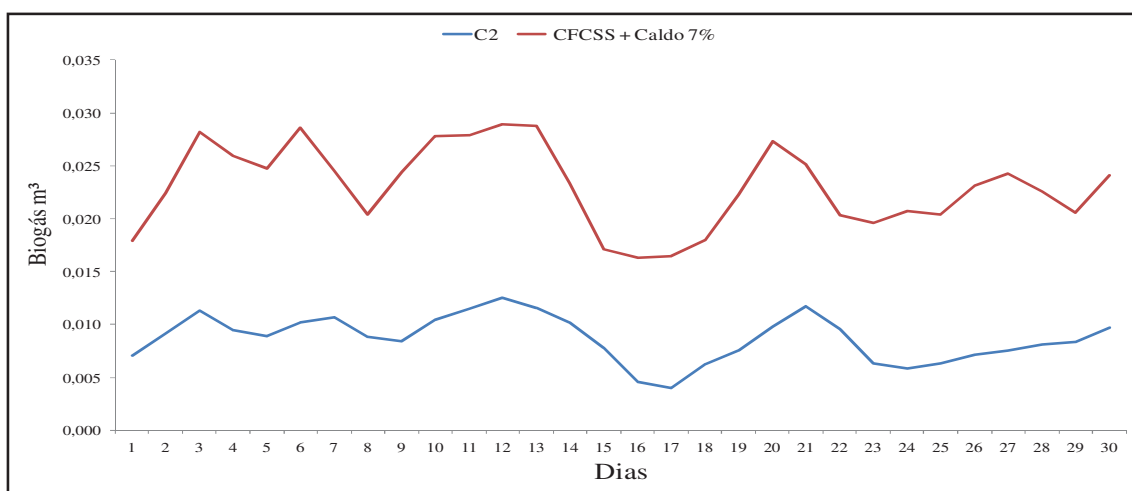


Figura 19. Distribuição da produção de biogás (m^3/dia), em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5^o lote, para os tratamentos C2 e CFCSS + caldo de cana a 7 %.

As médias da porcentagem de CH₄ no biogás para os biodigestores contínuos foram de 53 e 46% para C1 e CFCSS + caldo 5%, 51 e 40% para C2 e CFCSS + caldo 7% respectivamente. A baixa concentração de metano nos tratamentos C1, C2 e caldo de cana com 5 e 7%, pode ser explicado devido a amônia ser um composto liberado durante a hidrólise através da degradação biológica da matéria nitrogenada que se encontra presente essencialmente na forma de proteínas e uréia (Silveira, 2009 apud Kayhanian, 1999), a cama de frango tem uma grande concentração de amônia.

Apesar de a amônia ser essencial para o crescimento bacteriano, este pode inibir o processo de digestão anaeróbia quando presente em concentrações elevadas (Silveira, 2009 apud Nielsen e Angelidaki, 2008). Concentrações elevadas de compostos de amônia fazem subir o valor de pH, inibindo as bactérias metanogênicas (BM). A inibição das BM provoca a acumulação de AGV tornando o processo de digestão instável. A acumulação de AGV provoca uma descida do pH e, conseqüentemente, diminui a concentração de amônia livre (Silveira, 2009 apud Chen et al., 2008). Com esta sucessão de fenômenos o processo de digestão permanece estável, embora com uma produção de metano inferior devido a inibição das BM (Silveira, 2009).

XAVIER (2009), utilizou caldo de cana em co-digestão com dejetos de vaca leiteira, os tratamentos contendo caldo de cana apresentaram uma pequena quantidade de CH₄ no biogás. O acréscimo de caldo de cana nos substratos pode ter causado a inibição das metanogênicas já que todos os substratos continham material já fermentado previamente (inóculo) em condições de estabilidade, e este, sozinho ou com dejetos frescos, apresentaram produção de CH₄ nos primeiros sete dias.

XAVIER, 2009 apud UMETSU et al. (2006) trabalhou com co-digestão de dejetos de vacas e beterraba açucareira, parte aérea e raízes (moídas), que continham 17,98 e 7,80% de açúcares, respectivamente, em biodigestores batelada e contínuos, nos quais foram testadas 10, 20, 30 e 40% de inclusão de partes da planta e planta inteira em TRH de 20 dias à 55±1°C e abastecimento inicial com 50% de inóculo nos biodigestores batelada. Os autores verificaram aumento na produção de biogás em alguns tratamentos, mas paralisação na produção de CH₄ quando utilizaram 30 e 40% da planta inteira e 15% de raízes na co-digestão em biodigestores batelada. Nos contínuos, observaram

que o uso de 40% da parte aérea na co-digestão aumentou 1,49 vezes a produção C em relação à testemunha que continha apenas dejetos de vacas.

Para melhor expressar a produção de CH_4 , procurou-se fazer uma conversão em m^3 de CH_4 dos valores encontrados da produção de biogás, que é a conversão da produção de m^3 de biogás, multiplicado pela percentagem de CH_4 e verificou-se que o tratamento CFCSS + caldo de cana 7% foi o que mais produziu (Figuras 20 e 21). A produção de m^3 metano a cada 30 dias foi de 0,6416, 0,8434, 0,4428 e 0,9685 para os tratamentos C1, CFCSS + caldo de cana 5%, C2 e CFCSS + caldo de cana 7% respectivamente.

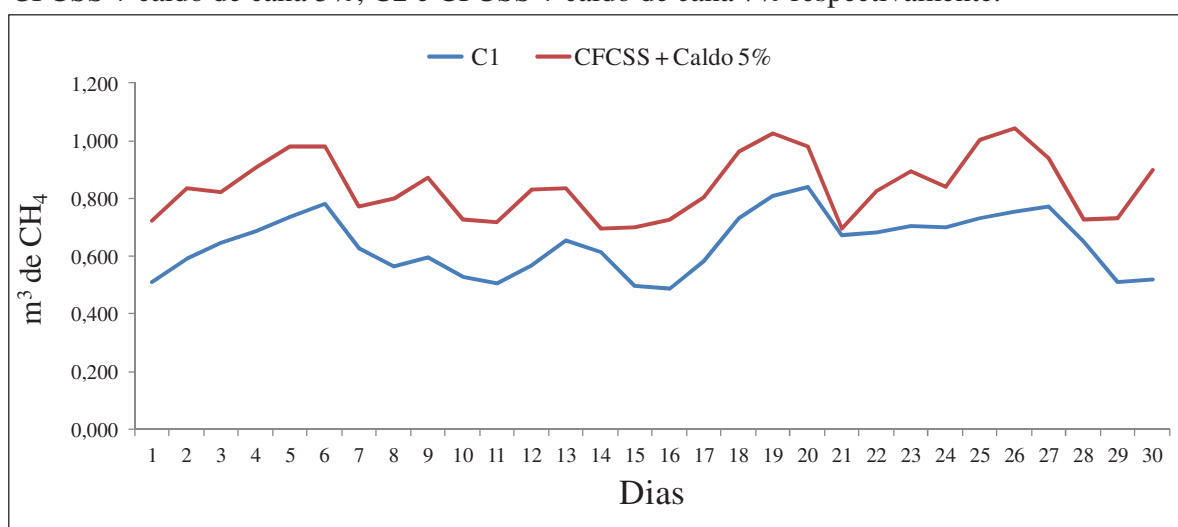


Figura 20. Distribuição da produção de m^3 de metano, em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5º lote, para os tratamentos C1 e CFCSS + caldo de cana a 5 %.

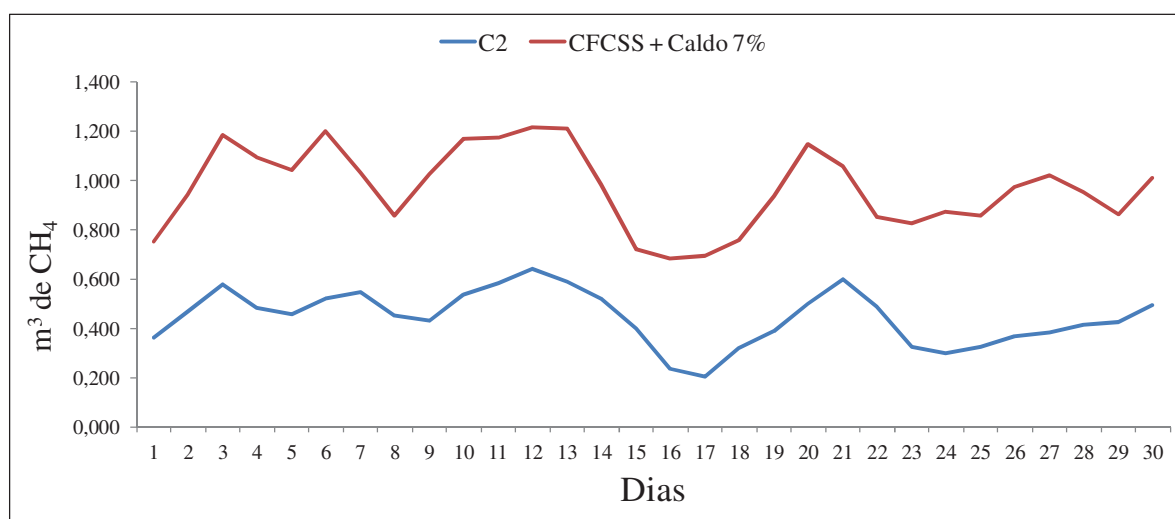


Figura 21. Distribuição da produção de m^3 de metano, em biodigestores abastecidos com cama de frango de 5º lote, para os tratamentos C2 e CFCSS + caldo de cana a 7 %.

4.3 Análises de macro e micronutrientes

Para avaliação de macro e micronutrientes do efluente, não avaliou-se o controle 1 e 2, procurou-se fazer somente um controle (C), por se tratar sempre do mesmo material de entrada e o macro e micronutrientes não se modifica pelas condições do ambiente, por isso avaliou-se: controle, CFCSS + caldo de cana 5 e CFCSS + caldo de cana 7%, pelo fato do caldo ter na sua composição macro e micronutrientes, podendo assim alterar a composição do efluente.

As concentrações de macro e micronutrientes para o efluente dos tratamentos controle e os com caldo de cana 5 e 7% (Tabelas 5 e 6), observa-se que em relação a nitrogênio, para os tratamento caldo de cana a 5 e 7 %, não houve diferença significativa entre eles ($P < 0,05$).

Observa-se que o tratamento CFCSS + caldo 5%, apresentou maior concentração de teor de fósforo, não havendo diferença ($P < 0,05$) entre o tratamento controle e caldo a 7 %, este fato pode ser explicado em função da redução da fração orgânica por meio da produção de biogás.

Os teores de K nos biofertilizantes em todos os tratamentos avaliados apresentaram valores bem próximos, em média de 0,48 a 50 g/100g, valores considerados baixos mesmo nos substratos em media de 0,45 a 0,49 g/100g, fato devido à presença de amônia (que se encontra presente na cama de frango) considerada uma grande inibidora desse mineral.

XAVIER (2009), encontrou valores de 2,73 e 1,31 g/100 g em biofertilizante de dejetos de bovinos leiteiros operados com caldo de cana a 6 % , valores menores aos encontrados nesse trabalho, isso é devido ao tipo de dejetos utilizado neste trabalho que foi cama de frango de quinta reutilização enquanto o referido autor trabalhou com dejetos de gado leiteiro, sendo este de concentrações diferentes de macro e micronutrientes na sua composição.

Tabela 5. Concentração de macronutrientes, em g/100g de matéria seca, no efluente, em biodigestores contínuos abastecidos com cama de frango de quinta reutilização e caldo de cana a 5 e 7%.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Na
	g/100g					
Controle	3,07 B	3,98 A	0,48 AB	0,68 B	0,79 A	0,19 B
CFCSS + Caldo 5%	4,19 A	4,90 AB	0,49 B	0,73 A	0,84 A	0,20 AB
CFCSS + Caldo 7%	4,12 A	4,56 B	0,48 A	0,66 B	0,70 B	0,22 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo limite de confiança com probabilidade de 95%.

Houve uma diferença significativa ($P < 0,05$), nas concentrações de Cu e Zn no tratamento CFCSS + caldo 7%, apresentando maiores concentrações, isto pode ser em função da dieta das aves.

Tabela 6. Concentração de micronutrientes, em mg/kg de matéria seca, no efluente, em biodigestores contínuos abastecidos com cama de frango de quinta reutilização e caldo de cana a 5 e 7%.

Tratamento	Fe	Mn	Cu	Zn
	mg/kg			
Controle	781,33 A	268,81 A	137,43 B	122,80 B
CFCSS + Caldo 5%	893,12 A	312,24 A	135,45 B	150,20 B
CFCSS + Caldo 7%	863,56 A	267,57 A	169,82 A	256,59 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo limite de confiança com probabilidade de 95%.

4.4 Uso da cama de frangos em co-digestão com caldo de cana em biodigestores – um estudo de caso

Para se avaliar o uso da cama de frango em co-digestão com o caldo de cana em biodigestores considerar-se uma propriedade rural que possua 5 galpões com capacidade de produção para 20.000 frangos cada, um por lote de criação com 60 dias, incluindo-se o tempo de criação (45 dias) mais o vazio sanitário (normalmente de 15 dias). Considerar-se-á, também, que na propriedade adotam-se cinco reutilizações da mesma cama na sucessão dos lotes.

Por apresentar alto teor de matéria seca, a cama de frango exige diluições em água da ordem de 1:10 (ressalta-se que por medida de economia de água, boa parte pode ser substituída pelo biofertilizante coletado na lagoa final – pós biodigestor, o qual apresenta baixo teor de sólidos). Para efeito de cálculos serão considerados somente os resultados obtidos nos tratamentos CFCSS e CFCSS + Caldo de cana 7% (tratamento que proporcionou os melhores resultados em produção de biogás), resultados apresentados e discutidos anteriormente nesta dissertação.

Na Figura 26 é apresentado o esquema de disposição dos cinco galpões com capacidade para alojamento de 20.000 aves cada um. Para se iniciar o processo de uso da cama e caldo em biodigestores é necessário que as primeiras cargas no sistema de biodigestão não provenham de cama com cinco reutilizações. Desta forma pode-se adotar que após o primeiro lote apenas um galpão tenha a retirada da cama de primeiro lote, neste exemplo retira-se a cama do galpão 1 e deixam-se as camas dos galpões de 2 a 5 para o segundo lote de criação. Após o segundo lote de criação retira-se apenas a cama do galpão dois (cama de dois lotes de criação), mantendo-se as camas dos galpões 1, 3, 4 e 5. Fazendo-se da mesma forma para os galpões 3, 4 e 5, após 300 dias o produtor poderá, a cada lote de criação, retirar cama de um galpão mantendo-se os outros para próximos lotes. Assim, constituir-se-á em substrato para carga no sistema de biodigestão anaeróbia, a cama obtida em um dos galpões, com cinco reutilizações, sendo esta cama dividida em 60 partes para que se façam as cargas diárias.

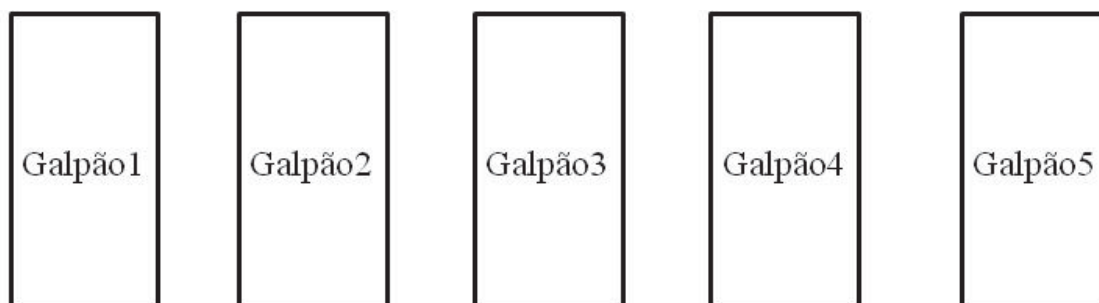


Figura 22. Esquema da disposição dos galpões - Aviários

4.4.1 Estimativa da produção de cama de frango em galpões em que se adotam cinco reutilizações

Fukayama (2008) utilizando cama de frango de casca de amendoim, obteve as produções de camas desde o primeiro até o quarto lote, sendo que no quarto lote obteve 5,39kg cama/ave. Analisando-se os resultados obtidos nos quatro lotes (acréscimo de cama lote a lote) é possível estimar-se que no quinto lote seriam obtidos 6,74 kg cama/ave, valor a ser adotado nos cálculos que serão efetuados a seguir:

$$\text{Produção de cama} = 20.000 \text{ aves} \times 6,74 \text{ kg cama/ave}$$

$$\text{Produção de cama} = 134.800 \text{ kg cama/}$$

4.4.2 Cálculo da quantidade de cama disponível para as cargas diárias

Para calcular a quantidade de cama de frango, para o abastecimento diário do biodigestor, utiliza-se o total de cama produzido em um galpão e o período de 60 dias entre lotes, como se segue:

$$\text{Disponibilidade diária de cama} = 134.800 \text{ kg cama} / 60 \text{ dias} = 2.246 \text{ kg/dia}$$

A carga diária será determinada pela quantidade de cama mais a água necessária para a diluição, na proporção 1:10.

Quantidade de água = 2.246 cama/dia x 10 = 22.466 kg de água/dia

Substrato antes da separação dos sólidos = 2.246 + 22.466 = 24.712 kg de substrato

Observou-se nos ensaios que a fração sólida retida na peneira constituía 20% da massa total, ou seja, 80% do total constituíam-se em carga do sistema de biodigestão.

Assim:

Carga diária = 24.712 x 0,8 = 19.769 kg substrato/dia (carga quando se adota CFCSS)

Se for adotado CFCSS + 7% de caldo de cana, tem-se:

Quantidade diária de caldo = 19.769 x 0,07 = 1.383 kg de caldo/dia

Carga diária com adição de caldo = 19.769 kg substrato/dia + 1.383 kg caldo/dia = 21.152 kg substrato com caldo

4.4.3 Cálculo da quantidade de resíduos de cama retidos no sistema de separação de sólidos

Quando se utiliza a separação das frações sólidas e líquidas, obtém-se um resíduo sólido, o qual não é encaminhado pra o sistema de biodigestão anaeróbia, porém constitui-se em excelente substrato para o processo de compostagem, produzindo-se um composto orgânico. Para o cálculo da quantidade de resíduo sólido a ser encaminhado pra compostagem, adotar-se-á a quantidade de substrato antes da separação de sólidos e a taxa de 20% (fração retida). Assim:

Resíduo sólido = 24.712 kg de substrato x 0,2 = 4.942 kg de resíduo sólido/dia.

4.4.4. Cálculo do volume do biodigestor e lagoa para o sistema biodigestão anaeróbia (5 galpões com 20.000 aves cada)

O volume do biodigestor e da lagoa para armazenamento do biofertilizante será determinado pela carga diária e pelo tempo de retenção hidráulica (TRH). Adotar-se-á TRH de 30 dias para o biodigestor e 15 dias para a lagoa. Assim:

Volume útil do biodigestor/lagoa = carga diária x TRH

Volume útil do biodigestor = $19.769 \times 30 = 593.070$ L ou 600m^3 para CFCSS

Volume útil da lagoa = $19.769 \times 15 = 296.535$ L ou 300m^3 para CFCSS

Volume útil do biodigestor = $21.152 \times 30 = 634.560$ L ou 650m^3 para CFCSS+7% de caldo

Volume útil da lagoa = $21.152 \times 15 = 317.280$ L ou 350m^3 para CFCSS+7% de caldo

4.4.5 Estimativa de área necessária para o plantio da cana de açúcar.

Estimando a produtividade de cana-de-açúcar Kaneko (2009), considerando 5 cortes, obteve produtividades médias de 120, 95, 85, 75 e 60 toneladas por hectare, para o 1º, 2º, 3º, 4º e 5º cortes, respectivamente, com média de 87 t/ha.

O rendimento médio de caldo produzido pela moagem varia em função de um conjunto de fatores, podendo-se destacar o teor de fibra da cana, assim como da moenda utilizada para extração. Estima-se em uma tonelada de cana-de-açúcar moída consegue-se extrair aproximadamente 750L de caldo(COLEN, 2003). Assim:

Quantidade diária de cana-de-açúcar = quantidade diária de caldo / rendimento em caldo

Quantidade diária de cana-de-açúcar = $1.383 / 750 = 1,84$ t

Para o cálculo da área adotar-se-á a produtividade mínima de 60t/ha. Assim:

Área necessária por dia = produtividade diária/produtividade total

Área necessária por dia = $1,84 / 60 = 0,031$ ha

Área necessária considerando-se o ano todo de carga no sistema de biodigestão anaeróbia:

Área = $365 \times 0,031 = 11,32$ ha

4.4.6 Estimativa de produção de metano para CFCSS e CFCSS + 7% de caldo de cana

Produção de litros de metano nos tratamentos CFCSS e CFCSS + 7% de caldo de cana, para cada lote de criação

Calculo para o tratamento CFCSS

1.930 kg de substrato/dia _____ 0,01476 m³ de metano/dia

19.769 kg de substrato/dia _____ X

X = 151,2 m³ de metano/dia

Calculo para o tratamento CFCSS + 7% de caldo de cana

1.930 kg de substrato/dia _____ 0,0323 m³ de metano

21.152 kg de substrato/dia _____ X

X = 353,9 m³ de metano/dia

5 CONCLUSÕES

De acordo com os dados apresentados, conclui-se que a inclusão de caldo de cana, no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frangos, foi eficaz para a produção de biogás e metano.

A inclusão de 7% de caldo no substrato permitiu os maiores potenciais para a produção de biogás.

Para as concentrações de macronutrientes para o efluente dos tratamentos sem adição de caldo e os com caldo de cana 5 e 7%, observou-se que em relação a N, P e K, o tratamento que recebeu caldo de cana a 5 %, foi o que apresentou maiores concentrações. Desta forma, a inclusão de caldo de cana pode ser recomendada para que se tenha maiores eficiências no processo.

6 REFERÊNCIAS

AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington, DC, 1998. 937 p.

AVISITE. No 1º trimestre, frango respondeu por 69% do volume e por 52% da receita cambial das carnes. Disponível em:
<<http://www.avisite.com.br/noticias/default.asp?codnoticia=12029>>. Acesso em: 17 mar. 2011.

AVISITE. FAO: em 2010, produção mundial de carnes avícolas cresce 3%; no Brasil, quase 5%. 2010. Disponível em:
<<http://www.avisite.com.br/noticias/maisnotss.asp?codnoticia=10686&codCategoria=&Mes=1&Ano=2010>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

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

BATISTA, L. F. **Construção e operação de biodigestores**. Brasília, DF: EMBRATER, 1981. 26 p. (Manual técnico).

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

CARVALHO, T. B. **Estudo da elasticidade-renda da demanda de carne bovina, suína e de frango no Brasil**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA; UFMG, 1997. 246 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Gestão de resíduos e produtos perigosos: tratamento. Resolução n. 5, de 5 de agosto de 1993. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/porta/web/hp/9/docs/rsulegis_03.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2011.

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, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

COLEN, F. **Potencial energético do caldo de cana-de-açúcar como substrato em reator UASB**. 2003. 85 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Trabalhos...** Campinas: UNICAMP; SBEA, 2002. 1 CD-ROM.

FERNÁNDEZ, A.; SÁNCHEZ, A.; FONT, X. Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. **Biochemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 26, p. 22-28, 2005.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GARCIA, L. A. F.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. Economias de escala na produção de frangos de corte no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 465-483, 2005.

GÓMEZ, X. et al. Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes: conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate. **Renewable Energy**, Schenectady, v. 31, n. 2, p. 2017-2024, 2006.

- HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas.** 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar.** 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Energia)-Universidade Federal do ABC, Santo André, 2009.
- HILL, D. T. Methane gas production from dairy manure at high solids concentration. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 23, n. 1, p. 122-126, 1980.
- KANEKO, F. H. et al. Análise econômica da produção de cana-de-açúcar considerando-se a terceirização das operações agrícolas: o caso de um produtor. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 266-270, 2009.
- LIMA, H. Q. **Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos.** 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- MALAVOLTA, E. et al. Micronutrientes, uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. da. **Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: PATAFOS; CNPq. 1989. p. 1- 33.
- MATTER, J. M. et al. Co-digestão de resíduos de incubatório e águas residuárias agroindustriais: fase batelada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. Concórdia: SBERA, 2011. v. 2. p. 1-4.
- NOGUEIRA, L. A. **Biodigestão: a alternativa energética.** São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.
- PAGANINI, J. F. Produção de frangos de corte. In: MENDES, A.; NAAS, I. A.; MACARI, M. (Orgs.). **Manejo da cana.** Campinas: FACTA, 2004. v. 1, p. 107-116.
- PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores.** 2010. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- PATZA, E. **Aplicação de modelos matemáticos para definição de parâmetros hidráulicos e cinéticos de tanques sépticos.** 2006. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SANTOS, T. M. B. **Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frango de corte.** 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

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.

SAS INSTITUTE. SAS version 9.1. Cary: SAS Institute, 2003. 1 CD-ROM.

SILVEIRA, G. S. **Estudo de co-digestão anaeróbia de lamas domésticas com o efluente da indústria da fermentação da levedura do pão da empresa Mauri fermentos**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)-Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

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

TEIXEIRA, E. C.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Estrutura de oferta e de demanda derivada da produção de frangos de corte no Brasil a partir de uma função lucro translog. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. p. 1-21.

UMEBARA, T. **Microfiltração de caldo de cana: caracterização do caldo permeado e retentado**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=UNICA%20em%20açã&SubSecao=cana-de-açúcar>>. Acesso em: 10 out. 2011.

XAVIER, A. N. C. **Caldo de cana-de-açúcar na biodigestão anaeróbia com dejetos de vacas em lactação sob diferentes dietas**. 2009.102 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

7 Apêndice

A Figura A1 apresenta a produção de biogás durante todo período experimental, sendo na parte pontilhada foi quando passou a abastecer os biodigestores com CFCSS + caldo de cana 7%, a produção de biogás aumentou, enquanto no tratamento controle observa-se que houve uma queda na produção de biogás.

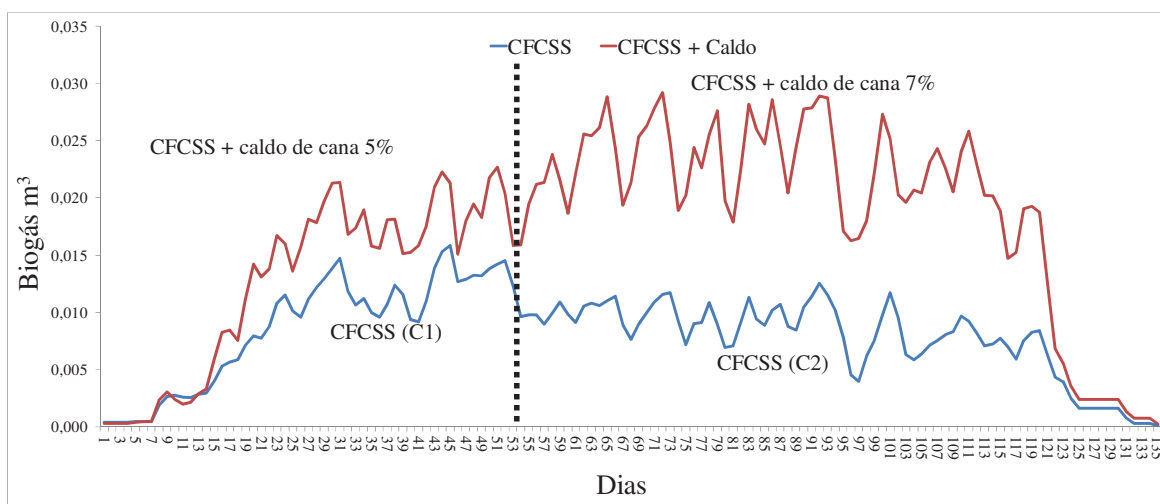


Figura A1. Distribuição da produção de biogás em todo período dos biodigestores abastecidos, para todos os tratamentos.