

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA O
PRÉ-PROCESSAMENTO DA CAMA DE FRANGOS DE
CORTE DESTINADA A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA E
COMPOSTAGEM “IN-VESSEL”**

Airon Magno Aires
Zootecnista

JABOTICABAL, SÃO PAULO - BRASIL

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA O
PRÉ-PROCESSAMENTO DA CAMA DE FRANGOS DE
CORTE DESTINADA A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA E
COMPOSTAGEM “IN-VESSEL”**

Airon Magno Aires

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, UNESP como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

JABOTICABAL, SÃO PAULO - BRASIL

2012

A298d Aires, Airon Magno
Desenvolvimento de um sistema para o pré-processamento da
cama de frangos de corte destinada a biodigestão anaeróbia e
compostagem "in-vessel" / Airon Magno Aires. -- Jaboticabal, 2012
viii, 143 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012

Orientador: Jorge de Lucas Junior

Banca examinadora: Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa;
Adriane Andrade Silva; Maria Inez Espagnoli Geraldo Martins; Teresa
Cristina Tarlé Pissarra

Bibliografia

1. Planta de Biogás. 2. Biodigestor. 3. Avicultura. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 662.76:636.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço
Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

E-mail: aironzootechnista@yahoo.com.br

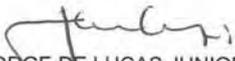
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

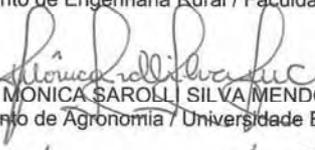
TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA O PRÉ-PROCESSAMENTO DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE DESTINADA A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA E COMPOSTAGEM "IN-VESSEL"

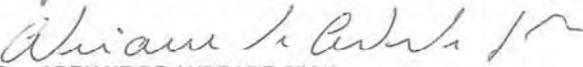
AUTOR: AIRON MAGNO AIRES

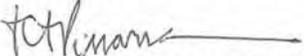
ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MONICA SAROLLI SILVA MENDONÇA COSTA
Departamento de Agronomia / Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Cascavel/PR


Profa. Dra. ADRIANE DE ANDRADE SILVA
Universidade Federal de Uberlândia / Instituto de Ciências Agrárias / Uberlândia/MG


Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MARIA INEZ ESPAGNOLI GERALDO MARTINS
Departamento de Economia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 21 de dezembro de 2012.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

AIRON MAGNO AIRES – nascido na cidade de Sorocaba-SP, aos 21 dias do mês de novembro do ano de 1980, filho de Roseli Narciso de Oliveira e Ivo Aires dos Santos. Em 1999 obteve a Habilitação Profissional de Processamento de dados pelo Instituto de Educação “Ciências e Letras”, Sorocaba-SP. Em Agosto de 2006, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul UEMS, Aquidauana-MS, onde obteve 2 bolsas de iniciação científica. Em fevereiro de 2009, concluiu o Mestrado na Pós-graduação em Zootecnia, junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, área de concentração em Produção Animal, onde obteve bolsa da CAPES, e desenvolveu projeto na área de biodigestão anaeróbia de cama de frangos de corte. No mesmo ano ingressou no Doutorado na UNESP de Jaboticabal, atuando na mesma área de concentração, onde obteve bolsa da CAPES seguida de bolsa Cnpq, que foi abdicada para exercício de docência em 2011, neste mesmo ano adquiriu bolsa de 2 empresas da área de tratamento de resíduos. Em 2011 ingressou na Especialização em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás, na Universidade Nacional da Integração Latina Americana, UNILA – Foz do Iguaçu-PR, com defesa marcada para março de 2013. Foi docente no período de 2010 a 2012 na Universidade de Araraquara – UNIARA, em Araraquara, lecionando disciplinas na área de Energia do Biogás, Biotermoelétricas e Usinas de Biodiesel e orientou dois alunos de graduação. Trabalha com consultoria de projetos para aproveitamento energético de resíduos agropecuários e agroindustriais, recuperação e uso energético de biogás gerado em locais de disposição de resíduos, compostagem de materiais orgânicos (windrow, static pile e in-vessel), fabricação de briquetes a partir de resíduos, manejo de dejetos, biodigestores, reatores, gestão de resíduos e sustentabilidade ambiental. Desenvolve trabalhos de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) na área de tecnologias para tratamento de resíduos agropecuários, industriais e urbanos. possui artigos científicos em periódicos especializados e mais de 45 trabalhos em anais de eventos de pesquisa nacionais e internacionais, participou de 22 projetos de Mestrado e Doutorado, na área de tratamento de resíduos, proferiu palestras nacionais e internacionais. Possui 12 cursos na área de informática, com domínio pleno na área: informática aplicada a gestão de resíduos, Windows / MS-DOS; Microsoft Office; internet / Corel Draw Graphics; Simulador de Potencial Bioenergético de Efluentes e Aterros; Formuladores de Rações; Calculador de Exigências Nutricionais; Clipper / Visual Basic; Pacote Estatístico SAS-V9; Prezi, etc.. Foi aprovado no Concurso Público da Secretária da Agricultura e Abastecimento-SP (Edital DRHU nº 34/2007), na Coordenadoria de Desenvolvimento dos Agronegócios, como Assistente Agropecuário I / Zootecnia (Resolução SAA nº 23, de 05/07, publicada no DOE de 06/07/2006), homologado no dia 18 de Outubro de 2007.

"Investir em conhecimento rende sempre os melhores juros"

(Benjamim Franklin, 1790 - Editor, filantropo, cientista)

"Nada neste mundo é tão poderoso como uma idéia que chegou no tempo certo"

(Victor-Marie Hugo, 1885 – Pensamento político - Escritor, poeta e político francês)

"Por onde quer que andeis, sempre deixeis uma imagem"

(Victor Narciso de Oliveira, 1997 – Conselho de avô – Inventor, artesão e poeta brasileiro)

Aos meus exemplos de vida,
meus pais, Ivo e Rose, que sempre com sorriso e amor,
estão presentes nas minhas conquistas, me ensinando,
me ajudando e me apoiando. Por tudo que significam em
minha vida, por toda confiança na realização do meu sonho
e por não medirem esforços para minha formação pessoal.
Agradeço por vocês terem me proporcionado o convívio com
os animais e com a vida do campo, isso ajudou a incentivar a
minha verdadeira vocação profissional. Muito Obrigado !!!

DEDICO

Aos meus espelhos,
meus avós, João e Carolina (*in memoriam*),
Victor e Iraídes, a ensinarem desde
pequeno o significado da vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e iluminar minha vida em todos os momentos e por me dar saúde, para que eu siga meu caminho.

À minha família, meu porto-seguro, que sempre me apoiou, independente da distância, sempre esteve presente, especialmente meus pais pelo apoio e incentivo em todas as decisões da minha vida, os quais sacrificaram o próprio pão para ofertá-lo a mim. Aos meus tios(as), primos(as), padrinhos e madrinhas, que sempre tiveram uma palavra amiga de incentivo, força e amizade. E as minhas queridas irmãs, Aieska e Aletéia, e sobrinhos Allison, Marcelinho e Murilo, e sobrinhas Cacá e Duda, por todo amor e carinho.

Aos meus avós que sempre me deram carinho, em especial ao meu avô Victor que além de exemplo de vida, é um poeta, um artista que encanta e lança seu perfume de sabedoria e amor sobre a nossa família... Obrigado.

A minha maravilhosa noiva Tatiana Champion por todo companheirismo, paciência, compreensão, carinho, ajuda, amor e força em todos os momentos. Admiro a sua ética profissional, suas condutas sempre me ensinam a ser uma pessoa melhor, obrigado por fazer parte da minha vida, eu te amo FOREVER !

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior, o qual tenho como um pai aqui em Jaboticabal, por sua paciência, ensinamentos, convívio, amizade, confiança, exemplo de profissionalismo, amor à profissão e principalmente pelo incentivo a pesquisa, muito obrigado !

Ao grupo de pesquisa que formamos no laboratório, em especial aos estagiários: Eng° Gabriel, Eng° Julio, Eng° Douglas , Alberto, Robinho, Eng° James, Vinicius e meu amigo Paulo Portuga. Agradeço por toda ajuda na condução dos experimentos e análises laboratoriais. Seria muito difícil concluir esta Tese sem ajuda de vocês ! Saibam que admiro o profissionalismo de cada um. Minha eterna gratidão a todos !

Aos membros da qualificação e defesa, Prof. Dr. Ademar Pitelli Milani, Profa. Dra.Teresa Cristina Tarlé Pissarra Prof. Dr. Ruben Pablo Schocken-Iturrino, Profa. Dra. Maria Inez Espagnoli Geraldo Martins, Profa. Dra. Adriane De Andrade Silva e Profa.

Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa pelas contribuições prestadas a este trabalho.

A todos os funcionários do Depto de Engº Rural (Lui zinho, Ailton, Primo, Marquinho, Cido, Maranhão, Torto, Tião, Fiapo, Luís Fiapo, Luís Cláudio, Carlão, David e Sílvia) do setor de Avicultura (Robson, Vicente, Izildo e João), todos foram fundamentais no suporte deste trabalho e na minha vida profissional. Cada um sabe o quanto foram significantes para mim.

Aos amigos da UNESP que de alguma forma me ajudaram a realizar este trabalho. E a todos que mesmo à distância, me deram suporte e apoio em toda esta jornada, em especial a meu amigo Diego.

Aos meus senseis de Judô em Jaboticabal, Lincoln Ortolani, Rodrigo “babão”, Weslen, Marcelo “Fogo” e Cacá, pelos ensinamentos e princípios orientais do judô e jiu-jitsu, contribuindo para o fortalecimento do meu caráter, a busca da minha serenidade e da simplicidade, minha gratidão ! Em especial, a um grande amigo que fiz no judô, meu companheiro de treino, Tiagão.

A Empresa Saad Bioenergy, Stilnox, Bioexx, EletroAves, Granja São José Canalli, todas contribuíram para que meu sonho se realizasse, muito obrigado a todas. Em especial aos profissionais que me cercaram de conhecimento, amizade e ajuda: Engº Sergio Waldenmeyer, Engº Marcos Spiri, Engº Gi lberto, Engº Brás, Engº Clovis e a meus amigos e parceiros profissionais, Engº Micha l Kozlowski e Bruno Fonseca, pela contribuição no desenvolvimento de todo o projeto, principalmente aos meus pais, que me ajudaram nas horas difíceis, Muito Obrigado !!!

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV - UNESP, campus de Jaboticabal e ao programa de Pós-graduação do curso de Zootecnia pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

À CAPES e CNPQ pela concessão de bolsa de Doutorado.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
Resumo	vii
Abstract	viii
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	01
1.1. Introdução	01
1.2. Revisão de Literatura	04
1.2.1. Problemas ambientais relacionados à cama de frango de corte	04
1.2.2. Produção de biogás e biodigestão anaeróbia	06
1.2.3. Pré-tratamento da cama de frango para biodigestão anaeróbia	08
1.2.4. Fundamentação do processo de compostagem	10
1.2.5. Compostagem “in-vessel” de aves mortas	13
1.3. Objetivos Gerais	18
1.4. Estrutura da Tese	19
CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE PRÉ-PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA EM ESCALA PILOTO PARA DILUIÇÃO E SEPARAÇÃO DE FRAÇÕES SÓLIDA E LÍQUIDA DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE	20
Resumo	20
Abstract	21
2.1. Introdução	22
2.2. Material e Métodos	23
2.2.1. Desenvolvimento do pré-processo em escala piloto para biodigestão anaeróbia	24

2.2.2. Delineamento do teste de diluições	24
2.2.3. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis	26
2.2.4. Digestão e quantificação dos minerais	26
2.2.5. Teor de carbono orgânico e matéria orgânica compostável	26
2.2.6. Análise estatística dos dados	26
2.3. Resultados e Discussão	27
2.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis	27
2.3.2. Desempenho do pré-processamento da cama de frangos de corte	29
2.3.3. Concentração de nutrientes	31
2.3.3.1. Concentração de nutrientes das diferentes frações	31
2.4. Conclusões	35
CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DE PRÉ-PROCESSO EM ESCALA PILOTO PARA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES FRAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE EM SISTEMA BATELADA	36
Resumo	36
Abstract	37
3.1. Introdução	38
3.2. Material e Métodos	39
3.2.1. Delineamento do ensaio de biodigestão anaeróbia	39
3.2.2. Descrição dos biodigestores batelada	40
3.2.3. Preparo da fração líquida	40
3.2.4. Preparo do inóculo	40
3.2.5. Preparo do substrato	40
3.2.6. Dados meteorológicos do período experimental	41
3.2.7. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis	41
3.2.8. Digestão e quantificação dos minerais	42
3.2.9. Determinação da produção de biogás	42
3.2.10. Teste de queima	42

3.2.11. Determinação dos teores de metano, dióxido de carbono e outros gases	43
3.2.12. Análise estatística dos dados	43
3.3. Resultados e Discussão	43
3.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis	43
3.3.1.1. Teores de sólidos totais e voláteis do material utilizado na carga	43
3.3.1.2. Teores de sólidos totais e voláteis dos substratos	44
3.3.2. Concentração de nutrientes	45
3.3.2.1. Concentração de nutrientes dos materiais utilizados na carga	45
3.3.2.2. Concentração de nutrientes dos afluentes e efluentes	46
3.3.3. Produção de biogás dos biodigestores batelada	47
3.4. Conclusões	52
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE PRÉ-PROCESSO PARA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM DIFERENTES TEMPOS DE RETENÇÃO HIDRÁULICA OPERADOS EM SISTEMA CONTÍNUO	53
Resumo	53
Abstract	54
4.1. Introdução	55
4.2. Material e Métodos	56
4.2.1. Delineamento do ensaio de biodigestão anaeróbia	56
4.2.2. Preparo da fração líquida da cama de frango de corte	57
4.2.3. Preparo do inóculo	58
4.2.4. Preparo do substrato	58
4.2.5. Preparo das cargas e coletas de efluentes	58
4.2.6. Dados meteorológicos do período experimental	59
4.2.7. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis	59
4.2.8. Digestão e quantificação dos minerais	59

4.2.9. Determinação da produção de biogás	60
4.2.10. Teste de queima	60
4.2.11. Determinação dos teores de metano e dióxido de carbono e outros gases	60
4.2.12. Análise estatística dos dados	61
4.3. Resultados e Discussão	61
4.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis	61
4.3.1.1. Teores de sólidos totais e voláteis do material utilizado na carga	61
4.3.2. Concentração de nutrientes	63
4.3.2.1. Concentração de nutrientes dos materiais utilizado na carga	63
4.3.2.2. Concentração de nutrientes dos afluentes e efluentes	64
4.3.3. Produção de biogás dos biodigestores contínuos	65
4.4. Conclusões	69
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTÓTIPO DE COMPOSTAGEM “IN-VESSEL” DE AVES MORTAS	70
Resumo	70
Abstract	71
5.1. Introdução	72
5.2. Material e Métodos	73
5.2.1. Desenvolvimento do protótipo para compostagem “in-vessel”	73
5.2.2. Delineamento do ensaio experimental de compostagem “in-vessel”	76
5.2.3. Materiais utilizados na compostagem, montagem e monitoramento do reator (temperatura, umidade e peso)	76
5.2.4. Determinação dos valores de pH, alcalinidade e ácidos voláteis totais	77
5.2.5. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis	78
5.2.6. Digestão e quantificação de minerais	78

5.2.7. Teor de carbono orgânico e matéria orgânica compostável	78
5.2.8. Produção de biogás dos reatores de compostagem “in-vessel”	78
5.2.9. Análise estatística dos dados	79
5.3. Resultados e Discussão	79
5.3.1. Temperatura interna dos reatores, ambiente e do “banho maria”	79
5.3.2. Valores de pH, Alcalinidade e Ácidos Voláteis	81
5.3.3. Teores de sólidos totais e voláteis do material utilizado na carga	83
5.3.4. Pesagens, sólidos totais e voláteis da entrada e saída do reator e da leira	84
5.3.5. Teores de macro e micronutrientes da leira	85
5.3.6. Produção de biogás dos reatores de compostagem “in-vessel”	86
5.4 Conclusões	88
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DE FLUXO DE CAIXA EM ESTIMATIVA ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UNIDADE DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE GRANJAS AVÍCOLAS	89
Resumo.....	89
Abstract.....	90
6.1. Introdução	91
6.2. Material e Métodos	93
6.2.1. Método estrutural de análise econômica	94
6.2.1.1. - 1º Etapa: Análise de benefícios	94
6.2.1.2. - 2º Etapa: Análise de custos	94
6.2.1.3. - 3ª Etapa: Análise econômica	95
6.2.1.3.2. Estimativa dos Indicadores de rentabilidade econômica	95
6.2.1.3.2.1. Fluxo de caixa descontado (FCD)	96
6.2.1.3.2.2. Taxa mínima de atratividade e retorno (TMAR)	96

6.2.1.3.2.3. Valor presente líquido (VPL)	96
6.2.1.3.2.4. Taxa interna de retorno (TIR)	96
6.2.1.3.2.5. Relação benefício-custo (RBC)	96
6.2.1.3.2.6. Cálculo do “payback” simples (PBS)	96
6.2.1.3.2.6. Cálculo do “payback” descontado (PBD)	96
6.3. Resultados e Discussão	97
6.3.1. 1º Etapa: Análise de benefícios	97
6.3.2. 2º Etapa: Análise das despesas operacionais	101
6.2.3. 3ª Etapa: Análise econômica	107
6.4 Conclusões	110
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
APÊNDICES	129

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA O PRÉ-PROCESSAMENTO DA CAMA DE FRANGOS DE CORTE DESTINADA A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA E COMPOSTAGEM “IN-VESSEL”

RESUMO: Objetivou-se avaliar o desempenho de um equipamento de pré-processamento de cama de frangos de corte (CF), para avaliar as diluições de CF + água, em relação a teor de sólidos e o efeito da CF, da fração líquida (FL), da fração sólida (FS) na biodigestão anaeróbia (BA) utilizando biodigestores batelada e contínuos em diferentes tempos de retenção hidráulica. O desempenho da CF, da FS do pré-processamento e da carcaça de aves, foram avaliadas (produção de biogás e adubo orgânico) em um protótipo de compostagem “in-vessel”. Foram dimensionados plantas de biogás, para análise de viabilidade econômica de unidades de tratamento e aproveitamento energético de resíduos avícolas. O pré-processamento se mostrou adequado para utilização em unidades de tratamento e aproveitamento energético da cama de frangos de corte, concentrando alguns nutrientes, em especial o nitrogênio e o carbono, apresentando resultados de sólidos totais interessantes para BA da FL, nas diluições de 1:5 a 1:10 (CF+Água). O pré-processamento proporciona 0,418 m³/kg SV_{adic}, caso seja realizado a separação de sólidos e a BA das FL e FS separadas, o que representa 55,3 % acima do valor obtido sem a separação de frações (0,231 m³/kg SV). O tempo de retenção hidráulica de 24 dias apresentou maiores produções de biogás (0,443 m³/kgST ou 0,504 m³/kgSV_{adic}), indicando que quanto menor o tempo de retenção hidráulica da fração líquida nos biodigestores contínuos, maiores serão os ganhos com biogás. O protótipo foi eficiente no tratamento acelerado dos resíduos de carcaça de aves, cama de frango e fração sólida. A inclusão de passos anaeróbios no processo de compostagem aumentou a velocidade de degradação da matéria orgânica (82,88 % ST), diminuindo o tempo de tratamento do resíduo, o qual pode ser tratado em 30 dia, horas de operação (22,95 % de metano). Enfim, existe viabilidade econômica para instalação de plantas de biogás em granjas com dois e quatro galpões de frangos de corte, com “payback” em 6,2 e 3,6 anos, respectivamente. Os valores do biodigestor e do grupo gerador são responsáveis por cerca de 40 a 49 % do investimento inicial da planta de biogás, o que interfere potencialmente nos indicadores econômicos.

Palavras-Chave: biogás, peneiras, biodigestor, dejetos, carcaça de aves.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR PRE-PROCESSING OF LITTER POULTRY INTENDED TO BIODIGESTION ANAEROBIC COMPOSTING AND "IN-VESSEL"

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the performance of a hardware preprocessor litter poultry (CF) to evaluate the water dilutions + CF, compared to solids and the effect of CF, the liquid fraction (FL), the solid fraction (SF) in anaerobic digestion (BA) using continuous and batch digesters at different hydraulic retention times. The performance of CF, the FS preprocessing and poultry carcasses were evaluated (biogas and organic fertilizer) in a prototype composting "in-vessel". Were sized biogas plants, to analyze the economic feasibility of treatment units and energy recovery from poultry waste. The preprocessing is adequate for use in treatment units and energy recovery bed of broilers, concentrating some nutrients, especially nitrogen and carbon, presenting results of total solids of interest to BA FL, at dilutions of 1:5 to 1:10 (CF + water). The preprocessor provides $0.418 \text{ m}^3/\text{kg SVadic}$, if carried out the separation of solids and BA separate FL and FS, which is 55.3% above the value obtained without separation of fractions ($0.231 \text{ m}^3/\text{kg VS}$). The hydraulic retention time of 24 days showed higher biogas production ($0.443 \text{ m}^3/\text{kgST}$ or $0.504 \text{ m}^3/\text{kgSVadic}$), indicating that the lower the hydraulic retention time of the liquid fraction in continuous digesters, the greater the gains from biogas. The prototype was effective in the treatment of accelerated waste of poultry carcasses, poultry litter and solid fraction. The inclusion of steps anaerobic in the composting process increased the rate of degradation of organic matter (82.88% ST), decreasing the treatment time of residue, which can be treated on 30 days, hours of operation (22.95% methane). Finally, there is the economic feasibility for installation of biogas plants on farms with two and four broiler sheds, with "payback" at 6.2 and 3.6 years, respectively. The values of the digester and generator are responsible for about 40 to 49% of the initial investment of biogas plant, which potentially interferes in economic indicators.

Keywords: biogas, screens, digester, manure, poultry carcasses

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Introdução

A utilização da biomassa para produção de energia é de especial importância nos países em desenvolvimento, principalmente no Brasil em que muitas regiões não dispõem de alternativas para geração de energia elétrica proveniente de fontes limpas. A queima da biomassa tradicional (lenha) é segundo a Organização das Nações Unidas - ONU, utilizada como fonte de energia para cocção e aquecimento de ambientes por mais de 3 bilhões de pessoas. Contudo, segundo a Organização Mundial da Saúde - OMS, a utilização da lenha, causa emissão de fumaça, fuligem e gases (como o monóxido de carbono) no ambiente, aumentando o efeito estufa e impactos negativos à saúde humana (pneumonia, enfisema, catarata, câncer de pulmão, bronquite e doenças cardiovasculares), com mortalidade de quase 2 milhões de pessoas por ano, sobretudo mulheres e crianças.

Com a elevação crescente dos preços dos principais insumos energéticos, a utilização de combustíveis de natureza fóssil tem se tornado extremamente cara (ABBASI e ABBASI, 2010). Considerando a vocação avícola do Brasil e o crescente aumento de granjas automatizadas (maior consumo energético), verifica-se que há um potencial para geração de biogás, em função das condições climáticas, e grande geração de cama de aviário, juntamente com outras formas de energia relacionadas à biomassa, constituindo-se em importante alternativa de fornecimento de energia às propriedades avícolas, contribuindo para sustentabilidade da cadeia produtiva.

Outra possibilidade que se abre para o setor avícola relaciona-se com um projeto piloto desenvolvido ao longo de 2008, o qual realiza a comercialização de energia elétrica provinda de dejetos de animais, para rede pública de energia com respaldo em autorização concedida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Em janeiro de 2009, ocorreu a primeira chamada pública no Brasil, para compra dessa energia produzida com biogás. O objetivo foi de adquirir a energia elétrica produzida

em instalações com no máximo 300 kw (quilowatts) de potência instalada cada, até atingir um limite de 3 mil kw no total. Com essa potência, seria possível atender aproximadamente 600 residências de padrão médio de consumo. O resultado dessa chamada pública foi a contratação de seis empresas (granjas de suínos, abatedouro e indústria de processamento de leite) que geram de 20 a 240 kw com preço de venda de até R\$ 129,72/MWh. E no primeiro semestre de 2012, estas unidades geradoras de energia, receberam um aumento no valor pago pela mesma, chegando a R\$ 149,00/MWh.

No que se refere à utilização de energia elétrica e térmica, em granjas de aves, temos um grande caminho a ser percorrido, para uma aplicação prática à campo. Primeiramente, em função do principal destino das camas de aviário no passado, antes de 2005, era a venda para consumo como fonte de proteína para ruminantes, com a proibição de utilização na alimentação animal, o principal destino passou à ser a utilização como fertilizante orgânico. Na busca de alternativas para utilização desse resíduo, muitos produtores de frangos de corte, entusiasmados com a geração de energia em granjas de suínos, encontram nesta solução uma “luz” para os altos custos gerados na produção de aves.

Registra-se que em 2011 foram produzidos no Brasil 6,24 bilhões de pintos de corte, que resultaram a produção de 12,86 milhões de toneladas de carne, consagrando o Brasil como um dos maiores exportadores mundiais de carne de frango (ABEF, 2012; UBA, 2012). Considerando-se a produção média de cama de 2,19 kg por frango de corte na matéria natural (MN) (SANTOS e LUCAS JR., 2003) estima-se, portanto que em 2011 foram produzidos aproximadamente 13,66 bilhões de kg de cama de frango (MN). Portanto, se considerar as estimativas de produção de biogás de Aires (2009), essa quantidade de cama de frango tem um potencial de geração energética de 5,01 milhões de m³/biogás, o que pode se converter para 8,52 TW de energia elétrica.

À medida que a produção nacional de frangos aumenta, maiores quantidades de cama são geradas, sendo notória a necessidade eminente de se pensar nas possibilidades de manejo e destino adequado para este resíduo, para minimizar os impactos por ele causados quando dispostos em quantidades além da capacidade de

absorção do solo, ocorrendo à lixiviação para o lençol freático de poluentes orgânicos contendo carboidratos, proteínas e gorduras, além de hidrocarbonetos, tensoativos e defensivos agrícolas que também podem estar presentes (VON SPERLING, 1996). Segundo Güngör-Demirci e Demirer (2004), o excesso de nitrogênio e fósforo lixiviados do solo para corpos d'águas, promovem a eutrofização, pelo desenvolvimento exagerado de organismos fotossintéticos (algas), causando toxidade ao ambiente aquático bem como, prejuízos à qualidade da água para abastecimento urbano e industrial.

Uma das formas de combater esse problema é a biodigestão anaeróbia de excretas, através de diluição da cama de frangos de corte em água de chuva (reaproveitada) e posterior separação de frações sólida e líquida em peneiras, enviando a fração líquida para alimentar microorganismos metanogênicos, proporcionando várias vantagens como: conversão de resíduos orgânicos em gás metano (RAO et al., 2011), o qual pode ser usado diretamente como fonte energética; redução da emissão de amônia; controle de odores e o efluente da digestão anaeróbia, que pode ser utilizado como biofertilizante nas plantações, por ser fonte de vários minerais, além de contribuir para a rápida amortização dos custos da tecnologia instalada.

Segundo Chen et al., (2008), a eficácia da biodigestão anaeróbia, está relacionada com o nível de diluição do dejetos, para um nível de 0,5 à 3 % de sólidos totais. Neste sentido surgiram nas últimas décadas algumas pesquisas para avaliar a biodigestão anaeróbia de dejetos de aves com a finalidade de conhecer e otimizar a produção de biogás (JONES JR e OGDEN, 1984; WEBB e HAWKES, 1985; LUCAS JR et al., 1993; CHEN e SHYU, 1998; ITODO e AWULU, 1999; SANTOS, 2001; STEIL et al., 2002; AUGUSTO, 2007; AIRES, 2009; COSTA et al., 2012).

Para a biodigestão anaeróbia de cama de aviário, tem-se a opção de diluição simples da cama e mais recentemente, a separação das frações (FUKAYAMA, 2008). A nova opção de manejo de resíduos, a separação das frações sólidas e líquidas, tem o objetivo de promover destinos diferenciados dentro da propriedade, aonde a fração líquida possui o destino da biodigestão anaeróbia e a fração sólida a compostagem tradicional, e com aves mortas (AIRES, 2009).

Além destas, outras vantagens da biodigestão anaeróbia podem ser citadas como: a contribuição para a mitigação das emissões de gases estufa como o CH₄; a conservação de áreas destinadas a aterro de aves mortas, diminuindo o acúmulo de metais no solo, além da lixiviação dos mesmos para o lençol freático; alterações nas relações familiares e sociais nas camadas de baixa renda em função do fornecimento de energia de baixo custo e todas as benéficas consequências; influência na balança comercial do país pela substituição de combustíveis fósseis e redução dos consequentes impostos; minora distorções de mercado referentes a práticas monopolistas do setor energético em função da autossuficiência que propicia; a atuação como um mecanismo de segurança para o sistema regional ou local de geração e distribuição de energia e a geração de empregos (FUKAYAMA, 2008).

Por fim, urge a necessidade de projetos de unidades de tratamento e aproveitamento energético de cama de frango e carcaças de aves no sistema de produção em escala industrial, para produtores com diferentes capacidades. Essa demanda de mercado, já é visualizada há três décadas, em função do aumento da tecnificação e automação constante ao longo deste período, o que aumentam os custos energéticos de criação e diminuem as margens de lucratividade dos empreendimentos.

1.2. Revisão de Literatura

1.2.1. Problemas ambientais relacionados à cama de frango de corte

O problema ambiental que vem recebendo atenção especial nos últimos anos, não apenas no que se refere à avicultura, mas a produção animal em geral é o alto potencial de emissão de gases de efeito estufa proveniente da degradação dos dejetos em locais inapropriados (YETILMEZSOY E SAKAR, 2008). Segundo a UNFCCC (2008) 20% das emissões mundiais de gases de efeito estufa são provenientes das atividades agropecuárias, sendo que em alguns países a contribuição podem exceder 50% da sua emissão total (UNFCCC, 2009), onde o metano (produzido durante a degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio) e o óxido nitroso (produzido em meios anaeróbios

utilizando os compostos nitrogenados de natureza orgânica ou inorgânica) os principais gases envolvidos. Estes gases impedem a saída da radiação solar que é refletida na superfície da Terra para o espaço contribuindo assim para o aumento da temperatura global.

Esses gases trazem grande preocupação devido ao seu tempo de vida na atmosfera e seu potencial de aquecimento global com relação ao CO₂ (o CO₂ é o principal gás do efeito estufa, por isso foi eleito como sendo índice 1 para o aquecimento global e os demais gases são comparados a ele). Segundo a UNFCCC (2008) a vida média desses gases na atmosfera seria de 12 anos para o CH₄ e 120 anos para o N₂O e os respectivos potenciais de aquecimento global de 21 e 310.

Uma forma de evitar a emissão destes gases seria a captação e posterior queima, onde o CH₄ e N₂O seriam transformados em CO₂ e N₂ após a queima, reduzindo assim a contribuição para o aquecimento global (UNFCCC, 2011).

Os resíduos da avicultura (cama de frango, dejetos de galinhas poedeiras, carcaças de aves, etc.), quando dispostos sem prévio tratamento, comprometem a qualidade do solo do ar e dos corpos d'água, com contaminação dos mananciais pelos microrganismos, toxidade a animais e plantas e depreciação do produto, porém com percepção, apenas em médio e longo prazo (ABOUELENIEN, 2010).

O direcionamento para cada uma dessas situações depende exclusivamente do manejo adotado que, quando bem conduzido, permite o aproveitamento quase que integral dos resíduos dentro das condições estabelecidas em cada propriedade (SANTOS, 2000).

A falta de disposição final adequada, da cama de frango no ambiente, lança a oportunidade da prática de utilização (velada), deste material constituído de excretas de aves e resíduos de atividades agrícolas, na alimentação de ruminantes (bovinos, bubalinos, ovinos e caprinos). Está prática comum e indiscriminada, pode veicular doenças que como o Botulismo e a Encefalopatia Espongiforme Bovina, popularmente conhecida como "Vaca Louca". De acordo com a Instrução Normativa nº 49 de 15 de setembro de 2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), é

proibida em todo território nacional a utilização de cama de frango na alimentação animal.

Enfim o poder poluente dos dejetos animais é extremamente alto, face ao elevado número de contaminantes que possui, cuja ação individual ou combinada, representa uma fonte potencial de contaminação e degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo. Estes fatos vêm exigindo a fixação de parâmetros de emissão cada vez mais rigorosos pela legislação ambiental, visando à preservação dos recursos naturais, do conforto e da saúde humana (STEIL et al., 2003).

É evidente a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias, que reciclem os resíduos gerados na avicultura, aproveitando toda a energia existente na cama de frango, assim como os nutrientes, porém de forma adequada, com perspectivas de mitigar o abuso ao ambiente (AIRES, 2009).

1.2.2. Produção de biogás e biodigestão anaeróbia

O biogás é o nome comum dado à mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica (GARBA, 1996; LASTELLA et al., 2002; YADVIKA et al., 2004).

Na forma como é produzido, o biogás é constituído basicamente de 60 a 70% de metano (CH_4) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO_2), além de traços de O_2 , N_2 , H_2S , etc., segundo Ruiz et al. (1992). Segundo Aires (2009), o CH_4 de cama de frango pode ser constituído de 70 a 80% e o CO_2 , de 20 a 30%, além de outros gases.

O processo biológico para produção de biogás ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos interage estreitamente para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando, principalmente, nos gases metano e dióxido de carbono (FORESTI et al., 1999). Segundo Lesteur et al. (2010), existem vários métodos disponíveis para o tratamento de resíduos orgânicos, mas a biodigestão anaeróbia deva ser uma abordagem mais promissora.

A biodigestão anaeróbia geralmente é dividida em três fases, hidrólise, acidogênese e metanogênese (THEMELIS E ULLOA, 2007). Porém, há autores que a

dividem em quatro fases, acrescentando a acetogênese, fase intermediária entre a acidogênese e a metanogênese (CAMARERO et al., 1996; STERLING et al., 2001; ANDALIB et al., 2011). Há ainda quem divida o processo nas fases de hidrólise, acetogênese e metanogênese (SHARMA et al., 2000).

A primeira fase da digestão anaeróbia é chamada de hidrólise e envolve a transformação mediada por enzimas extracelulares dos compostos insolúveis e dos compostos com alto peso molecular como carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucléicos em compostos solúveis mais simples como os monossacarídeos, os aminoácidos e os ácidos graxos. As bactérias que hidrolisam a matéria orgânica nessa primeira fase são facultativas e anaeróbias estritas (LI, 2009).

Na segunda fase, chamada de acidogênese, outro grupo de microrganismos transformam os produtos resultantes da fase anterior em ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono e outros ácidos orgânicos como o propiônico e o butírico que podem ser convertidos em ácido acético (LI, 2009).

Na terceira fase, na metanogênese o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos em uma mistura de metano e de dióxido de carbono pelas arqueias metanogênicas (dentre elas as que utilizam o acetato, *Methanosarcina spp.* e *Methanosaeta* e as que utilizam o formiato e o hidrogênio, *Methanobacterium spp.* e *Methanococcus spp.*) (RUIZ et al., 1992; GARBA, 1996; HESSAMI et al., 1996; HAMMAD et al., 1999; LASTELLA et al., 2002; LIU et al., 2002 ; ANDALIB et al., 2011)

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia depende, portanto, de condições ambientais específicas (nutrientes, temperatura, tempo de retenção hidráulica suficiente e outros) para que as diferentes populações de microrganismos possam crescer e se multiplicar (SINGH, S. e SINGH, S.K. 1996; YADVIKA et al., 2004; ANDALIB et al., 2011).

O uso do biogás traz ganhos econômicos devido à redução dos gastos com combustíveis, como também traz ganhos ambientais na troca de um combustível não renovável por um renovável e redução da contribuição da atividade para o aquecimento global (AIRES, 2009).

Por outro lado, o processo anaeróbio tem algumas desvantagens, tais como os tempos de retenção longos e eficiência de remoção baixa de compostos orgânicos (PARK et al., 2005). A composição química e uma estrutura de materiais lignocelulósicos, dificulta a taxa de biodegradação dos resíduos sólidos orgânicos.

Tem sido documentado que a hidrólise da matéria orgânica complexa de compostos solúveis é o passo limitante da velocidade de processos anaeróbios de resíduos, com um elevado teor de sólidos (CHULHWAN et al, 2005; MUMME et al, 2010). Conseqüentemente, várias características físicas, químicas, enzimáticas e pré-tratamentos são necessários para aumentar a solubilidade do substrato e acelerar a biodegradação (TORRES E LLORENS, 2008; CHARLES et al., 2009).

1.2.3. Pré-tratamento da cama de frango para biodigestão anaeróbia

Pode ser necessário que a cama tenha que sofrer um pré-tratamento antes de ser adicionado ao biodigestor, o mais indicado seria a moagem, pois as partículas de maravalha são muito grandes e isso pode diminuir a eficiência da atividade dos microrganismos. Em relação ao teor de umidade da cama, é necessária a adição de água para a diminuição do teor de sólidos e diluição do conteúdo. Se o teor de sólidos totais for muito alto, demandará um longo TRH dificultando a consorciação produção de biogás/avicultura (AIRES, 2009).

Segundo Lucas JR et al. (1993), há biomassas que apenas diluídas podem apresentar bons resultados no processo de digestão anaeróbia, com relativa facilidade de degradação, porém outras são mais difíceis de serem degradadas pelos microrganismos envolvidos no processo, apresentando degradação lenta e nesses casos, se faz necessária não apenas a diluição como também a inoculação.

Um dos problemas é a quantidade de material de difícil degradação existente em algumas camas de frangos, como por exemplo, a casca de amendoim, que por muitas vezes pode se tornar um empecilho para os microrganismos na bioconversão do carbono em biogás. Por isso, infere-se que o peneiramento em malha, desta fração grosseira existente na cama possa incrementar a produção de biogás e reduzir o

percentual de sólidos totais, antes da biodigestão anaeróbia, proporcionando uma diminuição do potencial poluidor desse resíduo no solo, na água e no ar (AIRES, 2009).

Existem várias formas de separar frações mais degradáveis de frações menos degradáveis. Para a água residuária, uma das formas mais comuns é a separação da fração sólida da fração líquida, por meio de peneiras de separação, tambores rotativos, centrifugação e decantação. A fração líquida possui maior quantidade de nutrientes solúveis, já na fração sólida maiores quantidades de frações insolúveis menos degradáveis como celulose, hemicelulose e lignina (AIRES, 2009).

O fato de a fração sólida possuir menor potencial de produção de biogás não implica que essa fração deva ser descartada do processo, a decisão vai depender da eficiência e a rapidez que se necessita para tratar os dejetos. Caso a decisão seja favorável à separação de sólidos será necessário um tratamento concomitante (compostagem), para que os resíduos sólidos sejam tratados, pois estes possuem um poder poluente elevado e necessitam de tratamento adequado antes de serem aplicados no meio ambiente (AIRES, 2009).

Segundo Moller et al. (2007a), a separação de sólidos é um método benéfico para o processo, pois aumenta a produção de metano por unidade de volume de biodigestor. Essa estratégia pode aumentar a economia de plantas de biogás, quando se tratam de dejetos com baixa produção de metano, em termos de volume (MOLLER et al. 2007b; CHEN et al., 2008).

Na Europa, esse processo de separação de sólidos ocorre após a biodigestão anaeróbia, em função de normativas da legislação local, com a finalidade de diminuir o percentual de sólidos que serão aplicados nos solos, em função da carga orgânica não decomposta. De acordo com Hjorth et al. (2010), são utilizados equipamentos de mecânicos de separação de sólidos com malhas, pois apresentam as melhores opções para eficiência de separação de frações com alta concentração de sólidos nas frações líquidas. Menardo et al. (2011), descobriu que a prensa de parafuso, recupera 73 % de sólidos totais na separação de dejetos já digeridos. Já rolos de compressão conseguem recuperar apenas 43 % de sólidos totais.

Já no Brasil, não há relatos de fabricação de equipamentos, em especificidade para o pré-processamento da cama de frangos de corte de forma completa, considerando a desaglomeração das partículas da cama de frango e a posterior separação de frações sólidas e líquidas, visto que este processo possui uma carga de inovação tecnológica agregada ao conceito de utilização da fração líquida em processos de biodigestão anaeróbia, a qual já foi analisada em diversas pesquisas na Universidade Estadual de São Paulo – UNESP de Jaboticabal (FUKAYAMA, 2008; AIRES et al., 2008a; AIRES et al., 2008b; AIRES, 2009; AIRES, et al., 2009; FUKAYAMA, et al., 2009a; FUKAYAMA et al., 2009b; FUKAYAMA et al., 2009c; FUKAYAMA et al., 2010a; FUKAYAMA et al., 2010b; FUKAYAMA et al., 2010c; AIRES et al., 2011a; AIRES et al., 2011b).

No entanto, para utilização do pré-processo, o meio deve apresentar boa capacidade de suporte para a atividade, o sistema de estabilização dos dejetos deverá ser o mais eficiente possível em permitir a ciclagem energética e orgânica/mineral na propriedade, resultando em menores custos de produção através de sistemas sustentáveis de produção. Por isso, o estudo da separação de sólidos, dos tempos de retenção hidráulica e do potencial de produção de biogás da cama de frangos de corte, permitirá a avaliação do potencial de geração de metano em cada tempo de retenção adotado.

1.2.4. Fundamentação do processo de compostagem

Segundo Kiehl (1985), compostagem é um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos transformados em um produto mais estável e utilizado como fertilizante, obtendo-se mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica. Para Carvalho (2001) a compostagem é um processo de bio-oxidação exotérmica, aeróbio, de um substrato orgânico sólido e heterogêneo obtendo como produto final água, gás carbônico, com simultânea liberação de matéria orgânica que estabiliza após a maturação.

Por definição, o composto orgânico é um material bioestabilizado, homogêneo, de odor não agressivo, coloração escura, rico em matéria orgânica, isento de

microrganismos patogênicos e o teor de nutrientes presentes no composto orgânico é determinado pelas matérias-primas que foram utilizadas no processo (IYENGAR E BHAVE, 2006). Tem capacidade de liberação lenta de macro e micronutrientes, excelente estruturador do solo, favorecendo rápido enraizamento das plantas e aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão (KIEHL, 1985; MELO et al., 1997).

A matéria orgânica presente no composto orgânico é responsável por algumas reações químicas que ocorrem no solo, como complexação dos elementos tóxicos e micronutrientes, influência na capacidade de troca catiônica e pH, além de fornecer nutrientes às plantas (CEZAR, 2001).

O processo de compostagem consiste em duas fases distintas: a primeira, fase termofílica, em que ocorre a máxima atividade microbiológica de degradação fazendo a temperatura permanecer elevada entre 45 e 65 °C (VITORINO e PEREIRA NETO, 1992). Tal condição causa a morte efetiva de patógenos e sementes de plantas invasoras (LEAL e MADRID de CAÑIZALES, 1998). Os microrganismos predominantes nesta fase são bactérias, em geral do gênero *Bacillus*, fungos e actinomicetos (PAUL, 1996).

Nesta fase o material apresenta a característica de fitotoxicidade, formando ácidos orgânicos, minerais e toxinas de curta duração. Se o material contiver mais nitrogênio (N) do que o necessário para que os microrganismos decomponham o resíduo, como no caso dos dejetos de galinhas poedeiras, este excesso pode ser eliminado na forma de amônia (KIEHL, 2002).

Após a fase termofílica, segue-se uma fase de abaixamento de temperatura, chegando a temperaturas próximas ao ambiente, quando se dá a bioestabilização da matéria orgânica e humificação e conseqüentemente a produção de um composto final, denominado composto orgânico (KIEHL, 1985).

No processo de compostagem, a matéria-prima é absolutamente heterogênea e tem seus componentes agrupados em moléculas de rápida degradação, como por exemplo, amido e hemicelulose, que são responsáveis pela rápida liberação de gás carbônico. Já as proteínas são hidrolisadas em peptídeos, aminoácidos e outros

produtos de transformação que se incorporam ao composto durante o processo de humificação. Os fragmentos da degradação da lignina dão origem à diferentes derivados que são moléculas de degradação lenta. Ao mesmo tempo, a lignina reage com o nitrogênio para formar moléculas de lignoproteínas e nitrogênio heterocíclico, que não são encontrados nos vegetais. Estas reações são realizadas por fungos lignolíticos, bactérias e actinomicetos (CARVALHO, 2001).

Os materiais a serem compostados geralmente apresentam-se com tamanhos de partículas completamente irregulares. A sua redução favorece o aumento da atividade bioquímica durante o processo de compostagem. Quanto mais fragmentado for o material, maior será a área superficial sujeita à ataques microbiológicos. Entretanto, a redução excessiva desse tamanho pode acarretar em falta de espaço para a entrada de ar, ocupação dos espaços vazios pela água e conseqüente anaerobiose indesejada. Em geral, as partículas do material inicial devem estar entre 25 e 75 mm, como sugeriu KIEHL (1985).

Das características químicas dos materiais, além do carbono, o nitrogênio é o principal elemento que caracteriza a matéria prima e sua presença em certo grau é uma garantia de que os outros nutrientes importantes, como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e micronutrientes, também estão presentes num grau proporcional. Por isso ao invés de se fazer uma análise dos teores de todos os elementos, determina-se o N em relação ao teor de C (relação C:N). Materiais ricos em N terão C:N baixa; materiais pobres em N terão C:N alta. Segundo KIEHL (2002), a relação ideal para os microrganismos decompositores fica entre 25/1 a 35/1.

Na prática, a aplicação dos dejetos como fertilizantes no solo, tem sido utilizada por muitos anos, pois possuem elementos químicos que podem constituir em nutrientes para o desenvolvimento das plantas, acreditando-se que o solo seja um filtro com capacidade quase ilimitada de absorver e depurar os resíduos nele adicionados (SEGANFREDO, 2000), mas para uso como fertilizante, o dejetos deve sofrer um processo de fermentação microbiológica, provocando a decomposição da matéria orgânica de forma aeróbia ou anaeróbia. A compostagem e a biodigestão anaeróbia são exemplos respectivos de cada uma dessas formas de decomposição controlada.

1.2.5. Compostagem “in-vessel” de resíduos orgânicos

A compostagem *in-vessel* tem sido uma opção atrativa para o tratamento de resíduos orgânicos em geral. Ao passo que, alguns tipos de compostagem, vêm se destacando, pelo rápido tratamento e diminuição considerável em relação à compostagem tradicional (KIM et al., 2008).

Existe na literatura a descrição de três tipos de compostagens, os sistemas de compostagem agrupam-se em três categorias (FERNANDES e SILVA, 2000):

a) Sistemas de leiras revolvidas tipo “windrow”, onde a mistura de resíduos é composta de leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos materiais e pela convecção do ar na massa do composto;

b) Sistema de leiras estáticas aceleradas tipo “static pile”, onde é realizada a mistura de resíduos em cima de tubulações perfuradas que injetam ou aspiram o ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras;

c) Sistemas fechados ou reatores biológicos tipo “In-vessel”. Os materiais são colocados dentro de sistemas fechados que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem, sendo esse, o único processo capaz de captar o biogás gerado.

Este tipo de compostagem, realizada em reatores biológicos “In-vessel”, oferece a possibilidade de maior controle sobre todos os parâmetros importantes para o processo, portanto, o ciclo da fase termófila é reduzido, o que em certos casos conferi, à compostagem em reatores, a denominação de “compostagem acelerada”. E devido á homogeneidade do meio, inclusive com relação à temperatura, a compostagem em reatores fechados, também é tida como mais eficiente no controle dos patógenos. Outra característica desta alternativa é a maior facilidade para controlar odores, pois o sistema é fechado, utilizando ou não a aeração controlada (FERNANDES e SILVA, 2000).

De acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 07 a 20 dias, o que faz com que o sistema demande menor espaço para sua implantação. A fase de aeração pressurizada

é geralmente de 06 dias e para digestão anaeróbia em fase termofílica ocorre em 07 dias, precedida de mais 07 dias de maturação (WALKER et al., 2009).

A aeração é feita sob pressão, em sistema fechado, o que facilita o monitoramento da taxa de aeração para adequá-la às necessidades do processo. No caso, pode ser medido o teor de oxigênio dos gases de saída do reator e quando a porcentagem de O_2 estiver próxima de 2%, aumenta-se a vazão de ar para impedir condições de anaerobiose. De modo geral os vários tipos de reatores, se enquadram em três grandes categorias:

- a) Reatores de fluxo vertical;
- b) Reatores de fluxo horizontal;
- c) Reatores de batelada (Figura 1).

Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo, sendo que o período de detenção é definido pela velocidade com que os resíduos percorrem o trajeto da entrada até a saída do reator (FERNANDES e SILVA, 2000).

No terceiro caso, o reator, recebe uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a fase termofílica chega ao seu final, o reator é aberto, descarregado em batelada, recomeçando-se o processo com novos resíduos frescos. O composto fica confinado no mesmo local, sem se deslocar. O reator geralmente é dotado de um sistema de agitação da massa de resíduos, que pode ser por rotação lenta do reator em torno de seu próprio eixo, ou por um sistema misturador interno. O revolvimento é necessário para limitar os caminhos preferenciais de passagem do ar, porem alguns modelos de reatores, por batelada, não são dotados deste dispositivo (FERNANDES e SILVA, 2000).

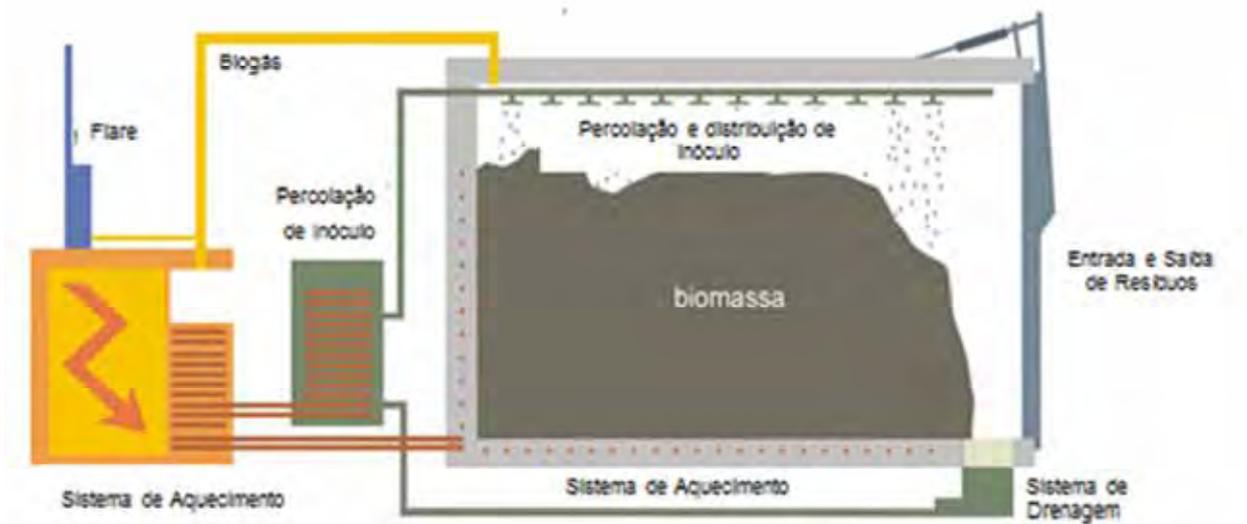


Figura 1. Processo de compostagem “in-vessel” para tratamento de resíduos orgânicos e captação de biogás utilizado na Europa. Fonte: (LUTZ, 2011).

O processo de compostagem “in-vessel” é segundo Lutz (2011), precedido de abastecimento de uma célula lacrada, contendo o substrato (resíduo a ser compostado), ocorrendo a pulverização de inóculo e drenagem do mesmo, para reciclo do líquido. O sistema possui controle de temperatura (média de 70°C e pH 7), sendo possível degradar a matéria orgânica em até 7 dias e maturá-lo em 30 dias.

O estabelecimento da temperatura ideal é um fator extremamente importante na digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, uma vez que influi na velocidade do metabolismo bacteriano e no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI et al., 1999). O efeito da temperatura sobre o processo de digestão anaeróbia tem sido estudado por diversos autores nas faixas psicrófila, abaixo de 20 °C (MASSÉ et al., 2003; MASSÉ e DROSTE, 2000), mesófila, entre 20 e 45 °C (BROUGHTON et al., 1998; CHEN e SHYU, 1998), e termófila, entre 50 e 70 °C (ÖZTÜRK, 1993; LEPISTO e RINTALA, 1996). Enfim o controle da faixa de temperatura, do pH, dos ácidos voláteis e da alcalinidade do processo de compostagem “in-vessel”, torna-se fundamental para o monitoramento e o controle dos parâmetros, que se estabelecerão como ideais.

Segundo Cekmecelioglu et al. (2005), dois tipos de sistemas de compostagem são amplamente aplicados: sistemas “in-vessel” e “windrow”. O “in-vessel” tem vantagens sobre o windrow: ele requer menores espaços para tratamento; permite um melhor controle de processo; envolve um sistema de alta eficiência.

Em estudo realizado por Walker et al. (2009), a inclusão de passos anaeróbios na compostagem “in-vessel”, aumentaram a velocidade de degradação, diminuindo o tempo de queima do biogás para 4 horas, em função do inóculo utilizado na fase anaeróbia de 12 dias. Porém o processo aeróbio se limitou, em função da porosidade do sólido, que conduz a uma limitação na disponibilidade de oxigênio. Outra limitação ocorreu na fase de hidrólise, com acumulação de metabolitos solúveis, dentre eles a amônia. Essa hidrólise aeróbia pode ser combatida pela inundação do reator, modificando as condições do reator para anaeróbias.

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

Embora essencial ao processo de biodegradação da matéria orgânica, o nitrogênio, pode tornar-se um fator inibitório quando em altas concentrações na forma de amônia. As concentrações do íon amônio (NH_4^+) e amônia livre (NH_3) são ditadas pelo pH, com altos valores de pH a forma NH_3 prevalece, tornando-se mais inibitória que a forma ionizada (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

Em estudo recente, Kim et al. (2008), desenvolveu a primeira planta piloto de compostagem “in-vessel” de resíduos orgânicos da cidade de Seoul/Korea (Figura 2).

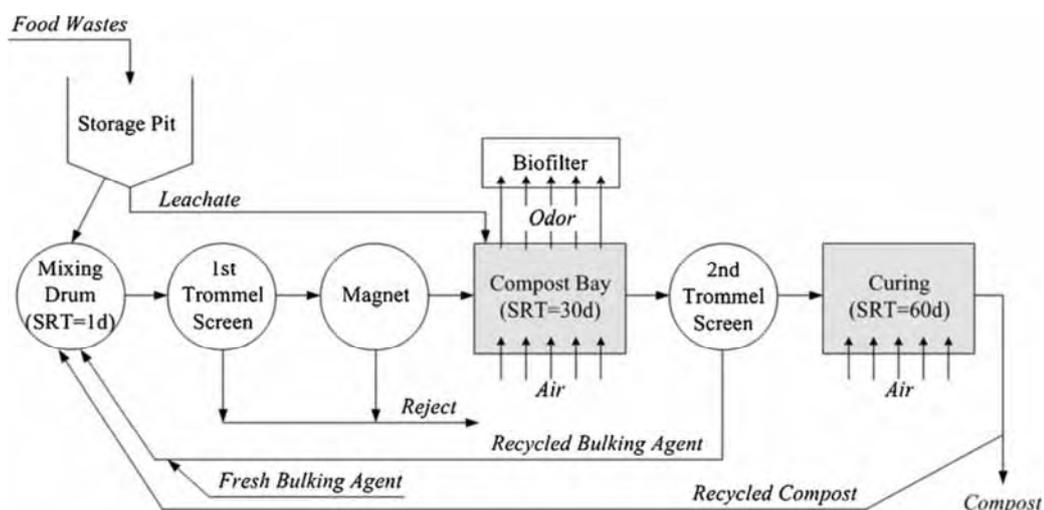


Figura 2. Diagrama esquemático da compostagem “in-vessel” em escala piloto.

Kim et al. (2008), utilizou uma compostagem “in-vessel” de fluxo horizontal, em sistema contínuo de abastecimento de substrato. O material orgânico armazenado, foi misturado a serragem com tempo de 24 horas de mistura e posterior separação em peneira “trommel” para retirada de materiais maiores que 5 cm de diâmetro. Foi utilizado um sistema magnético para retirada de materiais ferrosos. O tempo de retenção de sólidos no reator de compostagem é de 30 dias, com taxa de aeração com $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ min}$, para manutenção de oxigênio e temperatura no interior da leira. Em seguida o material é separado em peneira de 4,75 mm e posterior aeração durante a fase de maturação (60 dias). Nesse estudo, conclui-se que ocorre uma vigorosa concentração de microorganismos, em função do alto consumo de O_2 detectado, além disso, o composto final, apresentou índices estáveis de sólidos voláteis, carbono orgânico e relação C:N.

1.3. Objetivos Gerais

- Desenvolvimento de pré-processo em escala piloto, contendo tanques de agitação, homogeneização, peneiras estática e rotativa de separação de frações sólida e líquida e estrutura física de aporte de equipamentos;
- Avaliar a biodigestão anaeróbia da cama de frangos com separação de sólidos em dois tipos de biodigestores (batelada e contínuo).
- Avaliar a concentração de nutrientes de diferentes diluições de frações sólida e líquida, em afluentes e efluentes de biodigestão anaeróbia e em material compostado;
- Avaliar a redução de sólidos totais e voláteis dos resíduos gerados durante o processo de biodigestão anaeróbia e aeróbia (compostagem);
- Caracterizar qualitativa e quantitativamente os efeitos dos diferentes preparos na produção de biogás;
- Desenvolvimento de projeto para fabricação e análise de desempenho de protótipo demonstrador de conceito para compostagem “in-vessel” de aves mortas;
- Avaliação econômica da implantação de unidade de tratamento e aproveitamento energético de resíduos de granjas avícolas.

1.4. Estrutura da Tese

O desenvolvimento da Tese foi consolidado a partir da dissertação de mestrado, do autor, com embasamento nos processos de bancada utilizados em (AIRES, 2009).

No Capítulo 1 foi apresentado do problema, justificativa do estudo, revisão de bibliografia e objetivos.

Para iniciar os ensaios com biodigestão anaeróbia, foi necessária a fabricação e desenvolvimento de um pré-processo em escala comercial, para avaliação de testes de diluição e separação de frações sólida e líquida de cama de frangos de corte (Capítulo 2).

Com a diluição escolhida no Capítulo 2, foram realizados ensaios experimentais de biodigestão anaeróbia, com biodigestores em batelada para avaliar a diluição e a separação dos sólidos na produção de biogás, bem como a concentração de nutrientes do efluente (Capítulo 3).

Foram apresentados no Capítulo 4, ensaios realizados com biodigestores contínuos, utilizando a mesma avaliação do Capítulo anterior, utilizando diferentes tempos de retenção hidráulica.

Para o tratamento do resíduo sólido retido na peneira, foi desenvolvido um protótipo de compostagem “*in-vessel*” para biodegradação das carcaças de aves, mortas na produção de frangos de corte, sendo este descrito no Capítulo 5.

No Capítulo 6 são apresentadas implicações dos resultados obtidos nos Capítulos 4 e 5, demonstrando uma análise econômica, para implantação de uma “Unidade Modelo de Tratamento de Resíduos de Granjas Avícolas”, através de estimativas econômicas e bioconversões energéticas, encontradas pelos resultados dos ensaios experimentais e pelo confronto de dados captados no levantamento de custos de investimentos em uma Unidade Modelo.

O estabelecimento da estrutura da tese e das referências bibliográficas seguiram orientações constantes no volume quatro das Normas para Publicações da UNESP (UNESP, 2003) e ABNT (2002), respectivamente.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE PRÉ-PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA EM ESCALA PILOTO, PARA DILUIÇÃO E SEPARAÇÃO DE FRAÇÕES SÓLIDA E LÍQUIDA DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO: Avaliação do pré-processamento da cama de frangos de corte e caracterização das frações sólidas e líquidas para determinar maiores teores de sólidos totais em menores diluições com água. As camas de frangos foram diluídas em tanque de agitação na proporção de 100 litros de água para diferentes massas de cama de frangos de corte (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 kg) e separadas em peneira estática seguida de rotativa, com malha de 0,5 mm, nas seguintes proporções: 1:12; 1:11; 1:10; 1:9; 1:8; 1:7,7; 1:7,1; 1:6,7; 1:6,2; 1:5,9; 1:5,5; 1:5,3; 1:5 (kg de cama/L de água). O pré-processamento da cama de frangos, demonstrou vantagem na concentração de alguns nutrientes, em especial o nitrogênio e o carbono. O nitrogênio apresentou uma concentração na fração líquida após a separação de sólidos, já o carbono apresentou um menor percentual de carbono, porém com frações mais solúveis. As diluições de 1:5 à 1:10 (CF/água), apresentaram sólidos totais interessantes para biodigestão anaeróbia com platô de caracterização na as diluições 1:6,2 a 1:6,7, com valor de 0,74 kg/MS (ambos) na fração líquida + fração sólida. Enfim, o pré-processamento se mostrou adequado para utilização em unidades de tratamento e aproveitamento energético da cama de frangos de corte.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduos, peneira estática e rotativa, biogás, casca de amendoim

CHAPTER 2 - PRE- PROCESS IN ANAEROBIC BIODIGESTION PILOT SCALE, AND DILUTION TO SEPARATION OF SOLID AND LIQUID FRACTION OF LITTER OF POULTRY

ABSTRACT: Evaluation of preprocessing the litter poultry and characterization of solid and liquid fractions to determine higher total solids in lower dilutions with water. The beds chickens were diluted in stirred tank at a rate of 100 liters of water for different masses litter poultry (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 20 kg) and separated into static sieve followed by rotating with mesh of 0.5 mm under the following ratios: 1:12, 1:11, 1:10, 1:9, 1:8, 1:7,7 , 1:7,1, 1:6,7, 1:6,2, 1:5,9, 1:5,5, 1:5,3; 1:5 (kg litter poultry / L of water). The pre-processing of poultry litter demonstrated advantage in the concentration of some nutrients, especially nitrogen and carbon. Nitrogen showed a concentration in the liquid fraction after separation of solids, since carbon showed a lower percentage of carbon, but with more soluble fractions. The dilutions of 1:5 to 1:10 (CF / water) showed interesting for total solids anaerobic digestion to characterize the plateau dilutions 1:6,2 to 1:6,7, with a value of 0.74 kg / MS (both) in the liquid fraction + solid fraction. Anyway, preprocessing is adequate for use in treatment units and energy recovery litter poultry

KEYWORDS: recovery of waste, static and rotating sieve, biogas, peanut shell

2.1. Introdução

Com a crescente demanda pela produção de alimentos, a agropecuária vem acentuando sua participação nos impactos provocados ao ambiente, o que torna cada vez mais necessário o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis (AMORIM et al., 2004). Por isso hoje, a transformação de dejetos animais em formas de aproveitamento bioenergético, apresenta repercussão no setor agropecuário, surgindo um mercado paralelo, que transforma ativos ambientais em ativos financeiros.

Para que essa atividade de geração de energia, através dos dejetos engrene, são necessárias pesquisas e desenvolvimento em biodigestão anaeróbia e equipamentos em escala industrial. As novas tecnologias do mercado estão trabalhando com opções de manejo inovadoras, para o mercado de biodigestores tubular horizontal “plug-flow”, dentre elas a que se destaca é o, pré-processamento de cama de frango.

No pré-processamento é realizada a diluição da cama de frango em água e posterior separação das frações sólidas e líquidas, com destinos diferenciados dentro da propriedade. A fração líquida é usada na biodigestão anaeróbia e a fração sólida na compostagem. No entanto, para uma otimização do processo de biodigestão anaeróbia, esse substrato residual, a fração líquida, necessita de caracterização e padronização de sólidos totais e voláteis, para controle e garantia de desempenho do biodigestor.

De acordo com Chen et al., (2008), a eficácia da biodigestão anaeróbia, está relacionada com o nível de diluição dos dejetos, para um nível de 0,5 à 3 % de sólidos totais. Que, portanto é influenciado pelo pré-processamento, tipos de peneiras, tamanho de malhas, tempo de agitação e desaglomeração de partículas de cama de frango, etc..

O conteúdo de sólidos totais do efluente líquido do biodigestor pode ser separado, em termos gerais, entre aquele dissolvido e o presente como matéria suspensa. De acordo com este fato, um fracionamento útil do material suspenso pode ser realizado para refletir o desempenho do pré-processamento da cama de frangos.

Estas frações são constituídas por sólidos dissolvidos, partícula coloidal, sólidos finos, grossos e fibras (BURTON, 2007).

Essas técnicas de separação de sólidos indicam que podem promover um processo aeróbio e remover relativamente, materiais indigestíveis dos efluentes; melhorar o desempenho da biodigestão anaeróbia por produzir uma concentração de nutriente vindo do efluente diluído; produzir uma fração de sólido compostável de resíduos líquidos.

Para viabilidade de plantas de biogás em escala comercial, testes e ensaios de biodigestão anaeróbia, são necessários estudos de diferentes diluições de cama de frango em água. Portanto, a água é um fator importante e crucial no desenvolvimento do projeto. A opção é utilizar água provinda de coleta da chuva e de flushing de bebedouros (processo que alguns avicultores utilizam para manter o fluxo de água, com “turnover” gradual a cada 3 horas ou constante, o que mantém água, em temperaturas ideais de bebida).

Objetivou-se determinar a proporção mais adequada para biodigestão anaeróbia, foi realizada a fabricação de um equipamento de pré-processamento de cama de frangos, para avaliação do processo de diluição e separação dos sólidos e líquidos em peneira estática e rotativa, através dos parâmetros de sólidos totais e voláteis, massa, concentração de nutrientes e volume mínimo de água.

2.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - Campus de Jaboticabal, o qual está em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 575 metros.

2.2.1. Desenvolvimento do pré-processo em escala piloto para biodigestão anaeróbia

O projeto foi elaborado, com base nos conceitos adquiridos em Aires (2009), estudos de equipamentos de processos existentes no mercado internacional. Assim, foi desenvolvido um pré-processo de diluição e separação de frações sólida e líquida, com o auxílio de um projetista e um engenheiro mecânico (Apêndices 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8A, 8B, 8C e 9).

2.2.2. Delineamento do teste de diluições

O ensaio experimental foi realizado em duplicata, utilizando a cama de frango de corte reaproveitada de três lotes, retirada de granja comercial do município de Monte Alto-SP.

A cama de frango (CF) tem como matriz a casca de amendoim (Apêndice 10), a qual foi diluída em água, para posterior processo de separação de frações sólida e líquida (Apêndices 11A e 11B), em peneiras estática e rotativa (Apêndice 2 e 3), ambas com malhas de 0,5 mm (Figura 1): os tratamentos consistiram em diluições nas seguintes proporções de cama (kg) / água (kg): 1:12; 1:11; 1:10; 1:9; 1:8; 1:7,7; 1:7,1; 1:6,7; 1:6,2; 1:5,9; 1:5,5; 1:5,3; 1:5, os quais correspondem a bateladas de 100 litros de águas para 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 kg de CF, ambas em duplicatas, ou seja, foi realizada duas vezes a mesma proporção, de forma sequencial, para obtenção de formação de massa residual na peneira rotativa, entre um ensaio e outro na mesma diluição.

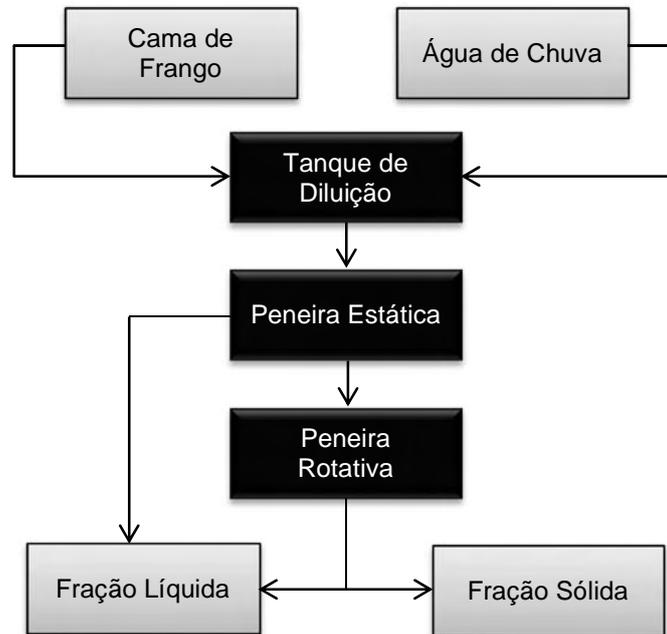


Figura 1. Fluxograma do pré-processamento da cama de frango de corte.

O processo de diluição da cama/água, ocorreu em bateladas de 1 hora de agitação em tanque de 500 litros com motor de 1 cv. e 51 rpm. sendo que todo o resíduo acumulado na peneira rotativa, na primeira batelada, ficou como massa residual da peneira (MRP kg), que é o “bolo residual”, necessário para o início da separação de frações com eficiência. Em seguida, foi realizado a segunda batelada com a mesma proporção de cama/água, para se obter o MRP e determinar a taxa de passagem na peneira (TPP %).

Foram coletados dois tipos de amostras de material diluído em água, sendo um realizado nas devidas proporções em laboratório (Mix/LB) e outro coletado no tanque de agitação após 1 hora de processo (Mix/TQ), (Apêndice 1D). Foram coletados também amostras de frações líquida e sólida, para realização das devidas análises.

Em seguida, foram realizadas pesagens das frações sólidas e líquidas para calcular o valor da massa, o percentual de passagem do líquido diluído e do material retido na peneira rotativa.

2.2.3. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis foram determinadas segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA[®] A11 “basic”, para determinação de todos os parâmetros experimentais.

2.2.4. Digestão e quantificação dos minerais

As amostras coletadas foram digeridas, utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Com este extrato foi possível determinar os teores dos macro e micronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g e zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo Bataglia et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) e utilização do destilador micro-Kjeldahl, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados por meio da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

2.2.5. Teor de carbono orgânico e matéria orgânica compostável

Foram coletadas amostras, para determinar o carbono orgânico (C %) e a relação C:N, segundo metodologia de Lossin (1971) citado por KIEHL (1985).

2.2.6. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS “program version” 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis

Os resultados de ST, SV obtidos durante o experimento estão apresentados na Tabela 1 e 2, respectivamente.

Entre as opções para realização das diluições, optou-se pela maior diluição 1:12, em razão desta já ser uma diluição elevada e a utilização de maiores volumes de água tornar o processo inviável, ou menos eficiente. Aires (2009), utilizou diluições de até 1:14, onde encontrou valores de 1,4 % de ST, utilizando a mesma cama de frango de casca de amendoim de 2º reutilização.

Não houve diferença significativa quanto às quantidades de ST(kg) na FL, na FS e na FL+FS.

Tabela 1. Valores médios de ST obtidos com a separação de frações sólida (FS% e kg) e líquida (FL% e kg) de cama de frangos de corte, em diferentes diluições.

Proporção (kg. ^{CF} /100 L ^{H₂O})	-----ST (%)-----				-----ST (kg)-----		
	Mix/LB	Mix/TQ	FL	FS	FL	FS	FL+FS
8 1:12	5,06	3,49 ^d	2,49 ^h	28,23 ^a	0,31	0,34	0,65
9 1:11	5,31	5,40 ^{dc}	2,67 ^{gh}	27,08 ^{bdac}	0,29	0,34	0,63
10 1:10	6,04	6,59 ^{dc}	3,12 ^{gfh}	27,57 ^{ba}	0,30	0,36	0,66
11 1:9	6,59	5,22 ^{dc}	3,09 ^{gfh}	27,40 ^{bac}	0,27	0,40	0,67
12 1:8	7,19	6,84 ^{bc}	3,43 ^{gfe}	25,68 ^{bdac}	0,26	0,41	0,67
13 1:7,7	7,98	6,85 ^{bc}	3,79 ^{dfe}	27,88 ^a	0,27	0,41	0,68
14 1:7,1	8,78	8,20 ^{bac}	4,14 ^{dc}	26,71 ^{bdac}	0,29	0,40	0,69
15 1:6,7	9,24	8,19 ^{bac}	4,97 ^{bc}	27,83 ^a	0,30	0,43	0,74
16 1:6,2	8,77	7,68 ^{bac}	4,57 ^{dc}	27,93 ^a	0,26	0,48	0,74
17 1:5,9	9,77	8,22 ^{bac}	4,82 ^c	26,43 ^{bdac}	0,25	0,48	0,73
18 1:5,5	8,94	9,75 ^{ba}	6,12 ^a	24,87 ^{dc}	0,28	0,45	0,73
19 1:5,3	9,49	10,37 ^a	5,77 ^{ba}	25,12 ^{bdac}	0,25	0,49	0,74
20 1:5	10,67	10,76 ^a	6,14 ^a	24,49 ^d	0,25	0,48	0,73
CV (%)	-	10,48	5,37	2,52	7,2	29,81	18,7

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Os valores de Mix/LB e Mix/Tq aumentaram de 5,06 a 10,67 % nos ST, conforme se diminuía as diluições de cama de frango, o que também ocorreu. Foram realizadas coletas para análises de Mix/LB, pois existe uma dificuldade em padronizar os sólidos em processos de diluição. Talvez sejam necessários estudos com diferentes tempos de agitação em diferentes rotações por minuto, o que pode influenciar na desaglomeração das partículas.

Quando se compararam os valores médios de ST(kg), não se obteve diferença significativa. No entanto, foi baseado nos valores de ST da FL (0,30 e 0,26 kg) e da FL+FS (0,74 e 0,74 kg), que se escolheram os tratamentos com maiores percentuais de ST por kg em menores diluições, os quais corresponde as proporções de 1:6,2 e 1:6,7, respectivamente. A proporção de 1:7,1 também obteve um valor interessante para biodigestão anaeróbia, no entanto obteve menores valores de ST, na FL+FS (0,69 kg), em relação as proporções acima citadas.

Tabela 2. Valores médios de SV obtidos com a separação de frações sólida (FS% e kg) e líquida (FL% e kg) de cama de frangos de corte, em diferentes diluições.

Proporção (kg. ^{CF} /100 L ^{H₂O})	-----SV (%)-----				-----SV (kg)-----			
	Mix (LB)	Mix (TQ)	FL	FS	FL	FS	FL+FS	
8	1:12	76,14	72,78	66,61	85,40	8,21 ^a	1,02	9,24 ^a
9	1:11	78,33	77,42	66,19	86,19	7,17 ^{ab}	1,07	8,24 ^{ab}
10	1:10	79,80	74,96	65,79	86,00	6,29 ^{bc}	1,12	7,41 ^{bc}
11	1:9	75,53	78,81	65,61	86,18	5,75 ^{bc}	1,26	7,01 ^{cd}
12	1:8	80,08	77,95	75,64	85,01	5,78 ^{bc}	1,36	7,14 ^{bcd}
13	1:7,7	76,78	77,97	67,22	85,74	4,80 ^{cde}	1,26	6,06 ^{def}
14	1:7,1	73,03	77,18	75,46	86,25	5,22 ^{cd}	1,30	6,52 ^{cde}
15	1:6,7	78,23	78,27	78,03	76,54	4,76 ^{cde}	1,21	5,97 ^{def}
16	1:6,2	78,25	78,98	69,31	82,84	3,97 ^{def}	1,42	5,40 ^{efg}
17	1:5,9	79,84	79,77	68,64	82,46	3,52 ^{ef}	1,49	5,01 ^{fg}
18	1:5,5	79,83	78,30	68,22	82,31	3,11 ^f	1,49	4,60 ^{gh}
19	1:5,3	79,88	79,43	68,45	83,87	3,02 ^f	1,62	4,64 ^{gh}
20	1:5	81,14	78,39	68,84	83,67	2,83 ^f	1,64	4,47 ^{gh}
CV (%)	-	2,26	8,24	4,23	8,02	33,76	5,07	

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Os valores de SV (%), não apresentaram diferenças ($P < 0,05$) no Mix/LB e Mix/TQ, nas diferentes proporções, porém quando se compara os SV (kg), a FL e FL+FS, apresentaram diferenças significativas. Na FL, a proporção de 1:12 foi superior ($P < 0,05$) em relação as outras proporções, exceto a 1:11 que foi equivalente. Por esse resultado, pode-se inferir que quanto maior a diluição, maior a quantidade de SV (kg), este fato se deve a maior facilidade e dispersão das partículas de CF no tanque de agitação.

2.3.2. Desempenho do pré-processamento da cama de frangos de corte

Os resultados da massa residual da peneira (MRP) e taxa de passagem da peneira (TPP) obtidos durante o experimento estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de Massa, obtidos com a separação de frações sólida (FS% e kg) e líquida (FL% e kg) de cama de frangos de corte, em diferentes diluições.

Proporção (kg. CF/100 L H ₂ O)	Massa (kg)		MRP (kg)	TPP (%)		
	FL	FS		FL	FS	
8	1:12	98,62 ^a	9,60 ^c	4,80	91,31 ^a	8,88 ^a
9	1:11	97,55 ^a	11,20 ^c	5,00	89,49 ^{ba}	10,27 ^{ba}
10	1:10	95,70 ^{ba}	13,00 ^{bc}	6,80	87,00 ^{bac}	11,81 ^{bac}
11	1:9	96,50 ^{ba}	16,02 ^{bac}	9,97	86,93 ^{bac}	14,43 ^{bac}
12	1:8	91,90 ^{bdac}	19,18 ^{bac}	10,23	82,05 ^{bdc}	17,12 ^{dc}
13	1:7,7	92,90 ^{bac}	19,10 ^{bac}	7,20	82,21 ^{bdc}	16,90 ^{dc}
14	1:7,1	96,70 ^{ba}	21,10 ^{bac}	11,81	84,82 ^{bac}	18,51 ^{bdc}
15	1:6,7	91,75 ^{bdac}	23,40 ^{bac}	5,80	79,78 ^{dc}	20,34 ^{ed}
16	1:6,2	91,75 ^{bdac}	27,45 ^{bac}	11,30	79,09 ^{edc}	23,66 ^{ed}
17	1:5,9	87,20 ^{bdc}	30,80 ^{bac}	8,40	74,52 ^{edf}	26,32 ^{ef}
18	1:5,5	82,10 ^d	32,45 ^{bac}	8,90	69,57 ^f	27,50 ^f
19	1:5,3	83,95 ^{dc}	36,65 ^{ba}	11,50	70,54 ^{ef}	30,79 ^f
20	1:5	82,20 ^d	39,25 ^a	11,10	68,50 ^f	32,70 ^f
CV (%)		2,82	27,69	-	2,83	2,84

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nas diferentes proporções de diluições, tanto a massa (kg) como a TPP (%), apresentaram diferenças significativas, com valores (98,62 kg e 91,31 %), superiores ($P < 0,05$) na FL (kg) e na TPP (%), respectivamente. E quando se diminuem as diluições, ocorre o inverso, para FS (kg) e também na TPP (%) da FL.

Observa-se que quanto maior o volume de água no processo, menor é MRP (kg), porém este fator se deve a quantidade inicial de cama de frango utilizada na proporção.

Conforme é aumentada a quantidade de CF a FL diminui ($P > 0,05$) o seu peso em massa (kg) e fato inverso ocorre com a FS. Em análise da taxa de passagem da peneira, observa-se que a FL possui ($P < 0,05$) maior taxa de passagem nas proporções com maiores volumes de água por kg/CF e fato inverso ocorre com a FS.

A massa residual da peneira rotativa, foi analisada para dimensionar em volume exato, a capacidade de aprisionamento de FS na malha. Denota-se que houve um aumento gradual (via de regra), conforme se diminuem as proporções. Esse dado é importante, para se dimensionar os sistemas de compostagem que de forma periférica, utilizam a FS para compostar carcaças de aves.

As FL e FS e FL+FS, estão apresentadas na Figura 1, juntamente com as curvas de tendências polinomiais, equações de regressão e R^2 .

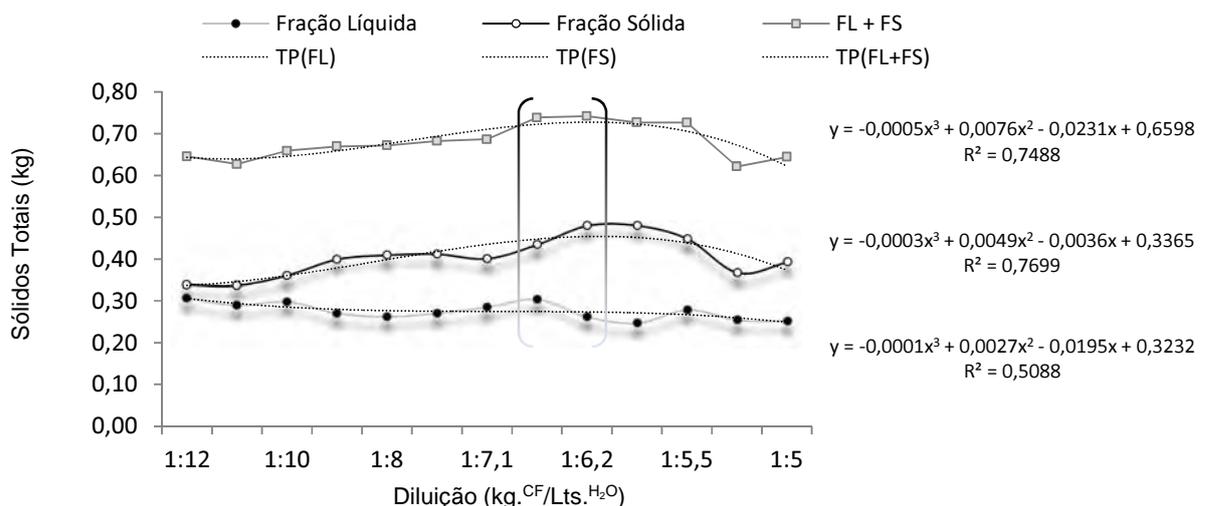


Figura 1. Valores médios de ST obtidos com a separação de frações sólida (FS kg) e líquida (FL kg) de cama de frangos de corte, em diferentes diluições e linha de tendência polinomial.

Observa-se (Figura 1) pouca diferença nos ST (kg) da FL, mas que nas diluições 6,2 e 6,7 (kg de água) / 1 (kg) de CF, foram vantajosas na separação de frações, sólida e líquida. Com base neste parâmetro optou-se utilizar essa diluição nos ensaios experimentais em biodigestores bateladas e contínuos.

O ST é um parâmetro importante para o abastecimento de biodigestores anaeróbios, pois tem relação com a produção de biogás (Itodo e Awulu, 1999). Se os teores de ST são demasiado altos (acima de 10%) ou baixos (abaixo de 1%) pode ocorrer inibição do processo (Yadvika et al., 2004). Além disso, substratos muito diluídos, com menores teores de ST e, por consequência, menores potenciais de produção, contribuem para o aumento dos custos na instalação dos biodigestores. Lucas JR et al. (1993), observou que biodigestores inoculados, utilizando 8 % de ST, apresentaram maiores produções de biogás.

Outro fator a ser considerado, aos teores de ST, que nas menores diluições, houve uma aproximação dos teores recomendados por Aires (2009), para esse tipo de dejetos (3 % de ST na FL). Todavia, os teores de ST dos dejetos podem influenciar na escolha do tipo de biodigestor. Visto que, no caso de biodigestores de carga contínua, como exemplo, o tubular horizontal “plug flow”, amplamente utilizado na suinocultura, alimentam os biodigestores com cargas entre 1 e 2,5 % de ST, em função da diluição que ocorre na limpeza das baias dos animais. Alguns fabricantes indicam que os biodigestores deste modelo podem utilizar cargas máximas de até 4 % de ST, para que não ocorram entupimentos de tubulações e acúmulo de sólidos de difícil degradação. Segundo Chen et al., (2008), a eficácia da biodigestão anaeróbia, está relacionada com o nível de diluição do esterco, para um nível total de 0,5 à 3 % de sólidos totais.

2.3.3. Concentração de nutrientes

2.3.3.1. Concentração de nutrientes das diferentes frações

Na Tabela 4, é apresentado a concentração de macro, micronutrientes e sódio, em g/100g e mg/kg de MS, respectivamente das diferentes proporções dos ensaios de diluição e separação de frações sólida e líquida.

Tabela 4. Concentrações de macronutrientes, sódio, em g/100g e micronutrientes em mg/kg de matéria seca (MS), dos materiais utilizados nos testes de diluição e separação de sólidos.

Proporção (kg ^{CF} /100 L ^{H₂O})			P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe	
			------(g/100g)-----					------(mg/kg)-----				
8	1:12	MIX(TQ)	0,64 ab	5,80 ab	2,80 a	0,90 b	0,98 a	1150 a	850 b	575 a	1900 ab	
		FL	1,26 a	7,85 a	3,76 a	1,30 a	1,32 a	1175 a	1025 a	750 a	2400 a	
		FS	0,37 b	1,02 b	2,89 a	0,42 c	0,29 b	700 a	625 c	350 b	1300 b	
9	1:11	MIX(TQ)	0,63 b	5,20 ab	2,91 b	0,85 b	0,78 b	800 b	800 b	550 b	1925 b	
		FL	0,92 a	9,70 a	3,63 a	1,25 a	1,28 a	975 a	1000 a	725 a	2225 a	
		FS	0,43 b	0,93 b	2,57 b	0,45 c	0,31 c	550 c	600 c	350 c	1300 c	
10	1:10	MIX(TQ)	0,41	4,95 b	2,67 b	0,82 b	0,76 b	750 b	775 ab	525 b	1700 b	
		FL	0,69	9,95 a	3,77 a	1,30 a	1,24 a	975 a	925 a	700 a	2300 a	
		FS	0,36	1,45 c	2,42 b	0,46 c	0,32 c	600 b	600 b	375 c	1675 b	
11	1:9	MIX(TQ)	0,56 ab	5,65 b	2,64 b	0,83 b	0,81 b	725 b	625 ab	525 ab	1825 b	
		FL	0,75 a	9,70 a	3,59 a	1,35 a	1,31 a	925 a	800 a	700 a	2325 a	
		FS	0,39 b	1,43 c	2,39 b	0,49 c	0,36 c	625 c	550 b	400 b	1525 b	
12	1:8	MIX(TQ)	0,59	4,85	2,62	0,82	0,75	725	625	525	1850	
		FL	0,68	5,25	3,14	0,89	0,78	775	625	575	1800	
		FS	0,41	1,34	2,44	0,48	0,35	600	500	400	1350	
13	1:7,7	MIX(TQ)	0,65	4,85 b	2,57 b	0,81 b	0,73 b	700 b	600 b	525 b	1700 b	
		FL	0,86	8,25 a	3,45 a	1,35 a	1,10 a	975 a	800 a	775 a	2300 a	
		FS	0,33	1,46 c	2,50 b	0,46 c	0,34 c	600 c	475 c	400 c	1350 b	
14	1:7,1	MIX(TQ)	0,46	6,95	3,04	1,02	0,94	875	750	650	1850	
		FL	0,67	6,85	3,55	1,10	0,97	850	700	675	2225	
		FS	0,51	3,57	2,64	0,71	0,51	700	575	500	1650	
15	1:6,7	MIX(TQ)	0,64	3,70	2,62	0,69	0,60	725	600	500	1650	
		FL	0,57	6,40	2,90	0,86	0,75	775	650	550	1725	
		FS	0,51	3,40	2,45	0,67	0,53	700	550	475	1575	
16	1:6,2	MIX(TQ)	0,73	6,52	3,00	0,82	0,81	925	725	650	2075	
		FL	0,65	3,48	2,75	0,68	0,57	825	675	550	1925	
		FS	0,75	6,35	2,51	0,84	0,95	875	750	675	2100	
17	1:5,9	MIX(TQ)	0,69	3,38 b	2,20	0,63 b	0,71 b	775 b	725 b	625	1850 b	
		FL	0,79	9,75 a	2,67	1,00 a	1,41 a	975 a	925 a	775	2375 a	
		FS	0,65	1,89 c	2,48	0,55 b	0,44 c	775 b	700 b	575	1900 b	
18	1:5,5	MIX(TQ)	0,66	3,60 b	2,42	0,70 b	0,75 b	850 b	750 b	675 b	2100 b	
		FL	1,04	8,50 a	3,14	1,07 a	1,26 a	1075 a	925 a	875 a	2700 a	
		FS	0,58	1,90 b	2,57	0,45 c	0,46 c	675 c	625 c	550 c	1775 b	
19	1:5,3	MIX(TQ)	0,53	3,54 b	2,38 b	0,67 b	0,71 b	850	700 b	650	1975	
		FL	0,74	7,60 a	3,00 a	1,06 a	1,27 a	1075	950 a	825	2825	
		FS	0,38	2,19 b	2,06 ab	0,52 b	0,47 c	775	700 b	575	1950	
20	1:5	MIX(TQ)	0,51	3,39	2,34 ab	0,68 b	0,72 b	850 b	675 b	650	1925	
		FL	0,76	5,19	2,73 a	1,02 a	1,15 a	1100 a	825 a	775	2375	
		FS	0,49	2,27	2,17 b	0,51 c	0,48 c	750 c	625 b	575	1800	

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, para o mesmo tratamento (MIX, FL, FS), diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05)

Nas proporções 1:6,2; 1:6,7 e 1:7, não ocorreram diferenças (P>0,05) entre todos os nutrientes na comparação dos teores MIX(TQ), FL e FS. Ao passo que no restante das diluições, ocorreram diferenças (P<0,05), que via de regra, podem evidenciar uma migração (P<0,05) dos nutrientes do MIX, para a FL da CF, principalmente nas maiores

diluições. Ou seja, é possível que o maior volume de água:CF adicionado, pode influenciar ($P < 0,05$) na migração dos nutrientes. Infere-se que, uma parte dos nutrientes pode estar ainda complexada na matéria orgânica, e encontra-se indisponível. Na FL a disponibilidade dos elementos solúveis é maior, por isso migram para a solução com facilidade. Já na FS pode haver uma maior complexação.

Outro fator que pode ser extraído é relacionado ao tempo de agitação, o qual pode desaglomerar as partículas em diferentes frações, porém com influencia volume de CF existente no meio.

Na Tabela 5, observa-se os teores de carbono orgânico (%), nitrogênio (%) e sua relação (C:N), nas diferentes proporções dos testes de diluição e separação de frações sólida e líquida.

Para o nitrogênio (%), ocorreram diferenças ($P < 0,05$), que via de regra (1:8 e 1:12), podem evidenciar uma disponibilidade ($P < 0,05$) dos nutrientes do MIX, para a FL da CF, principalmente nas maiores diluições. Ou seja, é possível que maiores volumes de água:CF, possam influenciar positivamente ($P < 0,05$), na disponibilização dos nutrientes para FL, a qual será utilizada para biodigestão anaeróbia. Nesse ponto fica clara a importância da separação de sólidos, pois o nitrogênio é um nutriente fundamental no processo de geração de metano (CHEN et al., 2008).

Já para o carbono orgânico (%), ocorreram diferenças apenas na primeira e última proporção analisada. Observa-se que em outras proporções, não ocorreram diferenças ($P > 0,05$) para o C (%).

A relação C:N, também acompanhou curva do C (%), mantendo as menores relações na últimas e primeiras proporções. Pode se destacar, que entre as proporções 1:6,2 e 1:9, ocorreram maiores relações de C:N. Após o pré-processamento da CF, denota-se tendências no aumento das relações C:N, na FS da CF.

Tabela 5. Teores de carbono orgânico (C %), nitrogênio (N %) e a relação C:N, utilizados nos testes de diluição e separação de sólidos de cama de frangos de corte.

Proporção (kg ^{CF} /100 L ^{H2O})			C	N	C:N
			(%)		
8	1:12	MIX(TQ)	21,01 ab	2,71 a	8 : 1
		FL	18,23 b	3,26 a	6 : 1
		FS	25,06 a	1,74 b	14 : 1
9	1:11	MIX(TQ)	23,24	2,49 b	9 : 1
		FL	19,63	3,63 a	5 : 1
		FS	23,06	1,84 c	13 : 1
10	1:10	MIX(TQ)	19,27	2,77 a	7 : 1
		FL	10,39	3,37 a	3 : 1
		FS	19,48	1,93 b	10 : 1
11	1:9	MIX(TQ)	18,16	2,63 b	7 : 1
		FL	25,21	3,23 a	8 : 1
		FS	32,12	2,02 c	16 : 1
12	1:8	MIX(TQ)	38,48	2,45 a	16 : 1
		FL	40,14	2,68 a	15 : 1
		FS	46,52	2,04 a	23 : 1
13	1:7,7	MIX(TQ)	41,83	2,80 b	15 : 1
		FL	43,16	3,72 a	12 : 1
		FS	48,24	1,97 c	25 : 1
14	1:7,1	MIX(TQ)	51,61	2,82 b	18 : 1
		FL	54,26	3,61 a	15 : 1
		FS	44,38	1,86 c	24 : 1
15	1:6,7	MIX(TQ)	22,57	2,67 b	8 : 1
		FL	26,84	3,63 a	3 : 1
		FS	20,40	2,01 c	23 : 1
16	1:6,2	MIX(TQ)	18,35	3,04 b	6 : 1
		FL	12,27	3,86 a	3 : 1
		FS	23,81	2,50 c	10 : 1
17	1:5,9	MIX(TQ)	37,89	2,98 b	13 : 1
		FL	33,58	3,93 a	9 : 1
		FS	45,59	2,59 c	18 : 1
18	1:5,5	MIX(TQ)	29,95	3,12 b	10 : 1
		FL	22,14	3,95 a	6 : 1
		FS	13,42	2,51 c	5 : 1
19	1:5,3	MIX(TQ)	20,57	3,18 b	6 : 1
		FL	36,46	4,29 a	8 : 1
		FS	21,60	2,73 b	8 : 1
20	1:5	MIX(TQ)	29,09 b	3,38 b	9 : 1
		FL	29,62 b	4,38 a	7 : 1
		FS	37,43 a	2,81 c	13 : 1

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, para o mesmo tratamento (MIX, FL, FS), diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05)

Um importante parâmetro, que pode ser retirados das análises de carbono, está relacionado maior solubilidade existe na FL em relação à FS, por isso é importante analisar a relação C:N, e enfatizar o tipo de carbono que esta sendo comparado.

2.4. Conclusões

O pré-processamento da cama de frangos, demonstrou vantagem na concentração de alguns nutrientes, em especial o nitrogênio e o carbono. O nitrogênio apresentou uma concentração na fração líquida após a separação de sólidos, já o carbono apresentou um menor percentual de carbono, porém com frações mais solúveis. As diluições de 1:5 à 1:10 (CF/água), apresentaram sólidos totais interessantes para biodigestão anaeróbia com platô de caracterização na as diluições 1:6,2 a 1:6,7, com valor de 0,74 kg/MS (ambos) na fração líquida + fração sólida. Enfim, o pré-processamento se mostrou adequado para utilização em unidades de tratamento e aproveitamento energético da cama de frangos de corte.

CAPÍTULO 3 - UTILIZAÇÃO DE PRÉ-PROCESSO EM ESCALA PILOTO PARA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DIFERENTES FRAÇÕES DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE EM SISTEMA BATELADA

RESUMO: O objetivo desse estudo foi avaliar biodigestão anaeróbia com ou sem pré-processamento da cama de frangos de corte. Os tratamentos utilizados foram: fração líquida + inóculo, fração líquida + inóculo + adicional de água, fração sólida + inóculo e cama de frango sem separação de frações + inóculo + água, todos com 15% de inóculo na MS total do substrato. Foi realizado ensaio de biodigestão anaeróbia em sistema batelada. Para os tratamentos com separação de frações sólida e líquida, foi utilizado a proporção de 1:6,2 (cama/água), com 3 % de sólidos totais em todos os tratamentos. Foram utilizados 16 biodigestores em batelada, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento. Foram realizadas análises de avaliação de produção de biogás e de caracterização mineral dos afluentes e efluentes dos biodigestores. O pré-processamento da cama de frangos concentra os nutrientes na fração líquida, o que proporciona maiores produções de biogás (0,269 m³/kg SV_{adic}) e teores de até 84,79 % de metano para biodigestores abastecidos com fração líquida e inóculo, o qual obteve antecipação da queima do biogás (5° dia). A fração sólida apresentou um valor residual alto de nutrientes, o qual refletiu no bom desempenho de produção de biogás (0,149 m³/kg SV_{adic}). Enfim, o pré-processamento pode proporcionar uma adição de 0,418 m³/kg SV_{adic}, caso seja realizado a separação de sólidos, o que representa 55,3 % acima do valor obtido sem a separação de frações (0,231 m³/kg SV).

Palavras-Chave: biogás, peneira estática e rotativa, casca de amendoim.

CHAPTER 3 - USING PRE-PROCESS IN PILOT SCALE ANAEROBIC BIODIGESTION OF DIFFERENT FRACTIONS OF LITTER POULTRY IN SYSTEM BATCH

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate anaerobic digestion with or without preprocessing the poultry litter. The treatments were: + inoculum liquid fraction, liquid fraction inoculum + additional water, solid fraction + inoculum and poultry litter fractions without separation of water + + inoculum, all with 15% of the total DM inoculum substrate. Assay was performed in anaerobic digestion batch system. For treatments with separation of solid and liquid fractions, we used the ratio of 1:6,2 (poultry litter / water), 3% of total solids in all treatments. We used 16 batch digesters were distributed in a completely randomized design with four replicates per treatment. The analyzes included evaluation of biogas production and mineral characterization of the influent and effluent of the digesters. The pre-processing of poultry litter concentrates the nutrients in the liquid fraction, which provides higher biogas production (0.269 m³/kg SV_{adic}) and grades of up to 84.79% methane digesters filled with liquid fraction and inoculum, which got anticipation of burning biogas (5th day). The solid fraction showed a high residual value of nutrients, which reflected the good performance of biogas production (0.149 m³/kg SV_{adic}). Finally, the preprocessing can provide an addition of 0.418 m³/kg SV_{adic}, if performed the separation of solids, which represents 55.3% above the value obtained without separation of fractions (0.231 m³/kg SV).

Keywords: biogas, static and rotating sieve, peanut shell

3.1. Introdução

A biodigestão anaeróbia de cama de frangos de corte tem sido estudada como fonte de energia elétrica e térmica para propriedades rurais. Atualmente a exploração avícola tem se caracterizado pela produção de frango de corte cada vez mais precoce, que constitui um dos ramos da produção animal de maior desenvolvimento e progresso tecnológico. No entanto, esse aumento gera um montante de resíduos de mesma proporção. Por isso é constante a busca de alternativas que visam reduzir o efeito poluente que este resíduo possa causar no ambiente, sem o prévio tratamento.

A conversão anaeróbia de substratos orgânicos complexos, na ausência de luz, nitrato, nitrito e sulfato são realizados por bactérias quimioheterotróficas e bactérias metanogênicas. Ela é influenciada por diversos fatores que atuam no início da produção de biogás, degradação do substrato, população de microrganismos presentes no substrato, assim como na eliminação de patógenos. Estes fatores englobam temperatura, pH, uso de inóculo, composição do material e teor de sólidos totais, entre outros (LUCAS e SANTOS, 2000).

A cama de frango de corte quando utilizada para produção de biogás, por meio da biodigestão anaeróbia possui alguns entraves que precisam ser solucionados, para que essa alternativa se torne viável economicamente ao produtor.

Um dos problemas é a quantidade de material de difícil degradação existente em algumas camas de frango, como por exemplo, a casca de amendoim, que por muitas vezes pode se tornar um empecilho para as bactérias na bioconversão do carbono em biogás. Por isso, infere-se que o peneiramento em malha desta fração grosseira existente na cama deve incrementar a produção de biogás e reduzir o percentual de sólidos totais, antes da biodigestão anaeróbia, proporcionando uma diminuição do potencial poluidor desse resíduo no solo, na água e no ar.

O objetivo desse estudo foi avaliar a biodigestão anaeróbia com ou sem pré-processamento da cama de frangos de corte, com diferentes frações, para análise quantitativa e qualitativa de nutrientes das afluentes e efluentes, assim como a qualidade do biogás gerado no processo.

3.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o qual está em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 575 metros.

3.2.1. Delineamento do ensaio de biodigestão anaeróbia

Realizou-se um ensaio experimental, utilizando cama de frango de corte (CF) reaproveitada de três lotes, retirada de uma granja comercial no município de Monte Alto-SP.

A CF utilizada tem como matriz a casca de amendoim (Apêndice 10), a qual foi diluída em água para posterior processo de separação de frações sólida e líquida (Apêndices 11A e 11B) em peneira estática e rotativa (Apêndices 2 e 3) sequenciais, com malhas de 0,5 mm.

Os ensaios consistiram em uma diluição na proporção de 1:6,2 (cama kg / água kg). Foram utilizados 16 biodigestores em batelada, distribuídos por delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e quatro repetições (todos com 15% de inóculo na MS total do substrato):

a. Cama de frango sem separação de frações + água + inóculo	CF-SSF+I
b. Fração líquida + inóculo	FL+I
c. Fração líquida + água + inóculo	FL+A+I
d. Fração sólida + água + inóculo	FS+I

O processo de diluição da cama/água, ocorreram em uma batelada de 1 hora de agitação em tanque de 500 litros com motor de 1 cv. e 51 rpm e posterior separação de frações sólida e líquida.

3.2.2. Descrição dos biodigestores batelada

No Apêndice 12A e 12B são apresentadas as características construtivas dos biodigestores confeccionados exclusivamente para esse experimento. Os mesmos possuem capacidade útil de 2 litros de substrato em fermentação. São constituídos basicamente por três cilindros retos de PVC, com diâmetros de 75, 100 e 150 mm acoplados sobre um caps de PVC, um (75 – 150) dos quais se encontra inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior, comporte um volume de água que se convencionou denominar “selo d’água”, atingindo profundidade de 60 cm. O cilindro de 100 mm é utilizado como uma campânula flutuante de PVC, emborcada no “selo d’água”, o qual armazena o gás produzido e confere pressão ao mesmo.

3.2.3. Preparo da fração líquida

Foi realizada a diluição de 1:6,2 kg de CF / kg água para os ensaios experimentais com separação de frações sólidas. Para obter a fração líquida das camas realizou-se uma padronização na separação dos sólidos, onde a CF após pesada e diluída na proporção de 1:6,2, era separada por malha de 0,5 mm, em peneira estática e rotativa (sequenciais), resultando em duas frações distintas, FS e FL.

3.2.4. Preparo do inóculo

O inóculo é composto por um “mix” de materiais biodigeridos em biodigestores contínuos de CF e bovinos de leite (Apêndice 13), a ser utilizado nos 16 biodigestores durante a fase inicial de avaliação experimental, tida como abastecimento. O material foi previamente coletado de biodigestores contínuos de dejetos de bovinos e de CF biodigerida em sistema híbrido, sendo formulada uma mistura de 1:1.

3.2.5. Preparo do substrato

O inóculo utilizado para o abastecimento foi preparado para obtenção do teor de sólidos totais próximos a 15 % do total da mistura, como recomendado por Santos (2001), seguindo o modelo proposto por Lucas JR (1994) o qual, mistura-se CF, água e

inóculo. Os substratos dos abastecimentos dos biodigestores foram preparados para obtenção de teor de ST próximos a 3,0 %.

Para o tratamento CF-SSF+I, o substrato foi preparado conforme expressões de Ortolani et al. (1991) e Lucas JR (1994), citados por Aires (2009).

Para os tratamentos FL+I, FL+A+I e FS+A+I, o substrato foi preparado conforme expressões de Ortolani et al. (1991) e Lucas JR (1994), citados por Aires (2009).

Na Tabela 1, estão apresentados os períodos de operação dos experimentos, os tempos de retenção hidráulica (TRH) e as quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores, de acordo com os tratamentos.

Tabela 1. Períodos de operação, tempos de retenção hidráulica (TRH), quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores, de acordo com as reutilizações de cama.

Tratamentos	TRH	Cama	Água (kg)	FL	FS	Inóculo
CF-SSF+I		0,060	1,570	-	-	
FL+I	90	-	-	1,630	-	0,370
FL+A+I		-	0,516	1,114	-	
FS+ A+I		-	1,447	-	0,183	

3.2.6. Dados meteorológicos do período experimental

No Apêndice 14, são apresentadas as médias das variáveis climáticas em Jaboticabal – SP, obtidas durante o período experimental.

3.2.7. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

Os teores de sólidos totais e voláteis foram determinadas segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA[®] A11 basic, para determinação de todas as análises experimentais realizadas.

3.2.8. Digestão e quantificação dos minerais

As amostras coletadas foram digeridas utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Com este extrato foi possível determinar-se os teores dos macro e micronutrientes: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g e zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo Bataglia et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) e utilização do destilador micro-Kjeldahl, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados pela da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

3.2.9. Determinação da produção de biogás

Foram determinados os volumes diários de biogás, pela medição do deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos gasômetros, ou seja, $0,0078 \text{ m}^2$. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985).

3.2.10. Teste de queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama. Os testes foram realizados por meio de um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do biodigestor. Se ao colocar fogo no Bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima.

3.2.11. Determinação dos teores de metano, dióxido de carbono e outros gases

Para avaliação do teor de metano no biogás produzido, foram retiradas amostras de biogás ao longo dos 90 dias de operação (coletas semanais), utilizando-se seringas de plástico de 100 mL de volume, apropriadas para coletas de biogás, sendo as determinações feitas utilizando-se cromatógrafo de fase gasosa GC 2001, equipado com colunas Porapack Q e Peneira Molecular 5A, utilizando o hidrogênio como gás de arraste.

3.2.12. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS “program version” 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis

3.3.1.1. Teores de sólidos totais e voláteis do material utilizado na carga

Na Tabela 2 é apresentada a concentração de ST e SV (% e kg) da matéria prima utilizada para realização de carga dos biodigestores bateladas, sendo que foi realizada uma carga no pré-processo, com proporção de 100 litros de água para 16 kg de CF, para análise das frações e posterior abastecimento.

Tabela 2. Concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem e massa, para as diferentes matérias primas utilizadas no delineamento dos ensaios experimentais, em biodigestores batelada.

Materiais	ST		SV	
	(%)	(kg)	(%)	(kg)
Cama de Frango	81,45	-	78,11	-
MixTQ (1:6,2)	7,77	1,24	75,00	12,00
Fração Líquida	5,69	0,91	69,26	11,08
Fração Sólida	23,41	3,74	85,75	13,72
Inóculo	2,17	-	71,72	-

* MixTQ = Coleta da mistura (cama de frango/água) do tanque de agitação, após uma hora de processamento.

Os cálculos de abastecimento foram realizados com base no ensaio experimental do Capítulo 2, onde se utilizou a proporção de 1:6,2. Assim foram considerados nas cargas os seguintes valores de CF (84,96 %), MixTQ (7,68 %), FL (4,58 %) e FS (27,94 %). Em comparação a análise entre os resultados obtidos nesta batelada, pode se inferir uma heterogeneidade da cama de frangos de corte, como fator de desvio dos resultados obtidos. Por isso, estudos com diferentes tempos de agitação, rotação por minuto e impelidores, devem ser realizados, para que se alcance uma homogeneidade nas concentrações de sólidos.

3.3.1.2. Teores de sólidos totais e voláteis dos substratos

Na Tabela 3, são apresentados dados de ST e SV (% e kg) dos afluentes dos biodigestores batelada, nos diferentes tratamentos.

Tabela 3. Concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem e massa e redução de SV em porcentagem, para as diferentes frações, em biodigestores batelada.

Tratamentos	Sólidos Totais				Sólidos Voláteis				Redução (%)
	*A ----(%)----	**E	*A ----(kg)----	**E	*A ----(%)----	**E	*A ----(kg)----	**E	
CF-SSF+I	2,13 b	1,19 c	0,04 b	0,02	1,60 b	0,67 b	0,03 b	0,01 b	58,14 b
FL+I	3,58 a	0,99 c	0,07 a	0,02	2,49 a	0,54 b	0,05 a	0,01 b	78,31 a
FL+A+I	3,32 a	1,69 b	0,07 a	0,03	2,24 a	0,95 a	0,04 a	0,02 a	57,59 b
FS+A+I	2,39 b	2,09 a	0,05 b	0,04	2,01 ab	1,10 a	0,04 ab	0,02 a	45,27 b
<i>P Value</i>	0,0025	<0,0001	0,0025	<0,0001	0,0124	0,0002	0,0124	0,0002	0,0061
<i>CV (%)</i>	5,87	10,78	5,87	10,78	6,77	16,43	6,77	16,43	8,79
<i>R²</i>	0,96	0,90	0,96	0,90	0,92	0,79	0,92	0,79	0,94

* A = Afluente; ** E = Efluente; Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Comparando a carga de SV (kg), apresentada entre os tratamentos, observa-se que, a FL+I, obteve maior redução de SV (%), sendo (P<0,0061) a sua diferença em relação aos outros tratamentos, o qual pode influenciar na produção de biogás/kg de SV adicionados. A menor redução de ST e SV ocorreu com o tratamento FS+I, fato justificado pela separação de sólidos que ocorreu no pré-processamento da CF antes de utilizar a FS como ingrediente do substrato do referido tratamento. Outra hipótese é

a maior quantidade de sólidos insolúveis existentes neste tratamento, fato que também pode ter ocorrido com o tratamento CF-SSF+I.

Os tratamentos CF-SSF+I, FL+A+I, FS+I e FL+A+I apresentaram maiores valores médios de SV reduzidos ao fim do processo de biodigestão anaeróbia, quando comparados com os resultados de Santos (2001), que na avaliação da biodigestão anaeróbia de CF (maravalha), obteve 41,3 a 41,9 % de redução nos teores de SV nas camas de 1^o e 2^o reutilização, respectivamente.

3.3.2. Concentração de nutrientes

3.3.2.1. Concentração de nutrientes dos materiais utilizados na carga

Apresenta-se na Tabela 4, a concentração de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos materiais utilizados na carga dos biodigestores batelada.

Tabela 4. Concentrações de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos materiais utilizados na carga dos biodigestores batelada.

Materiais	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
	------(g/100g)-----						------(mg/kg)-----			
Cama de Frango	3,44	0,82	1,96	2,97	0,77	0,66	750	700	500	1750
MixTQ (1:6,25)	3,28	0,86	4,01	3,20	1,20	1,16	1250	900	850	2700
Fração Líquida	4,1	0,42	4,20	3,32	1,20	1,19	1250	950	900	2750
Fração Sólida	2,44	0,57	0,92	1,65	0,39	0,38	700	500	450	1300
Inóculo	4,05	0,89	1,94	3,07	0,95	0,86	1350	650	850	3950

O pré-processamento da CF, concentra (com exceção ao P) os nutrientes na FL, por isso infere-se que o maior percentual de minerais pode ser disponibilizado para a biodigestão anaeróbia. Este resultado é importante para o embasamento da utilização da separação de frações sólida e líquida de CF.

3.3.2.2. Concentração de nutrientes dos afluentes e efluentes

Os teores de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos materiais utilizados nos afluentes e efluentes são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Concentrações de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos materiais utilizados na carga dos biodigestores batelada, abastecidos com cama de frango de corte em diferentes frações.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
	------(g/100g)-----						------(mg/kg)-----			
<i>CF-SSF+I</i>										
Afluente	3,73	0,71 a	3,44 a	2,94 b	0,99 b	0,84 b	1150 a	750	750 a	2700 a
Efluente	3,88	0,57 b	2,80 b	4,78 a	1,28 a	2,12 a	913 b	775	213 b	1638 b
<i>FL+I</i>										
Afluente	3,88	0,70	5,50 a	3,77 b	1,40 b	1,18 b	1400 a	950 a	1000 a	3200 a
Efluente	3,79	0,70	2,07 b	5,00 a	1,55 a	1,62 a	925 b	800 b	300 b	2025 b
<i>FL+A+I</i>										
Afluente	4,14 a	0,75 a	4,07 a	3,18 b	1,05	1,13 b	1250 a	850	900 a	3000 a
Efluente	3,86 b	0,60 b	3,19 b	4,74 a	1,13	2,33 a	913 b	788	263 b	1688 b
<i>FS+A+I</i>										
Afluente	2,72 b	0,51 b	2,75 b	1,90 b	0,57 b	0,58 b	900 b	650 b	600 a	2000
Efluente	3,74 a	0,80 a	3,02 a	4,84 a	1,60 a	2,27 a	1088 a	800 a	338 b	1900

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Apesar dos teores de macro, micronutrientes e sódio nos efluentes apresentarem-se maior (P<0,05) que nos afluentes (Ca, Mg e Na, em todos os tratamentos), quando se avalia a massa (kg), observa-se que houve uma redução nos sólidos totais (ST) dos efluentes com a biodigestão anaeróbia, o que justifica a concentração de alguns nutrientes. Em outros estudos, como o de Aires (2009); Fukayama (2008) e Augusto (2007) foram observados quadros de reduções de alguns nutrientes e concentração de outros, após a biodigestão anaeróbia de dejetos de aves. Infere-se que mais estudos sejam desenvolvidos, para encontrar as razões dessa variação. Muitos fatores podem estar influenciando, como por exemplo, a temperatura,

o TRH, o tipo de material utilizado, a separação ou não de frações sólidas e líquidas, o diâmetro das malhas das peneiras, etc..

3.3.3. Produção de biogás dos biodigestores batelada

O potencial médio de produção de biogás durante 90 dias em biodigestores abastecidos com CF em diferentes frações, com ou sem separação de sólidos e líquidos, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Potencial médio de produção de biogás, corrigido para 20°C e 1 atm., em biodigestores batelada abastecidos com camas de frango de corte em diferentes frações.

Tratamentos	Produção de Biogás					
	Volume (m ³) 90 dias	Substrato	CF_FL_FS	ST* adic	SV** adic	SV** red
CF-SSF+I	0,01156 ab	0,00642 ab	0,298 b	0,171 b	0,231 b	0,384 b
FL+I	0,01315 a	0,00731 a	0,348 a	0,200 a	0,269 a	0,523 a
FL+A+I	0,01086 b	0,00603 b	0,167 c	0,096 c	0,138 c	0,180 c
FS+A+I	0,01150 ab	0,00639 ab	0,180 c	0,103 c	0,149 c	0,206 c
<i>P Value</i>	0,0105	0,0105	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>CV (%)</i>	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85	6,78
<i>R²</i>	0,60	0,60	0,96	0,96	0,96	0,98

Em cada coluna seguida de letras minúsculas comparam tratamento, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05);
* ST: Sólidos totais **; SV: Sólidos voláteis; CF: Cama de frango; FL: Fração Líquida; FS: Fração sólida.

Quanto à produção média de biogás, para as variáveis m³/kg de substrato, apresentaram valores médios superiores (P<0,05) na comparação entre FL+I e FL+A+I. Já na comparação com os outros tratamentos, não houve diferença (P>0,05) entre CF-SSF+I e FS+A+I.

A menor produção de biogás dos tratamentos FL+A+I e FS+A+I, em todos os parâmetros analisados, podem indicar que para o tratamento com FS, pode ter ocorrido uma falta de nutrientes, visto que os mesmos se concentram na FL. Infere-se também a sua maior concentração de frações de difícil degradação. Aires (2009) observou que após a biodigestão anaeróbia de camas de frango de 1º e 2º lote, ocorreu um acúmulo de material residual não degradado. Esse material de difícil degradação carrega

nutrientes de difícil solubilidade, o que pode influenciar em menores volumes de biogás (FUKAYAMA, 2008).

Os valores médios de produção de biogás por kg ST e por kg SV adicionados, foram próximos aos obtidos por Lucas JR et al. (1993) – 0,25 a 0,29 m³ de biogás/kg ST adicionados. Aos encontrados por Santos (1997) – 0,17 a 0,27 m³ de biogás/kg ST adicionados. Aos achados de Webb e Hawkes (1985) – 0,25 a 0,37 m³ de biogás/kg SV adicionados. E aos obtidos por Jamila (1990) citado por Santos (2001) – 0,20 a 0,40 m³ de biogás/kg ST adicionados. Sendo que a diferença se deve provavelmente ao material utilizado e ao número de vezes que a CF foi reutilizada.

Após o pré-processamento da cama de frango, o tratamento com FS+A+I apresentou um valor residual alto de nutrientes o que refletiu no bom desempenho de produção de biogás (0,149 m³/kg SV_{adic}). Enfim, o pré-processamento pode proporcionar uma adição de 0,418 m³/kg SV_{adic}, caso seja realizado a separação de sólidos. O que representa 55,3 % acima do valor obtido sem a separação de frações (0,231 m³/kg SV).

Por meio da visualização do comportamento das curvas de volume de biogás dos tratamentos é possível planejar um sistema que atenda determinada demanda de energia. A antecipação dos picos de produção de biogás dos tratamentos (CF-SSF, FL+I, FL+A+I e FS+A+I) pode ser claramente observada na Figura 1.

Os tratamentos apresentaram picos iniciais de CO₂, caindo em um vazio durante 10 dias em média, ocorrido em seguida um novo pico (CH₄), de menor volume. Porém, após o 11º dia a produção biogás foi interrompida e em função da baixa temperatura registrada no período, com T_{min} e T_{máx.} de 13 e 27 °C. O Tratamento de FL+A+I e FS+A+I, recuperaram o volume de produção diária após o 31º e o 36º dia, respectivamente. Indica-se que a temperatura pode ter influenciado neste período de recuperação do volume, visto que foram registrados T_{min} e T_{máx.} de 16 e 29 °C. Infere-se que a faixa de temperatura entre 13º e 16 °C de temperatura mínima, seja a faixa determinante para que ocorra a biodigestão anaeróbia em mínima produção constante. Segundo Foresti et al. (1999), a temperatura influencia na velocidade do metabolismo bacteriano, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos.

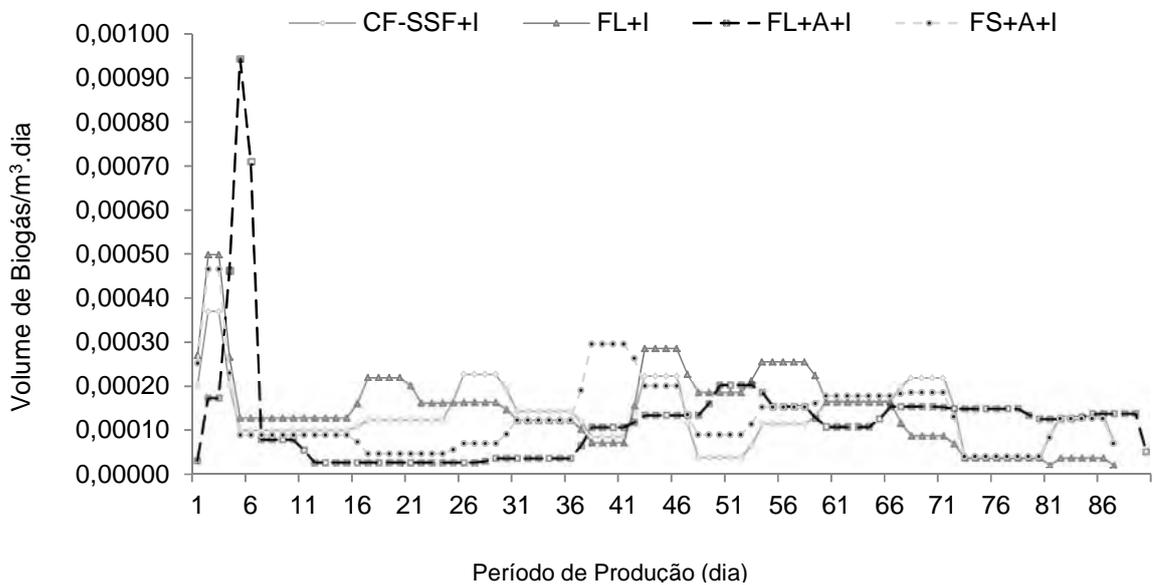


Figura 1. Volume de Biogás m^3/dia , dos tratamentos CF-SSF, FL+I, FL+A+I e FS+A+I em 90 dias de produção, utilizando cama de frango de corte em biodigestores batelada.

Apresenta-se na Tabela 7, os dados referentes aos 90 dias de operação dos biodigestores bateladas, com as produções médias de CH_4 , CO_2 e outros gases (%) presentes no biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte em diferentes frações.

Não houve diferença ($P > 0,05$) entre as médias de CH_4 , CO_2 e outros gases. Porém os percentuais de metano chegaram a obter 90,43 % (CF-SSF+I), 84,79 % (FL+I), 89,25 % (FL+A+I), 89,42 % (FS+A+I). Fukayama (2009) obteve valores de 82,12 % de CH_4 , utilizando CF com a mesma reutilização desse ensaio, em épocas análogas. A CF-SSF+I apresentou a maior média de metano (76,71 %) se comparado como os outros tratamentos avaliados, este fato pode ter ocorrido pela quantidade de material heterogêneo, solúveis, e de solubilidade lenta, contido no substrato.

Tabela 7. Produção média de CH₄, CO₂ e outros gases (%) referente aos 90 dias de operação dos biodigestores batelada, com camas de frango de corte em diferentes frações.

Tratamentos	Percentual do Biogás (%)		
	CH ₄	CO ₂	Impurezas
<i>CF-SSF+I</i>			
5	48,31	36,95	14,74
10	62,74	32,25	5,01
25	69,08	28,34	2,58
40	81,31	16,59	2,10
55	82,95	14,64	2,40
70	89,16	9,21	1,62
85	90,43	8,08	1,50
90	89,66	8,09	2,26
<i>Média</i>	76,71	19,27	4,03
<i>FL+I</i>			
5	56,79	34,67	8,54
10	50,75	31,38	17,87
25	69,14	25,92	4,94
40	68,22	28,90	2,88
55	75,65	23,48	0,88
70	79,23	18,77	2,00
85	84,79	12,97	2,24
90	83,59	11,50	4,91
<i>Média</i>	71,02	23,45	5,53
<i>FL+A+I</i>			
5	43,12	48,14	8,75
10	61,11	31,23	7,66
25	68,50	24,69	6,81
40	73,20	21,36	5,44
55	66,89	17,61	15,50
70	86,08	11,73	2,19
85	89,25	8,74	2,02
90	87,72	9,79	2,49
<i>Média</i>	71,98	21,66	6,36
<i>FS+A+I</i>			
5	34,74	50,32	14,94
10	54,91	40,58	4,51
25	64,44	29,75	5,81
40	72,03	25,15	2,82
55	83,71	14,95	1,33
70	87,10	10,03	2,87
85	89,42	8,45	2,13
90	87,02	10,61	2,37
<i>Média</i>	71,67	23,73	4,60
<i>CV(%)</i>	21,75	55,71	122,53
<i>DMS</i>	10,32	8,00	4,09

Em cada coluna, médias seguida de letras minúsculas comparam tratamento, não diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Estão apresentados na Figura 2, médias do dia inicial de queima dos biodigestores abastecidos com cama de frango em diferentes frações.

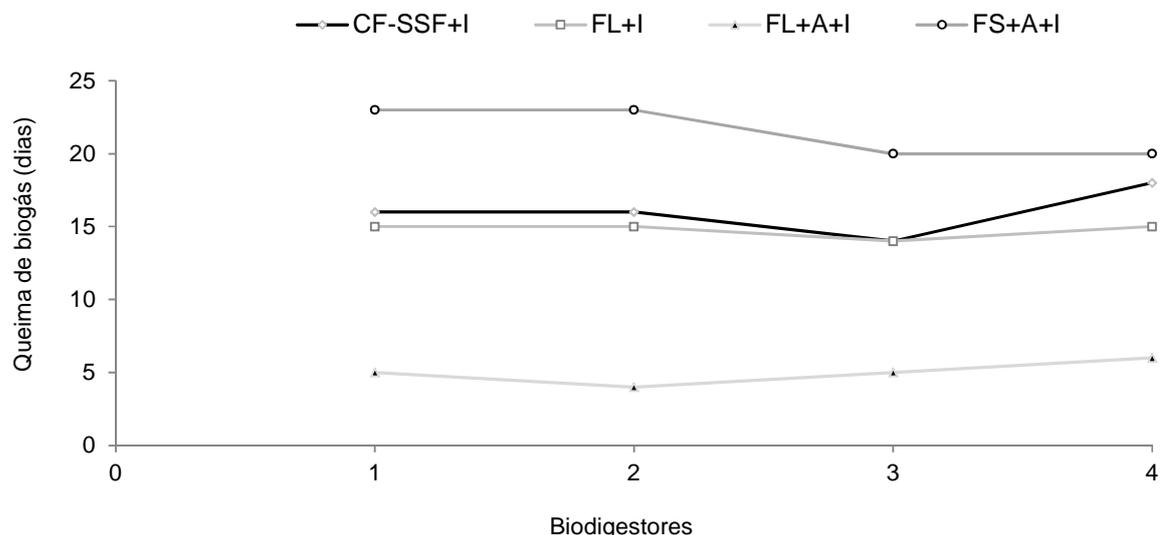


Figura 2. Tempo médio necessário para queima do biogás, nos tratamentos CF-SSF, FL+I, FL+A+I e FS+A+I, utilizando cama de frango de corte em biodigestores batelada.

Os tratamentos apresentaram suas queimas do 5^o ao 23^o dia após o abastecimento dos biodigestores, para os tratamentos com FS+A+I, CF-SSF+I, FL+I e FL+A+I a média foi de 22, 16, 15 e 5 dias, respectivamente. O tratamento com FL+A+I apresentou uma queima precoce diferindo ($P < 0,05$) dos outros tratamentos, indicando maiores vantagens no “start up” de plantas de biogás para substratos com FL+I, pois é possível uma antecipação de até 17 dias da queima do biogás, utilizando o pré-processamento da cama de frangos de corte.

3.4. Conclusões

O pré-processamento da cama de frango de corte, concentra os nutrientes na fração líquida, o que proporciona maiores produções de biogás ($0,269 \text{ m}^3/\text{kg SVadic}$) e teores de até 84,79 % de metano para biodigestores abastecidos com fração líquida e inóculo, o qual obteve antecipação da queima do biogás (5° dia). A fração sólida apresentou um valor residual alto de nutrientes, o qual refletiu no bom desempenho de produção de biogás ($0,149 \text{ m}^3/\text{kg SVadic}$). Enfim, o pré-processamento pode proporcionar uma adição de $0,418 \text{ m}^3/\text{kg SVadic}$, caso seja realizado a separação de sólidos, o que representa 55,3 % acima do valor obtido sem a separação de frações ($0,231 \text{ m}^3/\text{kg SV}$).

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE PRÉ-PROCESSO PARA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGOS DE CORTE COM DIFERENTES TEMPOS DE RETENÇÃO HIDRÁULICA OPERADOS EM SISTEMA CONTÍNUO

RESUMO: O objetivo desse estudo foi avaliar a diluição e a separação de frações sólida e líquida da CF de corte, na biodigestão anaeróbia da FL em biodigestores contínuos com diferentes TRH. Foram realizadas análises de avaliação da produção de biogás e da caracterização mineral dos afluentes e efluentes dos biodigestores. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições, totalizando 12 biodigestores de 60 L. cada. Os tratamentos utilizaram a proporção de 1:6,7 (kg cama / kg água) e 4,97 % de ST, onde os biodigestores receberam cargas diárias de 1,5, 2,0 e 2,5 L. de FL, os quais correspondem a 40, 30 e 24 dias de TRH respectivamente. Tanto no abastecimento, como nas cargas diárias, foram utilizados CF de corte de 2º reutilização. O tempo de retenção hidráulica de 24 dias apresentou maiores produções de biogás (0,443 m³/kgST ou 0,504 m³/kgSV adicionados), indicando que quanto menor o tempo de retenção hidráulica da fração líquida nos biodigestores contínuos, maiores serão os ganhos com biogás. O pré-processamento concentra os nutrientes na fração líquida, o que proporciona maiores teores em menores massas, o que beneficia a aplicação de menores volumes em teores mais concentrados de biofertilizantes.

Palavras-Chave: biogás, biodigestor, peneira estática e rotativa, casca de amendoim, dejetos, pré-processamento.

CHAPTER 4 - ANALYSIS OF PRE-PROCESS ANAEROBIC DIGESTION LITTER POULTRY WITH DIFFERENT TIMES OF RESTRAINT SYSTEM HYDRAULIC OPERATED IN CONTINUOUS

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the dilution and separation of solid and liquid fractions of CF cutting the anaerobic digestion of FL in continuous digesters with different HRT. The analyzes included evaluation of biogas production and mineral characterization of influent and effluent of the digesters. We used a completely randomized design with three treatments and four replications, totaling 12 digesters of 60 L. each. The treatments used the ratio of 1:6,7 (bed kg / kg water) and 4.97% ST, where digesters received daily loads of 1.5, 2.0 and 2.5 L. FL, which correspond to 40, 30 and 24 days respectively HRT. Both the supply, as in daily loads were used cutting CF 2 reuse. The hydraulic retention time of 24 days showed higher biogas production (0.443 or 0.504 m³/kgST m³/kgSV added), indicating that the lower the hydraulic retention time of the liquid fraction in continuous digesters, the greater the gains from biogas. The pre-processing concentrates the nutrients in the liquid fraction, which provides higher levels at lower masses, which benefits the application of lower volumes in more concentrated levels of biofertilizers.

Keywords: biogas, biodigester, static and rotating sieve, peanut shell, preprocessing

4.1. Introdução

A avicultura brasileira vem se destacando nos últimos anos como a 3º maior produtor e maior exportador de carne de frango do mundo. Aliado a esse desempenho, está a tecnificação dos galpões, os quais demandam cada vez mais de energia elétrica, aumentando os custos gerados na criação. No entanto existe uma alternativa para substituição da energia utilizada, pelo biogás gerado na biodigestão anaeróbia de cama de frango de corte.

Há muitos anos a cama de frango vem sendo utilizada como fertilizante no solo, pois possui elementos químicos que podem constituir em nutrientes para o desenvolvimento das plantas, acreditando-se que o solo seja um filtro com capacidade quase ilimitada de absorver e depurar os resíduos nele adicionados (SEGANFREDO, 2000). Mas para uso como fertilizante, a cama de frango deve sofrer um processo de estabilização microbiológica, provocando a decomposição da matéria orgânica de forma aeróbia ou anaeróbia.

Com a utilização de biodigestores, a cama de frango pode tornar-se fonte de geração de energia, por meio da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, obtém-se o biogás com alto poder energético. Há possibilidade de utilização do biogás para geração de energia agregando valor ao dejetos diminuindo seus custos com o tratamento. O biofertilizante, material estabilizado no interior do biodigestor, pode ser utilizado na agricultura, pois é constituído por vários compostos minerais.

Assim, a utilização da biodigestão anaeróbia, propicia que três benefícios ocorram concomitantemente, ou seja, saneamento no meio rural, atendimento da demanda energética e a utilização do material biodegradado como biofertilizante.

Um dos problemas da utilização da cama de frango para biodigestão anaeróbia é a quantidade de material de difícil degradação existente em alguns materiais, como por exemplo, a casca de amendoim, que por muitas vezes pode se tornar um empecilho para os microorganismos na bioconversão do carbono em biogás. Por isso, infere-se que o peneiramento em malha, retendo a fração grosseira existente na cama deva incrementar a produção de biogás e reduzir o percentual de sólidos totais, antes da

biodigestão anaeróbia, proporcionando uma diminuição do potencial poluidor desse resíduo no solo, na água e no ar.

Os ensaios de biodigestão anaeróbia das camas de frango de corte foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o potencial para produção de biogás em biodigestores contínuos, bem como conhecer a distribuição da produção ao longo do tempo, caracterizando os afluentes e efluentes em diferentes tempos de retenção hidráulica.

4.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o qual está instalado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 575 metros.

4.2.1. Delineamento do ensaio de biodigestão anaeróbia

Foi realizado um ensaio experimental, utilizando cama de frango de corte (CF) reaproveitada de três lotes, retirada de uma granja comercial no município de Monte Alto-SP.

A CF utilizada tem como matriz a casca de amendoim (Apêndice 10), a qual foi diluída em água para posterior processo de separação de frações sólida e líquida em peneira estática e rotativa (Apêndices 11A e 11B), ambas com malhas de 0,5 mm.

Os ensaios consistiram em uma diluição na proporção de 1:6,7 (cama kg / água kg). Foram utilizados 12 biodigestores contínuos, distribuídos por delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições.

- | | |
|--|--------|
| a. Fração líquida + água + inóculo, com tempo de retenção de 40 dias | TRH-40 |
| b. Fração líquida + água + inóculo, com tempo de retenção de 30 dias | TRH-30 |
| c. Fração líquida + água + inóculo, com tempo de retenção de 24 dias | TRH-24 |

O processo de diluição da cama/água, ocorreu em duas bateladas de 1 hora de agitação (cada) em tanque de 500 litros, com motor de 1 cv. e 51 rpm e posterior separação de frações sólida e líquida em peneira estática e rotativa.

Nos Apêndices 15, 16A e 16B é apresentada a descrição dos biodigestores contínuos, com capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação. Os biodigestores são constituídos basicamente, por um cilindro reto (1150 mm), o qual comporta um volume de 60 L. Os biodigestores são de fluxo horizontal, sendo a superfície revestida de dois tipos de materiais termoplásticos (polietileno de baixa densidade (preto) e polietileno expandido com poliéster aluminizado), com espessura total de 2,5 mm. O cilindro, denominado câmara de fermentação, possui uma comunicação com tubos, conexões e registros de PVC (50 mm), para entrada e saída dos afluentes e efluentes. Além disso, é composto de uma ligação, por flange e espigão de 25 mm na sua extremidade superior, o qual possui uma linha de comunicação (via mangueira tipo cristal de 3/8") com uma campânula flutuante de PVC (gasômetro), emborcada no "selo d'água", conferindo pressão ao mesmo. O mesmo possui um sistema de coleta de biogás por meio de válvula de bloqueio de 1/2" x 3/8", para retirada/análise do gás armazenado.

4.2.2. Preparo da fração líquida da cama de frango de corte

Foi testada a diluição de 1:6,7 kg de CF / kg água, com ensaios experimentais, tendo como parâmetro os sólidos totais e a utilização da menor quantidade possível de diluente (água), encontrada no Capítulo 2, fundamentada por estudos realizados em Aires (2009).

Para obter a fração líquida das camas realizou-se uma padronização na separação dos sólidos, onde a CF após pesada e diluída na proporção de 1:6,7, era separada por malha de 0,5 mm, em separador de frações sólida e líquida (Apêndices 11A e 11B), resultando em duas frações distintas, FS e FL.

4.2.3. Preparo do inóculo

O inóculo é composto por um “mix” de materiais biodigeridos em biodigestores contínuos de CF e bovinos de leite (Apêndice 13), a ser utilizado nos 12 biodigestores durante a fase inicial de avaliação experimental, tida como abastecimento. O material foi previamente coletado de biodigestores contínuos de dejetos de bovinos e de CF biodigerida em sistema híbrido, sendo formulada uma mistura de 1:1.

4.2.4. Preparo do substrato

O inóculo utilizado para o abastecimento foi preparado para obtenção do teor de sólidos totais próximos a 15 % do total da mistura, como recomendado por Santos (2001), seguindo o modelo proposto por Lucas JR (1994) onde, mistura-se cama de frango, água e inóculo. Os substratos dos abastecimentos dos biodigestores foram preparados para obtenção de teor de ST próximos a 4,0 %.

Todos os tratamentos receberam o mesmo substrato, sendo preparados conforme expressões já citadas em Ortolani et al. (1991) e Lucas JR (1994), no entanto teve-se que adaptá-las para FL de cama de frango segundo Aires (2009).

Na Tabela 1, estão apresentados os períodos de operação dos experimentos e as quantidades médias dos componentes do substrato colocados nos biodigestores.

Tabela 1. Períodos de operação, tempos de retenção hidráulica (TRH) e valores médios dos componentes iniciais do substrato adicionado nos biodigestores.

Tratamentos	Período de Operação	TRH (dias)	Água (kg)	FL (kg)	Inóculo (kg)
<i>TRH-40</i>	28/jun à 25/out (110 dias)	40	17,56	29,70	10,74
<i>TRH-30</i>		30			
<i>TRH-24</i>		24			

4.2.5. Preparo das cargas e coletas de efluentes

Foram realizados cálculos para obtenção de um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 40, 30 e 24 dias. Portanto, foram adicionados 1,5; 2,0 e 2,5 L diários (Apêndice 11B) da fração líquida da cama de frango.

O início das cargas diárias foi realizado após a queima do biogás e adequações corretivas de vazamento de gases.

Todas as cargas receberam o mesmo substrato, sendo preparados conforme expressões já citadas em Ortolani et al. (1991) e Lucas JR (1994), citados por Aires (2009).

Na mesma hora em que eram realizadas as cargas, eram feitas as coletas diárias dos efluentes, sendo separadas duas vezes por semana, em recipientes de polipropileno, obtendo duas amostragens para cada biodigestor/semana, totalizando 24 amostras de efluentes e duas amostras de afluentes/semana. Enfim foram coletadas 260 amostras.

4.2.6. Dados meteorológicos do período experimental

São apresentadas no Apêndice 14, as médias das variáveis climáticas em Jaboticabal – SP, obtidas durante o período experimental.

4.2.7. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis foram determinadas segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA[®] A11 basic, para determinação de todos os parâmetros avaliados.

4.2.8. Digestão e quantificação dos minerais

As amostras coletadas foram digeridas utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Com este extrato foi possível determinar-se os teores dos macro e micronutrientes: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g e zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo Bataglia et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) e utilização do destilador micro-Kjeldahl, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados pela da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

4.2.9. Determinação da produção de biogás

Foram determinados os volumes diários de biogás, através da medição do deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos gasômetros, ou seja, $0,0491 \text{ m}^2$. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985).

4.2.10. Teste de queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores contínuos para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama.

Os testes foram realizados por meio de um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do biodigestor. Se ao colocar fogo no Bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima. Após a detecção da mesma, este teste não mais era necessário, sendo efetuado, portanto, apenas no início do processo.

4.2.11. Determinação dos teores de metano e dióxido de carbono e outros gases

Para avaliação do teor de metano no biogás produzido, foram retiradas amostras semanais de biogás durante o período experimental, utilizando-se seringas de plástico de 100 mL de volume, apropriadas para coletas de biogás, sendo as determinações

feitas utilizando-se cromatógrafo de fase gasosa GC 2001, equipado com colunas Porapack Q e Peneira Molecular 5A, utilizando o hidrogênio como gás de arraste.

4.2.12. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS “program version” 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis

4.3.1.1. Teores de sólidos totais e voláteis do material utilizado na carga

Na Tabela 2 é apresentada a concentração de ST e SV (% e kg) da matéria prima utilizada para realização de carga dos biodigestores contínuos. Sendo que, foi realizada uma carga no pré-processo, na proporção de 100 litros de água para 15 kg de CF, para análise das frações e posterior abastecimento.

Tabela 2. Concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem e massa, para as diferentes matérias primas utilizadas no delineamento dos ensaios experimentais, em biodigestores contínuo.

Materiais	ST		SV	
	(%)	(kg)	(%)	(kg)
Cama de Frango	81,45	-	78,11	-
MixTQ (1:6,7)	9,08	1,36	79,20	11,88
Fração Líquida	5,69	0,91	78,65	11,80
Fração Sólida	24,37	3,50	84,97	12,74
Inóculo	2,17	-	71,72	-

* MixTQ = Coleta da mistura (cama de frango/água) do tanque de agitação, após uma hora de processamento.

Os cálculos de abastecimento foram realizados com base no ensaio experimental do Capítulo 2, onde se utilizou a proporção de 1:6,7. Assim foram considerados nas cargas os seguintes valores de CF (84,96 %), MixTQ (8,19 %), FL (4,97 %) e FS (27,83 %). Na análise entre os resultados, pôde se observar uma heterogeneidade no

processo de separação de frações. Em comparação a análise entre os resultados obtidos nesta batelada do pré-processamento, pode se inferir uma heterogeneidade da cama de frangos de corte, como fator de desvio dos resultados obtidos. Por isso, estudos com diferentes tempos de agitação, rotação por minuto e impelidores, devem ser realizados, para que se alcance uma homogeneidade nas concentrações de sólidos.

Estão apresentados na Tabela 3, os dados de concentração de ST e SV (% e kg), dos afluentes e efluentes dos biodigestores de diferentes tempos de retenção hidráulica, além das suas reduções de SV.

Tabela 3. Concentrações de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem, para as diferentes TRH, em biodigestores contínuos.

Criação Aves	Sólidos Totais					Sólidos Voláteis				
	A	E	A	E	Redução	A	E	A	E	Redução
	----(%)----		----(kg)----		%	----(%)----		----(kg)----		%
TRH-40		2,11		1,26	45,86 a		1,20		0,72	34,90 a
TRH-30	3,89	2,30	2,33	1,38	40,73 b	1,85	1,35	1,11	0,81	27,10 b
TRH-24		2,50		1,50	35,82 c		1,49		0,89	19,42 c

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$)

Houve diferença ($P < 0,05$) entre os diferentes TRH, para redução da matéria orgânica, quer para 24 dias, 30 ou 40 dias de THR. Estes resultados indicam que para o tratamento adequado de resíduos, com maiores reduções de SV, são necessários 40 dias. Ao passo que, Amaral, Schocken e Lucas Jr. (2000) verificaram a redução de 99,5% de NMP de coliformes totais e termotolerantes, em dejetos de aves quando submetidos à biodigestão anaeróbia, utilizando TRH de 24 dias. Portanto, pode-se inferir que o TRH de 24 dias, já pode ser suficiente para eliminação de alguns patógenos.

Maiores reduções ($P < 0,05$) de ST foram obtidos com a biodigestão anaeróbia de FL da CF, conforme se aumenta o TRH's (35,82; 40,73 e 45,86), indicando que, quanto maior o tempo de detenção do material, maior é a eficiência do sistema de tratamento. Aires (2009) trabalhou com separação de frações sólidas em biodigestores bateladas

com 49 dias de TRH, onde encontrou valores de 34,33; 40,24; 34,4 e 56,55 % de reduções de ST para CF de 1º, 2º, 3º e 4º lotes. O mesmo autor trabalhou com biodigestores contínuos, utilizando TRH de 30 dias, onde obteve o valor de 46,58 % de ST reduzidos. Estes resultados evidenciam que em sistemas contínuos os biodigestores vão obter reduções de 35 a 45 % em média, para TRH's entre 24 e 40 dias. Estes valores podem ser utilizados para cálculos de eficiência de processos e escolha de TRH para implantação de unidades de tratamento e aproveitamento energético de CF.

4.3.2. Concentração de nutrientes

4.3.2.1. Concentração de nutrientes dos materiais utilizados na carga

É apresentada na Tabela 4, a concentração de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos materiais utilizados na carga dos biodigestores contínuos.

Tabela 4. Concentrações de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos materiais utilizados na carga dos biodigestores contínuos.

Materiais	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
	------(g/100g)-----						------(mg/kg)-----			
Cama de Frango	3,44	0,82	1,96	2,97	0,77	0,66	750	700	500	1750
MixTQ (1:6,25)	3,28	0,86	4,01	3,20	1,20	1,16	1250	900	850	2700
Fração Líquida	4,1	0,42	4,20	3,32	1,20	1,19	1250	950	900	2750
Fração Sólida	2,44	0,57	0,92	1,65	0,39	0,38	700	500	450	1300
Inóculo	4,05	0,89	1,94	3,07	0,95	0,86	1350	650	850	3950

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05)

Após os pré-processamento da CF, os nutrientes tendem a se concentrar na FL, ou seja, maiores percentuais de minerais migram da malha da peneira e seguem com o meio líquido. Este resultado é importante para o embasamento da utilização da separação de frações sólida e líquida de CF. Ou seja, o pré-processamento da CF é

eficiente para otimização do processo de tratamento, visto que maiores quantidades de nutrientes se disponibilizam após a diluição e a separação de frações.

4.3.2.2. Concentração de nutrientes dos afluentes e efluentes

Os teores de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos afluentes e efluentes serão apresentados nas Tabelas 5.

Tabela 5. Concentrações de macronutrientes (g/100g de MS), micronutrientes (mg/kg de MS) e sódio (g/100g MS), dos afluentes e efluentes utilizados nos biodigestores contínuos com diferentes tempos de retenção hidráulica.

Tratamentos		N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
		------(g/100g)-----						------(mg/kg)-----			
TRH-40		4,42	0,70	1,43 b	3,14	1,16 b	1,18 b	578	588	688 a	1395
TRH-30	A	4,42 b	0,70	1,43 b	3,14	1,16 b	1,18 b	578	588	688	1395
TRH-24		4,42 b	0,70 b	1,43 b	3,14	1,16 b	1,18 b	578	588	688 a	1395
TRH-40		4,71	0,79	2,97 a	3,07	1,73 a	1,86 a	520	1008	483 b	1278
TRH-30	E	4,91 a	0,80	2,74 a	3,13	1,68 a	1,75 a	531	1058	525	1285
TRH-24		4,92 a	0,85 a	2,84 a	3,03	1,68 a	1,87 a	514	946	475 b	1167

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Todas as concentrações de macronutrientes nos efluentes (com exceção ao Ca) apresentarem-se maior (P<0,05) que nos afluentes de todos os tratamentos. Quando se avalia a massa (kg), observa-se que houve uma redução nos sólidos totais (ST) dos efluentes com a biodigestão anaeróbia. No entanto o Mn apresentou quadro inverso, mostrando reduções (P<0,05) para o TRH-40 e TRH-24. O mesmo quadro foi encontrado por Fukayama (2009) e Aires (2009), quando realizou ensaios de biodigestão anaeróbia de CF, o que indica haver uma concentração de nutrientes, que no entanto, nem sempre possui uma constância nos resultados. Infere-se que um dos motivos pode estar relacionado com a complexação do material orgânico existente na CF, que dificulta a desaglomeração das partículas, ocorrendo uma heterogeneidade na disponibilidade e solubilização dos nutrientes. Como exemplo, o nitrogênio se

concentrou ($P < 0,05$) após a biodigestão anaeróbia nos tratamentos com TRH-30 e TRH-24, ao passo que o mesmo não ocorreu para o TRH-40.

4.3.3. Produção de biogás dos biodigestores contínuos

O potencial médio de produção de biogás, assim como ST e SV adicionados e SV reduzidos (m^3/kg), durante 30 dias em biodigestores abastecidos com CF em diferentes tempos de retenção hidráulica encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6. Potencial médio de produção de biogás, corrigido para 20°C e 1 atm., em biodigestores contínuo abastecidos com camas de frango em diferentes tempos de retenção hidráulica.

Tratamentos	Produção de Biogás (m^3)					
	Volume (m^3) 30 dias	Substrato	Cama	*STadic (m^3/kg)	**SVadic	***SVred
TRH-40	0,356 c	0,009 c	0,203 c	0,298 c	0,339 c	0,491 c
TRH-30	0,456 b	0,011 b	0,261 b	0,382 b	0,434 b	0,629 b
TRH-24	0,530 a	0,013 a	0,303 a	0,443 a	0,504 a	0,730 a
<i>P Value</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>CV (%)</i>	4,18	4,45	4,18	4,18	4,18	4,18
<i>R²</i>	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* ST: Sólidos totais **; SV: Sólidos voláteis; CF: Cama de frango; FL: Fração Líquida; FS: Fração sólida.

Houve uma produção de biogás (m^3) maior ($P < 0,05$) para o TRH-24 em todos os parâmetros analisados. Com a diminuição do TRH, ocorreu um aumento do volume de biogás tanto para m^3/kg de substrato, como para cama, ST adicionados, SV adicionados e SV reduzidos. Ou seja, quanto menor THR da FL nos biodigestores contínuos, maiores serão os ganhos com biogás. O que precisa ser comprovado, é a sua estabilidade após a biodigestão anaeróbia.

Esses resultados inferem que o TRH da FL da CF, pode ser diminuído até 24 dias, pois apresentará maiores volumes de biogás do que 30 e 40 dias de TRH. E indica que novos ensaios com TRH menores que 24 dias, podem surpreender com resultados interessantes.

Com esses resultados evidenciando maiores produções de biogás (0,504 m³/SVadic) com menores TRH (24), menores serão os custos com instalação de plantas de biogás. Por exemplo, um produtor que necessita de um biodigestor de 1500 m³, e teria que investir em torno de R\$ 225.000,00, vai poder diminuir o custo do investimento em R\$ 45.000,00, pois vai necessitar de um biodigestor de 1.200 m³, valor este que pode ser utilizado para aquisição de um sistema de pré-processamento de CF.

Estão apresentados na Figura 1, os valores diários do volume de biogás (m³) produzido pelos biodigestores abastecidos com cama de frango, nos seguintes tratamentos TRH-40, TRH-30 E TRH-24.

A curva de produção de biogás ao longo do tempo demonstra um pico de CO₂ logo no início do processo e passou por um período de baixa produção em função de um problema operacional identificado do 16° ao 36° dia de operação, o qual se relaciona a vazamentos do gás via gasômetro. Este período de 20 dias foi suficiente para sanar os vazamentos de três gasômetros. Enfim tornou-se tardia a carga contínua nos biodigestores, iniciando a mesma após o 37° dia de operação.

Por esse problema operacional enfrentado, ocorreu uma queima tardia de três biodigestores com vazamento. No entanto a média de queima entre os tratamentos ficou em torno de 40 dias operacionais.

O platô dos tratamentos, visualizado no gráfico, ocorreu aos 80 dias de operação, apresentando uma leve queda até o 92° dia, visto as baixas temperaturas ambiente registradas (16,2 °C min. e 31,9 °C máx.). Em seguida, após os 92 dias de operação podem ser observados que ocorreu uma recuperação dos microorganismos, em função do aumento da temperatura ambiente (19,4 °C min. e 33,8 °C máx.).

Em seguida aos 100 dias de operação, foi cessada a carga diária, o que suplantou no falecimento dos microorganismos e a diminuição da curva de produção de biogás (registrados nos 10 dias finais de operação, sem carga).

Por meio da visualização do comportamento das curvas de volume de biogás dos tratamentos é possível planejar um sistema que atenda determinada demanda de energia. Esse conhecimento pode auxiliar na elaboração de programas que utilizem a biomassa na geração de bioenergia durante a criação de frangos de corte.

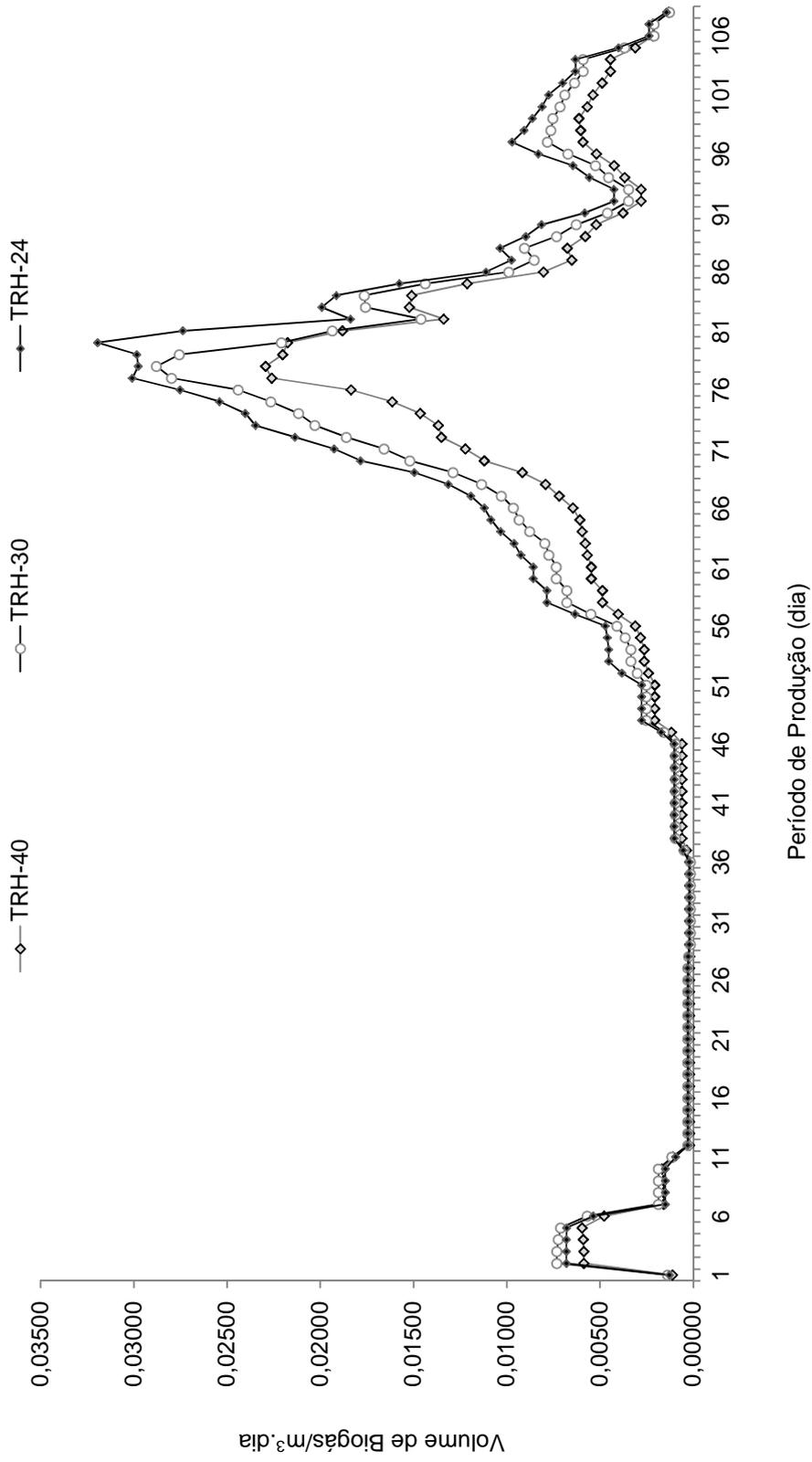


Figura 1. Volume de Biogás m³/dia, dos tratamentos com 10 dias de produção, utilizando cama de frango de corte em biodigestores contínuo, operados em diferentes tempos de retenção hidráulica.

Estão apresentados na Tabela 7, os valores médios de CH₄, CO₂ e outros gases (%) presentes no biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte em diferentes tempos de retenção hidráulica.

Tabela 7. Porcentagem de CO₂, CH₄ e outros gases (%) a partir da sétima semana para tratamentos com diferentes tempos de retenção hidráulica.

Tratamentos	Percentual do Biogás (%)		
	CH ₄	CO ₂	Outros Gases
TRH-40	77,80	16,41	5,79
TRH-30	75,23	19,22	5,55
TRH-24	72,34	22,67	4,99

Em cada coluna médias seguidas de letras diferentes, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

A produção de metano obteve médias entre 77,8 e 72,43 %, já o gás carbônico, apresentou entre 16,41 e 22,67 % para os diferentes TRH ao longo do período em que se realizaram cargas contínuas (início 37 dias). Pode-se inferir que os tratamentos com menores TRH, apresentaram menores valores médios de metano. Aires (2009) realizou trabalho de separação de frações, para utilizar a FL na carga de biodigestores contínuos, e obteve valores médios de metano (69,23 %) abaixo dos valores encontrados para o mesmo TRH (30 dias). Indicando que talvez o pré-processamento da CF utilizado nesse ensaio, possa ter maiores eficiências na desaglomeração das partículas e vantagens na concentração dos nutrientes, o que proporcionou medias de 75,23 % de metano.

4.4. Conclusões

O tempo de retenção hidráulica de 24 dias apresentou maiores produções de biogás (0,443 m³/kgST ou 0,504 m³/kgSV adicionados), indicando que quanto menor o tempo de retenção hidráulica da fração líquida nos biodigestores contínuos, maiores serão os ganhos com biogás. O pré-processamento concentra os nutrientes na fração líquida, o que proporciona maiores teores em menores massas, o que beneficia a aplicação de menores volumes em teores mais concentrados de biofertilizantes.

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTÓTIPO DE COMPOSTAGEM “IN-VESSEL” DE CARÇAÇAS DE AVES

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar o processo de compostagem “in-vessel” da FS da CF com carcaças de aves. O processo consiste em um tratamento com duas fases, sendo a 1ª fase tida como mesofílica (45 °C constante), conduzida por um período de 15 dias e a 2ª fase, tida como maturação, realizada fora do reator em leiras, até a sua estabilização (durante 30 dias). Os tratamentos utilizados foram a mistura de carcaças de aves e FS, CF e FS (FS é a fração sólida retida em malha de 0,5 mm após diluição de 1:6,7 (cama/água) e separação de frações em peneira estática e rotativa sequenciais). O sistema possui controles de temperatura e umidade, reciclo de inóculo via bombeamento, aquecimento via resistências e termostatos. Foram utilizados nove reatores contendo três tratamentos e três repetições, onde foram adicionados volumes de 10 kg de resíduos em cada reator, com 5 kg de carcaças de aves para o tratamento AVE+FS. Após o fechamento dos reatores, foram analisados a cada três dias: ácidos voláteis; alcalinidade; pH; produção de biogás; substrato de entrada e nutrientes do efluente sólido antes e após a 2ª fase. O protótipo foi eficiente no tratamento acelerado dos resíduos de carcaça de aves, cama de frango e fração sólida. A inclusão de passos anaeróbios no processo de compostagem pode aumentar a velocidade de degradação da matéria orgânica (82,88 % ST), diminuindo o tempo de tratamento do resíduo, o qual pode ser tratado em 30 dias dividido em duas fases, anaeróbia e aeróbia. O biogás gerado obteve alto volume no período de reação anaeróbia, porém não ocorreu a geração de metano acima de 22,95 %.

Palavras-Chave: biogás, adubo orgânico, cama de frango, relação C:N

CHAPTER 5 - PERFORMANCE ANALYSIS OF PROTOTYPE OF COMPOSTING "IN-VESSEL" POULTRY CARCASS

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the composting process "in-vessel" of the FS with CF poultry carcasses. The process consists of treatment with two phases, the 1st phase regarded as mesophilic (45 ° C constant), conducted over a period of 15 days and 2 nd phase, taken as maturation, held outside the reactor in windrows until its stabilization (for 30 days). The treatments were a mixture of poultry carcasses and FS CF and FS (FS is retained in the solid fraction of 0.5 mm mesh after dilution 1:6,7 (bed / water) separation sieve fractions in static and rotating sequential). The system has temperature and humidity controls, recycle inoculum via pumping, heating thermostats and via resistance. A total of nine reactors containing three treatments and three replications, where volumes were added to 10 kg of waste in each reactor, with 5 kg of poultry carcasses for treating stroke + FS. After closing the reactors were analyzed every three days: volatile acids, alkalinity, pH, biogas production; substrate input of nutrients and solid effluent before and after the 2nd phase. The prototype was effective in the treatment of accelerated waste of poultry carcasses, poultry litter and solid fraction. The inclusion of steps anaerobic in the composting process may increase the rate of degradation of organic matter (82.88% ST), decreasing the treatment time of residue, which can be treated on 30 days divided into two stages, anaerobic and aerobic . The high volume biogas obtained during the anaerobic reaction, but there was not the generation of methane over 22.95%.

Keywords: biogas, organic fertilizer, poultry litter, C:N ratio

5.1. Introdução

A compostagem “in-vessel” pode ser definida, como um processo biotecnológico, desenvolvido em meio aeróbio controlado (temperatura, umidade e oxigênio), realizado por uma colônia mista de microrganismos tendo como objetivo, segundo Tsutya (2000), a conversão biológica de matéria orgânica putrescível para uma forma estabilizada, com destruição de patógenos, redução da umidade e produção de um produto que possa ser utilizado na agricultura.

Segundo Kim et al. (2008), essa forma de compostagem controlada vem se destacando, pela sua eficiência no tempo de tratamento e pela diminuição de odor durante o processo, que ocorre em ambiente lacrado.

A compostagem “in-vessel” pode ocorrer em diferentes fases, contendo termofílicas e mesofílicas, aliadas a fases anaeróbias e aeróbias, em diferentes tempos de retenção microbiana. No entanto, da mesma forma que a compostagem “windrow” (tradicional), utiliza a ação de microrganismos para o seu objetivo, degradação de material orgânico. Segundo Walker et al. (2009) o material a ser compostado, pode sofrer aeração pressurizada em uma primeira fase, durante seis dias e uma segunda fase anaeróbia, com microrganismos termofílicos, durante sete dias, precedida de mais sete dias de maturação.

Fernandes e Silva (2000) estudaram um sistema híbrido de compostagem “in-vessel” que possui processos termofílicos em reatores fechados durante 7 a 15 dias, que precedem uma fase aeróbia de maturação e estabilização do composto de até 30 dias de tempo de detenção.

Novos estudos de compostagem “in-vessel” estão sendo desenvolvidos para avaliação de protótipos (Lashermes et al., 2012), de frações sólidas de peneiras (Bustamante et al., 2012), para avaliar resíduos de alimentação (Chun-Jiang et al., 2012), lodos de estações de esgoto (CUKJATI et al., 2012) e carcaças de animais (Lutz, 2011). O foco das pesquisas é norteado para área de desenvolvimento tecnológico de equipamentos automatizados e processos avançados para tratamento de diferentes resíduos orgânicos.

A compostagem é uma técnica idealizada para acelerar a estabilização aeróbia e a humificação da porção fermentável dos resíduos vegetais ou animais, através da ação de microrganismos específicos, obtendo-se como produto final o composto orgânico (KIEHL, 2002). Este composto pode ser aplicado no solo com várias vantagens sobre os fertilizantes químicos de síntese, exercendo influências tanto nas propriedades físicas quanto nas propriedades químicas e microbiológicas do solo.

Durante a compostagem, substratos facilmente degradáveis (que incluem AVT residual de sólidos anaeróbios), são rapidamente consumidos, com liberação significativa de energia, aquecendo o material (WALKER; CHARLES e CORD-RUWISCH, 2009). Dependendo da degradabilidade do substrato orgânico, o abastecimento de oxigênio (O_2) pode elevar a temperatura do material, em 70 °C ou mais, o que contribui para a eliminação de agentes patogênicos (NEKLYUDOV; FEDOTOV e IVANKIN, 2006). É, portanto, lógico e vantajoso o desenvolvimento processos que combinam a biodigestão anaeróbia e a compostagem de resíduos, para otimização de processos.

O objetivo desse estudo é avaliar o protótipo de compostagem “in-vessel” para tratamento de resíduos de granjas avícolas e analisar o desempenho da produção de biogás.

5.2. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal, o qual está instalado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude de 575 metros.

5.2.1. Desenvolvimento do protótipo para compostagem “in-vessel”

O projeto foi elaborado, com base nos conceitos adquiridos em Aires (2009) e estudos de equipamentos e processos descritos em (Fernandes e Silva, 2000; Walker

et al., 2009; Rihani et al., 2010; Lutz, 2011; Bustamante et al., 2012; Chun-Jiang et al., 2012; Cukjati et al., 2012; Lashermes et al., 2012).

Dessa forma foi desenvolvido um fluxograma com detalhamento dos procedimentos operacionais (Figura 1) e detalhes do escopo de desenvolvimento do projeto de fabricação dos equipamentos (Apêndice 17A e 17B).

O sistema é constituído de nove reatores de 300 x 1000 mm (Apêndice 17C), com capacidade total de 60 litros, na parte inferior há um sistema de drenagem de fração líquida e na parte superior um sistema de aspersão de inóculo via bombeamento automatizado em batelada diária. Todo o conjunto é envolto em seu interior, por um coletor de malha de 2 mm de diâmetro (cápsula de substrato). Os tanques são vedados por flange na parte superior e caps na parte inferior do reator. Além disso, os reatores possuem duas flanges com registros de 25 mm, uma na parte superior e outra lateral-superior, sendo uma delas de entrada de inóculo e outra de saída do biogás para o seu respectivo gasômetro de mesma medida.

Além disso, foi previsto um sistema de filtragem via peneira de 1 mm em dreno nos pisos dos reatores e brita nº 3.

Na extremidade superior do tanque, foi dimensionado um sistema de ganchos para facilitar içamento da cápsula de substrato.

O sistema de aquecimento é composto de um tanque de 3 m³ de volume útil, com 1200 x 2500 mm (T1). O mesmo possui uma estrutura metálica de suporte, que o eleva para 1700 mm. O T1 está conectado por tubulação, a um tanque de aquecimento de água submerso (T2), o qual possui duas resistências de 3000 kw cada. A água do tanque submerso aquece o tanque que contem os reatores em “Banho Maria”, a uma temperatura de 45 °C, constante. Para auxiliar o início do aquecimento e a garantia de manutenção de temperatura, em casos de problemas com a resistência, foi previsto a utilização de seis termostatos de 500 kw cada.

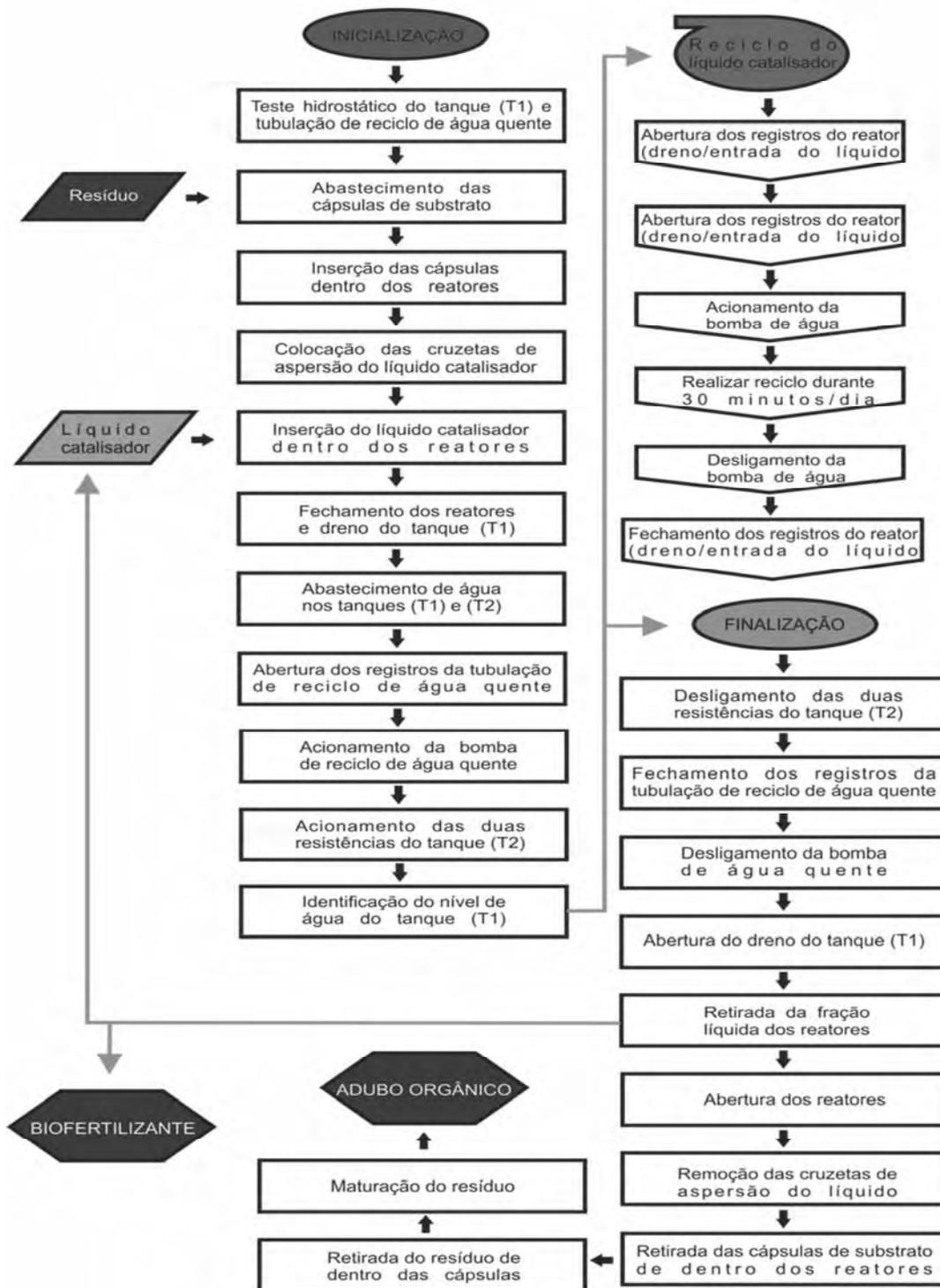


Figura 1. Fluxograma de procedimentos operacionais do protótipo de compostagem “in-vessel”.

5.2.2. Delineamento do ensaio experimental de compostagem “in-vessel”

Foi realizado um ensaio experimental, utilizando cama de frango de corte (CF) reaproveitada de três lotes, retirada de uma granja comercial no município de Monte Alto-SP.

A CF utilizada tem como matriz a casca de amendoim, a qual foi diluída em água para posterior processo de separação de frações sólida e líquida em peneira estática e rotativa, ambas com malhas de 0,5 mm.

Os ensaios consistiram em uma diluição na proporção de 1:6,7 (cama kg / água kg), para utilização da fração sólida (FS) em dois dos três tratamentos. Foram utilizados nove reatores, distribuídos por delineamento inteiramente casualizado, sendo três tratamentos e três repetições:

- | | |
|--|-----------|
| a. Carcaça de Aves + fração sólida + inóculo | AVE+FS+IN |
| b. Cama de frango + inóculo | CF+IN |
| c. Fração sólida de cama de frango + inóculo | FS+IN |

O processo de diluição da cama/água, ocorreu em uma batelada de 1:00 hora de agitação em tanque de 500 litros, com motor de 1 cv. e 51 rpm e posterior separação de frações sólida e líquida em peneira estática e rotativa. E após esse pré-processo, foi coletada a FS da peneira rotativa, para posterior utilização na compostagem “in-vessel”.

A partir de uma adaptação dos relatos encontrados em Rihani et al. (2010) e Walker et al. (2009), foi realizada a primeira fase da compostagem “in-vessel”. Neste processo, foi dada atividade anaeróbia em reator fechado por 15 dias, após essa fase, foi realizada a maturação do substrato, classificada como etapa aeróbia, realizada em três leiras agrupadas por tratamento, segundo procedimento de compostagem descrita por (Kiehl, 1985).

5.2.3. Materiais utilizados na compostagem, montagem, controle e monitoramento

Todos os resíduos foram pesados e analisados segundo os seus teores de nitrogênio e carbono, e os teores dos nutrientes do afluente e efluente dos reatores e

das leiras, antes e após de cada fase. Em seguida são apresentados na Tabela 1, os materiais utilizados no abastecimento do processo de compostagem “in-vessel”.

Tabela 1. Quantidades médias dos componentes iniciais do substrato colocado nos reatores.

Tratamento	AVE	CF	FS	IN	BRITA	Carga Total
	------(kg/reator)-----					
AVE+FS+IN	5,00	-	10,00	12,93	10,00	37,93
CF+IN	-	10,00	-	27,58	10,00	47,58
FS+IN	-	-	10,00	8,47	10,00	28,47

Obs.: Foram adicionados 33 L de inóculo em cada reator (divididos em 11 dias), após a partida do processo.

Na primeira fase, foi realizado o monitoramento e controle de temperatura do “banho maria”, via termostados e controlador de temperatura de resistência em painel de controle automático, através de troca térmica via bomba d’água. Além disso, foram monitoradas as temperaturas internas dos reatores, via termo-higômetro digital Incoterm. Na segunda fase, foi realizado o monitoramento/controle de temperatura/umidade (60%) a cada três dias, durante 30 dias de maturação.

Para obter um material mais homogêneo, ao fim do processo de compostagem, o material foi separado em peneira com malha de 10 mm.

5.2.4. Determinação dos valores de pH, alcalinidade e ácidos voláteis totais

O pH foi determinado, de acordo com a APHA, AWWA, WPCF (1998), nos efluentes dos reatores “in-vessel”.

Os parâmetros alcalinidade total (AT), obtidos com a titulação da amostra até pH 4,30 e alcalinidade (AP), com titulação até pH 5,75, foram determinados segundo metodologias descritas por APHA (2000) e Jenkins *et al.* (1991). Por meio desta metodologia será determinada também o valor da alcalinidade intermediária (AI), entre o pH 5,75 e 4,30.

A análise de ácidos voláteis totais (AVT) por titulometria foi determinada conforme descrito por Dilallo & Albertson (1961).

5.2.5. Determinação dos teores de sólidos totais e voláteis

As amostras destinadas às determinações dos teores de sólidos totais e voláteis, da leira, foram determinadas segundo metodologia descrita pela APHA (2000).

Em seguida as amostras foram previamente moídas em moinho IKA[®] A11 “basic”, para determinação de todas as análises experimentais realizadas.

5.2.6. Digestão e quantificação de minerais

As amostras coletadas foram digeridas utilizando-se do método da digestão ácida Nítrico-Perclórica, segundo metodologia descrita pela APHA (1998).

Com este extrato foi possível determinar-se os teores dos macro e micronutrientes: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) em g/100g e zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Ferro (Fe) em mg/kg, segundo Bataglia et al. (1983).

A digestão das amostras para determinação do nitrogênio foi realizada utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) e utilização do destilador micro-Kjeldahl, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1991).

Os demais elementos foram quantificados pela da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica GBC, modelo 932 AA.

5.2.7. Teor de carbono orgânico e matéria orgânica compostável

Foram coletadas amostras no início e ao final de cada fase, para determinar o carbono orgânico (C %) e calcular a matéria orgânica compostável (MOC %), segundo metodologia de Lossin (1971) citado por KIEHL (1985).

5.2.8. Produção de biogás dos reatores de compostagem “*in-vessel*”

Foram determinados os volumes diários de biogás, por meio da medição do deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção

transversal interna dos gasômetros, ou seja, 0,0491 m². A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985).

5.2.9. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS “program version” 9.1. (2003) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Temperatura interna dos reatores, ambiente e do “Banho Maria”

Os resultados que se referem ao acompanhamento da temperatura (°C) interna dos reatores de compostagem “in-vessel” nos tratamentos AVE+FS, CF+IN e FS+IN, temperatura ambiente e de controle do “banho Maria”, durante o período de compostagem “in-vessel”, estão representados na Figura 1. Este parâmetro é considerado como um fator determinante na eficiência do processo sobre a redução das características poluentes do resíduo e por isto é utilizado como indicador de desempenho do processo de compostagem.

É possível observar que os tratamentos apresentaram temperaturas similares, porém o tratamento com AVE+FS+IN apresentou temperatura abaixo dos tratamentos CF e FS nos primeiros 8 dias. A curva de temperatura ambiente apresentou uma média de 22,38 °C, já a temperatura interna dos reatores apresentaram valores médios de 29,68 °C e o “banho Maria” atingiu média de 43,36 °C. Infere-se que a temperatura do “banho Maria” adiciona 13,68 °C de temperatura interna, aos reatores, ou seja, 7,30 °C acima da temperatura ambiente, quando exigido do controlador de temperatura, platô constante de 45 °C. Estes dados operacionais são importantes para alimentação de dados do protótipo, para realização de estudos posteriores.

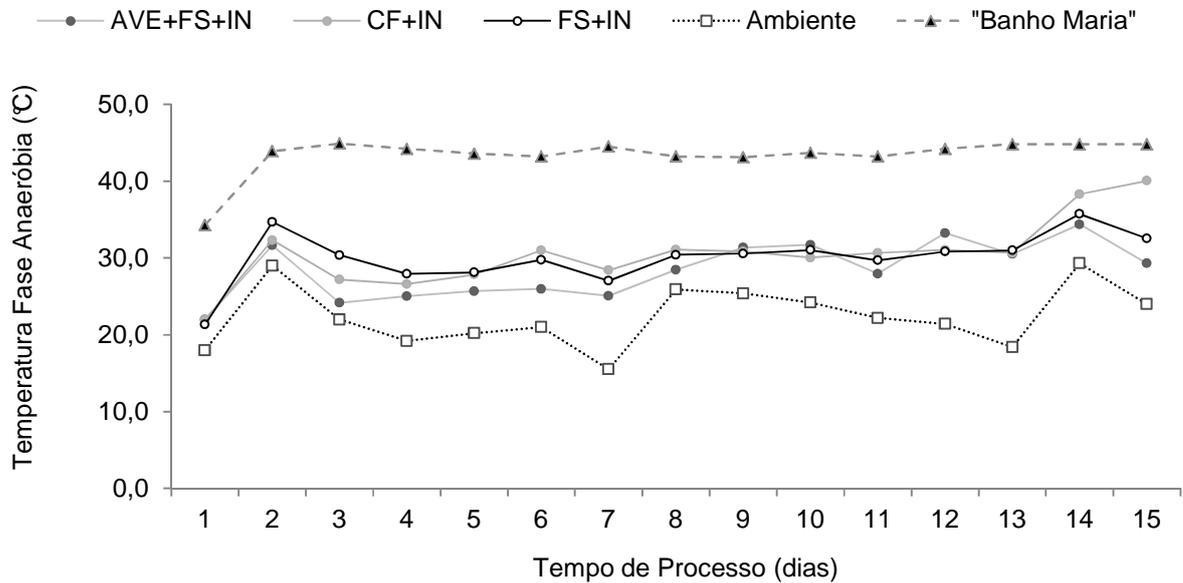


Figura 1. Temperatura (°C) interna dos reatores de compostagem “in-vessel” nos tratamentos AVE+FS, CF+IN e FS+IN, ambiente e de controle do “banho Maria”, ao longo dos 15 dias de processo.

Os sensores de temperatura ficaram na extremidade interna superior dos reatores, em contato apenas com o biogás. Assim, a leitura do gráfico acima, representa a oscilação da temperatura do biogás.

Na Figura 2 são apresentadas as temperaturas (°C) médias diárias das leiras de compostagem, para os tratamentos AVE+FS, CF+IN e FS+IN, na fase aeróbia de compostagem pós saída do reator.

As temperaturas das leiras não atingiram valores acima de 50 °C, o que dificultou a degradação da matéria orgânica remanescente do processo anterior. Esta baixa temperatura, pode ter sido influenciada pela quantidade insuficiente de material para elevar a temperatura da leira acima de 55 °C. Independente do material que será utilizado como substrato para o processo de compostagem a US EPA (citado por LAU et al., 1992) recomenda que a temperatura no interior da leira (no caso de compostagens aeróbias) atinja, no mínimo, 55 °C e mantenha-se nesta faixa por pelo menos 3 dias consecutivos para que o número de patógenos atinja níveis aceitáveis,

permitindo a aplicação no solo. Por esta razão a temperatura deve ser acompanhada durante todo o processo de compostagem. Segundo Chen (2012), para eliminação total de ovos de *Ascaris* e *Escherichia coli*, é necessário manter temperaturas acima de 55 °C por 5 a 7 dias consecutivos. No entanto, o resíduo foi mantido em anaerobiose durante 15 dias, e logo em seguida, ficou por 15 dias em aerobiose com temperaturas que atingiram 50 °C, sendo anotado uma sequência de 3 dias com temperaturas médias de 40 a 50 °C.

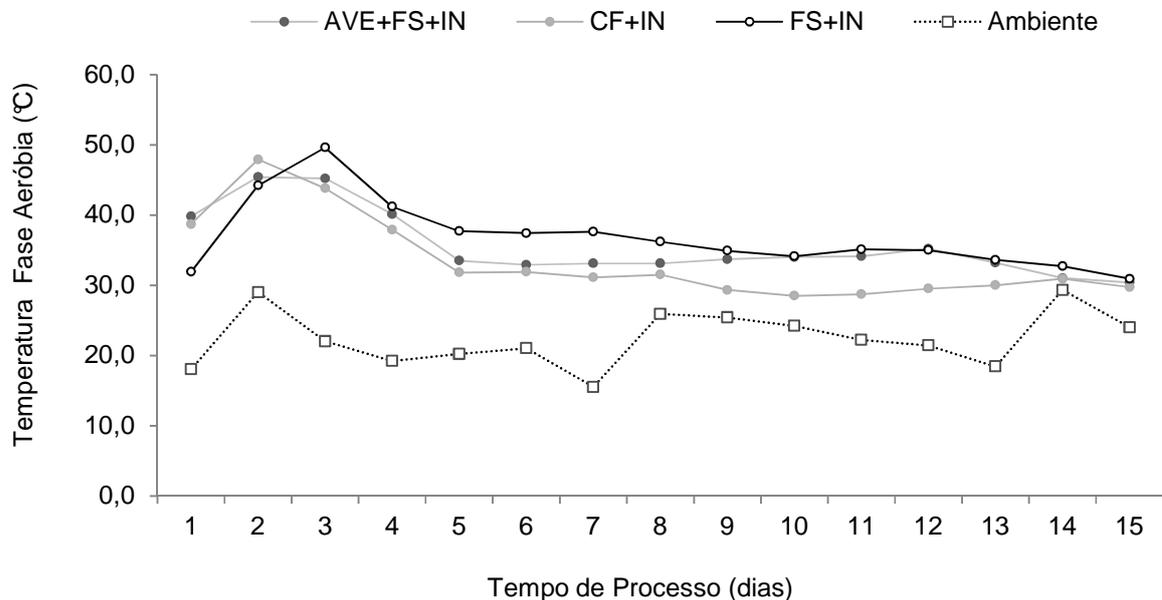


Figura 2. Temperatura (°C) ambiente e das leiras de compostagem, durante a fase aeróbia dos tratamentos AVE+FS, CF+IN e FS+IN, ao longo dos 15 dias de processo.

5.3.2. Valores de pH, alcalinidade e ácidos voláteis

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de pH, alcalinidade total (AT), intermediária (AI) e parcial (AP) em mg CaCO₃L⁻¹, dos efluentes de reatores “in-vessel”.

De acordo com RIPLEY et al. (1986) a alcalinidade parcial (AP) é associada à bicarbonatos, enquanto a intermediária (AI), à ácidos voláteis. A AI dos efluentes iniciais variaram de 648 a 1.760 mg de CaCO₃/L, indicando consideráveis quantidades de

ácidos voláteis. Os valores de AP nos substratos que variaram de 568 a 1200 mg de CaCO_3/L podem ser considerados baixos porém, após passagem pelos biodigestores aumentaram consideravelmente, melhorando a relação AI:AP.

Tabela 2. Valores médios de pH, alcalinidade total (AT), parcial (AP), intermediária (AI), em mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ dos efluentes dos reatores "in-vessel".

Dias de processo	pH	AP -----($\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$)-----	AI	AT	AI:AP
<i>AVE+FS+IN</i>					
3º	6,36	568	1528	2096	2,69
5º	5,88	248	5272	5520	21,26
7º	5,93	494	4162	4656	8,43
9º	5,91	293	4605	4899	15,70
11º	5,79	680	3621	4301	5,33
13º	5,67	nd	nd	4008	nd
15º	5,61	nd	nd	4955	nd
<i>CF+IN</i>					
3º	7,15	1.200	648	1.848	0,54
5º	6,87	2.376	3.304	5.680	1,39
7º	6,77	2.309	5.416	7.725	2,35
9º	6,32	1.512	5.744	7.256	3,80
11º	6,20	984	5.096	6.080	5,18
13º	6,04	480	3.613	4.093	7,53
15º	6,08	1.016	6.177	7.193	6,08
<i>FS+IN</i>					
3º	5,89	104	1760	1864	16,92
5º	nd	nd	nd	nd	nd
7º	5,14	nd	nd	3283	nd
9º	5,23	nd	nd	2893	nd
11º	5,25	nd	nd	2723	nd
13º	5,25	nd	nd	2579	nd
15º	5,33	nd	nd	3199	nd

Obs.: Coletas realizadas a cada dois dias. ND: Não detectável.

Para JENKINS et al. (1991) a AP inferior a $1200 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ indica estresse no biodigestor, podendo ser um limite mínimo operacional para um bom funcionamento do processo. Portanto o tratamento com AVE+FS+IN e FS+IN, sofreram estresse no

processo. Já os reatores com CF+IN apresentaram valores em média ($1.411 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) de AP acima de $1200 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, indicando estabilidade do processo.

Na sequência a Figura 3 apresenta os dados de ácidos voláteis em $\text{mg CH}_3\text{COOH L}^{-1}$ (AV), dos efluentes de reatores “in-vessel”.

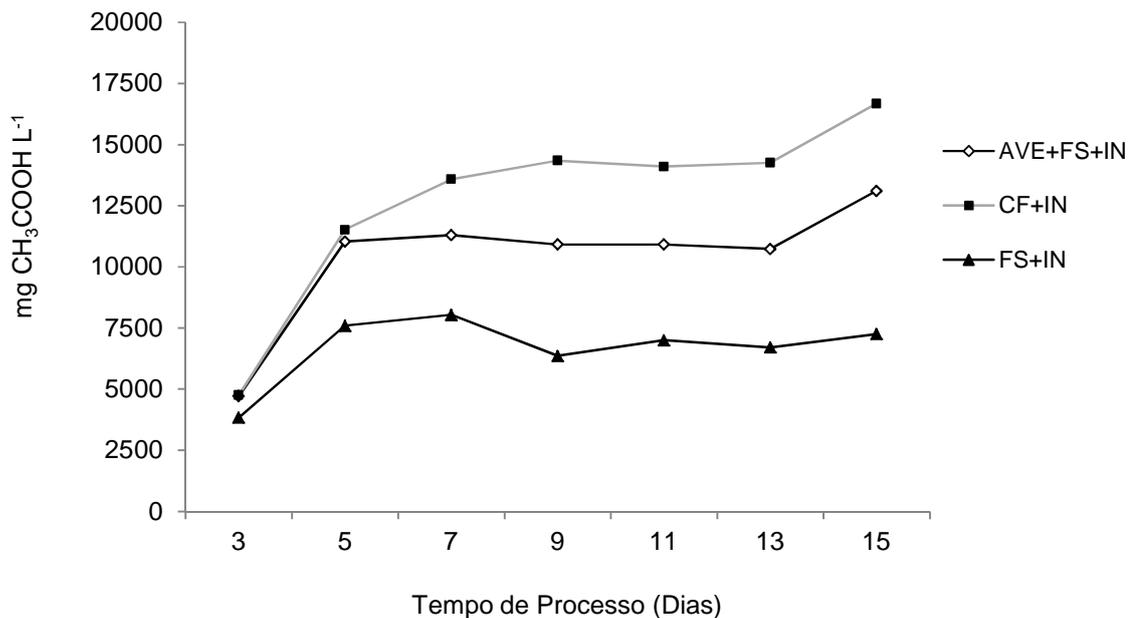


Figura 3. Valores de ácidos voláteis totais (AV), dos reatores de compostagem “in-vessel” nos tratamentos AVE+FS, CF+IN e FS+IN, ao longo dos 15 dias de processo.

5.3.3. Teores de sólidos totais e voláteis do material utilizado na carga

Na Tabela 3 é apresentada a concentração de matéria seca, matéria orgânica, minerais, carbono, nitrogênio (%) e relação C:N da matéria prima utilizada para realização de carga dos reatores. Sendo que foi realizada uma carga no pré-processo, na proporção de 100 litros de água para 15 kg de CF, para análise das frações e posterior abastecimento.

A fração sólida utilizada, foi obtida por meio de pré-processamento da CF em uma proporção de 1:6,7. Assim foram considerados nas cargas os seguintes valores de

ST para CF (84,96 %), MixTQ (8,19 %), FL (4,97 %) e FS (27,83 %), obtidos no Capítulo 2.

Tabela 3. Percentuais de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), minerais, carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N, dos materiais utilizados para carga dos reatores.

MATÉRIA-PRIMA	MS	MO	Minerais	C	N	C:N
	------(%)-----					
Ave Morta	30,38	93,70	6,30	37,13	5,81	6:1
Cama de Frango	78,24	84,28	15,72	54,77	3,90	14:1
Fração Sólida (CF)	29,18	85,65	14,35	47,71	2,60	18:1
Inóculo	2,43	72,18	27,82	41,17	3,20	13:1

Após a separação de frações sólida e líquida, ocorreu uma maior concentração de C (%) na fração sólida, ocorrendo o inverso em relação ao nitrogênio. Portanto dentre os materiais utilizados como substrato do reator “in-vessel”, a FS obteve maiores relações de C:N (18:1).

5.3.4. Pesagens, sólidos totais e voláteis da entrada e saída do reator e da leira

Na Tabela 4 estão representados os pesos medidos na matéria natural (MN), a matéria seca (MS), os SV e redução dos ST, no início e no final das duas fases do processo de compostagem “in-vessel” de cada tratamento.

Tabela 4. Percentuais de sólidos totais e reduções dos afluentes e efluentes das duas fases de compostagem “in-vessel”.

Tratamento	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Redução de ST	Redução ST (FAn+FAe)
	----(kg.MN/reator)----		----(kg.MS/reator)----		(%)	(%)
<i>Fase Anaeróbia (15 dias)</i>						
AVE+FS+IN	70,93	32,13	33,94	9,54	71,88	-
CF+IN	80,58	40,03	51,98	10,49	79,81	-
FS+IN	61,47	35,17	25,91	8,71	66,40	-
<i>Fase Aeróbia (15 dias)</i>						
AVE+FS+IN	31,63	8,90	9,14	6,02	34,13	82,26
CF+IN	39,53	17,40	10,05	8,90	11,41	82,88
FS+IN	34,67	8,40	8,30	4,98	40,01	80,77

FAn: Fase anaeróbia; FAe: Fase Aeróbia

A redução de peso dos substratos dos reatores e da compostagem, foi expressivas, com 71,88 % e 34,13 % de redução de peso no tratamento AVE+FS+IN, 79,81 % e 11,41 % no tratamento CF+IN, enquanto no tratamento FS+IN a redução foi de 66,40 % e 40,01 %, respectivamente. Esse fato se deve às diferenças na composição dos materiais, pois os diversos componentes da matéria orgânica apresentam diferenças quanto a suscetibilidade à degradação, sendo que componentes como açúcares e proteínas são rapidamente degradados, enquanto celulose e lignina necessitam de períodos mais longos para que os microrganismos consigam degradá-los (Grossi citado por ALVES, 1996).

Outro fator preponderante nas reduções é ligado ao processo sequencial anaeróbio-aeróbia, que reduziram juntos, 82,26 % (AVE+FS+IN), 82,88 % (CF+IN) e 80,77 % (FS+IN). Esta redução de ST acima dos 82,88 % indica uma eficiência ótima do processo, em tempo reduzido. Chun-Jiang An (2012) avaliou a eficiência de um protótipo de compostagem "in-vessel", para o tratamento de resíduos de alimentação vindos de indústrias e agroindústrias durante 23 dias de processo, o mesmo encontrou resultados menores de redução de ST (72,87 %), mesmo se comparados aos 15 dias de processo, realizado com a CF+FS, que obteve 79,81 % de ST.

5.3.5. Teores de macro, micronutrientes e sódio da leira

Estão apresentados na Tabela 5 e 6, os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) do reator e das leiras de compostagem, ao longo das duas fases do processo de compostagem.

Em função da alta redução de sólidos totais e diminuição de massa (kg), os minerais tendem a se concentrar nos efluentes do processo, alguns tratamentos ocorreram reduções nas concentrações. Esses fatos se devem a utilização de dois processos sequenciais, nos quais pode ocorrer o consumo de diferentes nutrientes, por se tratar de diferentes processos (anaeróbio e aeróbio).

Tabela 5. Teores de (%) de macronutrientes do afluente e efluente dos reatores e leiras de compostagem dos tratamentos AVE+FS, CF e FS.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
	------(g/100g)-----						------(mg/kg)-----			
Afluente do Reator										
AVE+FS+IN	3,85	0,55	1,93	1,50	0,22	0,31	400	150	200	1000
CF+IN	3,07	0,66	5,86	1,63	0,57	0,35	600	200	450	1500
FS+IN	1,39	0,41	1,71	1,15	0,25	0,16	350	150	300	1050
Efluente do Reator (15 dias)										
AVE+FS+IN	3,29	0,51	0,42	2,47	0,20	0,50	600	75	150	817
CF+IN	1,80	0,37	0,14	1,13	0,20	0,33	550	81	150	713
FS+IN	1,81	0,62	0,37	2,24	0,40	0,72	700	73	350	1049
Material Maturado (15 dias)										
AVE+FS+IN	0,44	0,44	0,19	1,37	0,30	0,47	550	69	200	1860
CF+IN	0,70	0,70	0,46	3,39	0,60	0,45	400	90	500	2230
FS+IN	0,22	0,22	0,15	1,76	0,30	0,37	3550	90	250	450

O N em específico apresentou uma taxa de redução alta (88,57; 77,20 e 84,17 %) para todos os tratamentos, levando em consideração os 30 dias de processo. No entanto, a FS+IN, apresentou uma concentração durante o processo anaeróbio. O que indicar influência da fase aeróbia para redução de ST.

5.3.6. Produção de biogás dos reatores de compostagem “in-vessel”

Na Figura 4, são apresentadas as curvas de produção de biogás (m³/dia) de cada tratamento AVE+FS+IN, CF+IN e FS+IN, ao longo do processo de compostagem “in-vessel”.

Na figura é possível observar a curva de biogás dos tratamentos AVE+FS+IN, CF+IN e FS+IN, os quais produziram respectivamente, 0,297; 0,336 e 0,146 m³/biogás no período de 15 dias. Ambos apresentaram curvas de tendência exponencial, relatando um padrão para o período experimental analisado.

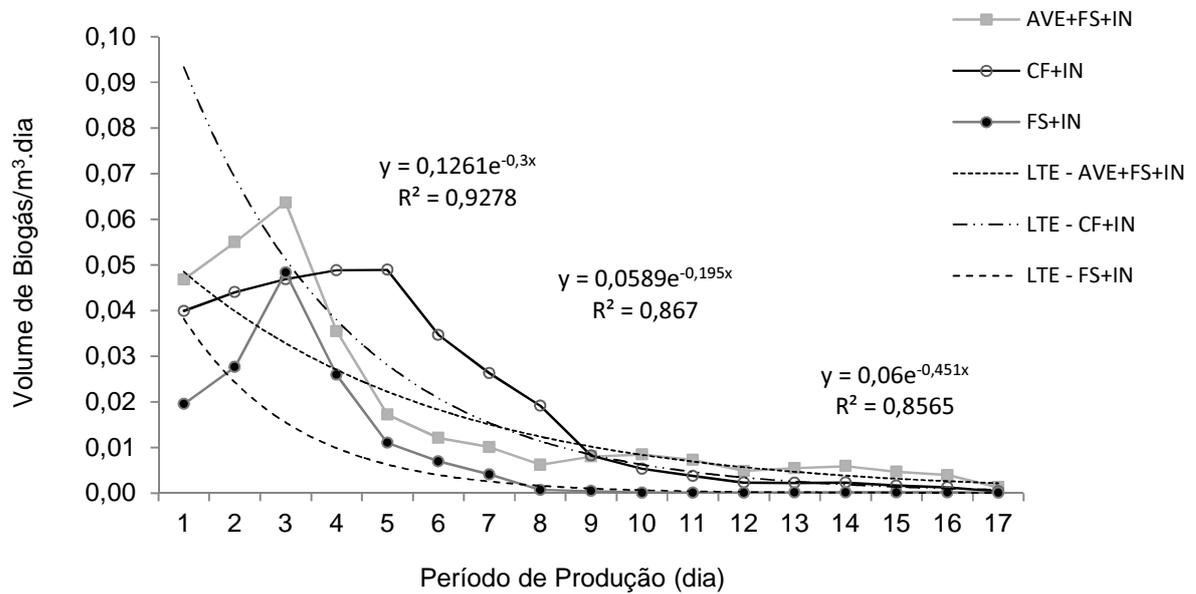


Figura 4. Volume de biogás/m³.dia, gerado ao longo do processo anaeróbio de compostagem “in-vessel”, para os tratamentos, AVE+FS, CF+IN e FS+IN.

Na Tabela 6 são apresentados os dados referentes a cinco coletas de operação dos reatores de compostagem “in-vessel”, com as produções médias de CH₄, CO₂ e outros gases (%) presentes no biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte em diferentes frações.

Os percentuais de metano chegaram a obter 17,86 % (AVE+FS+IN), 18,20 % (CF+IN) e 22,95 % (FS+IN). Ocorrendo um fato interessante, no qual o volume de biogás gerado proporcionou a queima dos gases em 9 horas de TRH. Este fato seria explicado pelo volume de inóculo que foi adicionado nos reatores. No entanto, ao analisar (com contraprovas) os teores de metano, não havia justificativa para queima do biogás. Portanto é possível que gases, não identificados possam ter influenciado na queima precoce do biogás. Esta queima, ocorreu em todos os reatores, ao longo de 6 dias, depois de período não se obteve mais a queima.

Tabela 6. Produção média de CH₄, CO₂ e outros gases (%) da última semana de operação dos biodigestores, com camas de frango de corte em diferentes frações.

Tratamentos/Coleta	Percentual do Biogás (%)		
	CH ₄	CO ₂	Outros Gases
<i>AVE+FS+IN</i>			
1	1,20	97,51	1,29
2	10,67	88,18	1,15
3	26,46	72,95	0,59
4	28,19	67,59	4,23
5	22,78	75,37	1,85
<i>Média</i>	17,86	80,32	1,82
<i>CF+IN</i>			
1	1,29	95,72	2,99
2	12,68	53,04	34,28
3	25,41	69,94	4,64
4	30,91	63,98	5,11
5	20,71	72,74	6,55
<i>Média</i>	18,20	71,08	10,71
<i>FS+IN</i>			
1	4,59	85,60	9,81
2	20,57	75,69	3,74
3	29,47	67,12	3,41
4	34,34	61,37	4,29
5	25,79	68,06	6,16
1	4,59	85,60	9,81
<i>Média</i>	22,95	71,57	5,48

Enfim, os resultados indicam que as condições experimentais não foram as ideais para produção de biogás. Ressalta-se que um processo anaeróbico com o dobro de dias, poderá influenciar positivamente a produção de biogás.

5.4. Conclusões

O protótipo foi eficiente no tratamento acelerado dos resíduos de carcaça de aves, cama de frango e fração sólida. A inclusão de passos anaeróbios no processo de compostagem aumentou a velocidade de degradação da matéria orgânica (82,88 % ST), diminuindo o tempo de tratamento do resíduo, o qual pode ser tratado em 30 dias dividido em duas fases, anaeróbia e aeróbia.

O biogás gerado obteve alto volume no período de reação anaeróbia, porém não ocorreu a geração de metano acima de 22,95 %. Mesmo assim ocorreu a queima do biogás em 9 horas de operação, em função da presença de gases não conhecidos no processo.

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UNIDADE DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE GRANJAS AVÍCOLAS

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de tratamento e aproveitamento energético dos resíduos gerados na criação de frangos de corte. Foi realizado um estudo técnico, sobre a viabilidade de implantação de um sistema de produção de biogás e adubo orgânico, para a reciclagem de dejetos animais. Foi feito um levantamento mercadológico, para análise dos custos de instalação dos equipamentos necessários para gerar energia limpa e comercializar adubos orgânicos no mercado. Para efeito de estudo, foram analisados dois layouts de produção avícola, contendo dois e quatro galpões de frangos de corte. Para o estudo, foram levantados dados de produtores rurais do Noroeste do Paraná, os quais disponibilizaram seus dados para análise de viabilidade econômica. Granjas com dois e quatro galpões de frangos de corte, com produções de 500 e 1.000 ton de CF/ano, possuem viabilidade econômica para projetos de instalação de plantas de biogás, com retorno do capital investido em 6,2 e 3,6 anos, respectivamente. Os valores do biodigestor e do grupo gerador são responsáveis por cerca de 40 a 49 % do investimento inicial de uma planta de biogás, o que interfere potencialmente nos indicadores econômicos.

Palavras-Chave: Viabilidade econômica, planta de biogás, sustentabilidade, cama de frango

CHAPTER 6 - ECONOMIC ANALYSIS OF DEPLOYMENT OF TREATMENT UNIT AND EXPLOITATION OF ENERGY WASTE OF POULTRY FARMS

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the economic feasibility of a system of treatment and energy recovery of waste generated in the creation of broilers. We conducted a technical study on the feasibility of implementing a system to produce biogas and organic fertilizer for the recycling of animal manure. A survey was administered merchandising, for analysis of the costs of installing the equipment needed to generate clean energy and market organic fertilizers on the market. For purposes of study, we analyzed two layouts poultry production, containing two four broiler sheds. For the study, data were collected from farmers in the Northwest of Paraná, which have provided their data for analysis of economic viability. Farms with two and four broiler sheds, with yields of 500 and 1,000 ton of CF / year, have economic viability for projects to install biogas plants, with return on invested capital at 6.2 and 3.6 years, respectively. The values of the digester and generator are responsible for about 40 to 49% of the initial investment in a biogas plant, which potentially interferes in economic indicators.

Keywords: Economic viability, biogas plant, sustainability, poultry litter

6.1. Introdução

O avanço do setor agropecuário brasileiro contribuiu para o seu desenvolvimento tecnológico, provocando um intenso uso de energia na agricultura. A tendência crescente dos preços de energia demanda estudos sobre a viabilidade econômica de fontes alternativas de energia, além das questões de ordem ambiental. Uma das alternativas que vem despertando grande interesse é a tecnologia de biodigestão anaeróbia de resíduos animais, particularmente de resíduos da produção de frangos de corte.

Os estudos econômicos da instalação de biodigestores ainda são escassos, considerando-se a implantação desta tecnologia em atividades de pequena e média escala. Essa tecnologia é encontrada em larga escala na região Sul do Brasil, onde está concentrado o maior plantel de suínos. Visto que os biodigestores utilizados no mercado brasileiro (tubular horizontal) se adaptaram com facilidade ao tipo de dejetos e manejo utilizado pelos produtores de suínos (teor de sólidos totais entre 0,5 e 2,5 %, depois de diluído na limpeza das baias).

Para utilizar o mesmo sistema de biodigestão anaeróbia, os produtores avícolas, terão que utilizar equipamentos de pré-processamento da cama de frango, ocorrendo a diluição e a desaglomeração padronizada das partículas, em peneiras estáticas e rotativas. Esse processo gera uma fração líquida (teor de 3 a 4% de ST), que é enviada ao biodigestor, pode gerar até duas vezes a quantidade de biogás produzido pelos dejetos de suínos (Aires, 2009; Miranda, 2009).

Assim, são necessários estudos econômicos, para que se conheça os indicadores de viabilidade deste empreendimento avícola. Souza et al (2006), utilizando metodologia e tipo de investimentos diferentes (biodigestores, motor elétrico e conjunto de irrigação) que totalizaram R\$ 60.000,00, apresentaram períodos de retorno que variaram entre 1,80 a 2,65 anos, dependendo do tempo de uso diário do gerador.

O objetivo desse estudo foi analisar os custos energéticos que norteiam a criação de frangos de corte para avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de tratamento de resíduos (aves mortas e cama de frango), gerando energia elétrica,

térmica, biofertilizante e adubos orgânicos, a partir da biodigestão anaeróbia. Por isso, será realizada uma análise econômica de instalação de uma planta completa de biogás em diferentes escalas de produção avícola.

6.2. Material e Métodos

Os dados foram coletados de dois produtores rurais da região Noroeste do Paraná, que possuem criações de frangos de corte com diferentes escalas de produção.

Foi proposto aos produtores rurais, o desenvolvimento de um projeto que estime a viabilidade econômica, para instalação de um sistema de aproveitamento energético de cama de frangos de corte e de aves mortas (Apêndice 18), geradas nas criações ao longo da criação.

Por isso, foram feitos cadastros técnicos dos produtores rurais, para levantar os custos gerados na criação de frangos de corte, relacionados às energias elétrica e térmica, adubação de pastagens e/ou de culturas perenes. Foi levantada também a possibilidade de comercialização de energia elétrica excedente, caso os cálculos de geração de biogás sejam maiores que o consumo energético.

Foi realizado um levantamento mercadológico de preços de equipamentos, materiais, serviços e mão-de-obra para instalação de uma planta de biogás com pré-processo de separação de frações sólida e líquida, lagoas de biodigestão anaeróbia, compostagem “in-vessel” de aves mortas e fração sólida, equipamentos para adaptação de fornos de aquecimento de galpão, grupo geradores e periféricos que se façam necessários para implantação de um sistema completo e automatizado.

Assim, foram delineados dois modelos de projetos, em diferentes escalas, de plantas de biogás:

- a. **Projeto G2:** Granja com 2 galpões de frangos de corte
- b. **Projeto G4:** Granja com 4 galpões de frangos de corte

6.2.1. Método estrutural de análise econômica

Para descrever a metodologia utilizada no trabalho, foi adaptada uma metodologia descrita por Cervi (2009), o qual divide o estudo de viabilidade econômica em três etapas para facilitar o entendimento das fases envolvidas, que são:

1ª Etapa – Análise de benefícios: Determinação dos benefícios com a geração de energia elétrica, térmica e com a produção de biofertilizante.

2ª Etapa – Análise de investimento: Determinação do investimento inicial e dos custos da planta de biogás.

3ª Etapa – Análise de viabilidade econômica: Estabelecido o levantamento dos custos e dos benefícios do sistema foi realizada a análise de viabilidade econômica através de indicadores econômicos.

6.2.1.1. – 1º Etapa: Análise de benefícios

a) A produção de biogás foi estimada a partir dos resultados do potencial de produção atingido no Capítulo 4.

b) Consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador foi estimado segundo as recomendações de catálogos fornecidos pelas empresas. É uma relação, fornecida pelo fabricante do motor-gerador, entre o volume de biogás consumido pelo grupo gerador e a energia elétrica gerada pelo mesmo.

d) A produção de biofertilizante foi estimada de acordo com os testes de diluição do Capítulo 2.

Os benefícios com a produção de biofertilizante foram computados de acordo com a quantidade dos macronutrientes aplicados na pastagem em função dos preços médios dos nutrientes praticados no mercado.

6.2.1.2. – 2º Etapa: Análise de investimento

a) *Investimento inicial* foi classificado como o gasto necessário para a implantação das instalações e aquisição dos materiais e equipamentos. Foram considerados os investimentos iniciais do biodigestor, conjunto motor-gerador e abrigo,

pré-processos de separação de frações, compostagem “*in-vessel*” de aves mortas e outros periféricos.

b) O custo anual do sistema, para instalação da planta de biodigestão anaeróbia é um investimento de longa duração onde o retorno sobre o capital investido ocorre somente a partir de um determinado ponto da vida útil do empreendimento. Assim, para o cálculo dos custos anuais do sistema foram considerados: custos depreciação, juros sobre o capital fixo e custos de manutenção e operação.

c) Depreciação

O método de depreciação utilizado foi o da depreciação linear descrito por Nogueira (2001). Para o cálculo da depreciação dos materiais de alvenaria usados na construção do biodigestor foi considerado um período de 10 anos de vida útil, conforme indicado por NOGUEIRA & ZÜRN (2005). Para a determinação da depreciação da manta plástica do biodigestor e do grupo gerador foi considerado um período de 10 anos de vida útil, segundo as informações dos fabricantes.

Foi considerado um período de 10 anos de vida para as instalações elétricas conforme a resolução normativa nº. 240, de 5 de dezembro de 2006 da ANEL, que estabelece as taxas anuais de depreciação para os ativos, no âmbito da distribuição e da transmissão de energia elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2006).

6.2.1.3. - 3ª Etapa: Análise econômica

6.2.1.3.1. Estimativa dos Indicadores de viabilidade econômica

Estabelecido o levantamento dos custos e dos benefícios do sistema foi determinado o fluxo de caixa do projeto e, por meio dos indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (RBC) e Período de recuperação do capital, “Payback” Simples e “Payback” Econômico, foi realizada a análise de viabilidade econômica. Também foi realizada a análise de sensibilidade do projeto com a simulação da geração média de energia elétrica. Dessa maneira foi analisado o efeito da variação de um dado de entrada, geração de energia elétrica, no resultado econômico.

6.2.1.3.1.1. Fluxo de caixa descontado (FCD)

O FCD é o investimento que contabiliza projeções de receitas e despesas operacionais e desconto dos impostos, para obtenção da receita líquida.

6.2.1.3.1.2. Taxa mínima de atratividade e retorno (TMAR)

A TMAR representa o custo de oportunidade do capital para um projeto. É a taxa de juros que deixa de ser obtida na melhor aplicação alternativa quando há emprego de capital próprio, ou é a taxa de juros a ser paga em recursos financiados.

6.2.1.3.1.3. Valor presente líquido (VPL)

Indicador que permite avaliar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo. O VPL é definido pelo valor atual dos benefícios menos o valor atual dos desembolsos.

6.2.1.3.1.4. Taxa interna de retorno (TIR)

Valor utilizado para estudar a viabilidade de um projeto. Esta taxa deve ser comparada com o custo de oportunidade do capital em uso alternativo, dado pela taxa de atratividade, no caso 8,0% a.a.

6.2.1.3.1.5. Relação benefício-custo (RBC)

Razão entre o valor atual dos benefícios e o valor atual dos custos, através da sua relação esperada.

6.2.1.3.1.6. Cálculo do “payback” simples (PBS)

Tempo necessário para que a soma das receitas nominais líquidas futuras iguale ao valor do investimento inicial, isto é, o número de anos em que a soma do fluxo de caixa, a partir do investimento inicial, torna-se nulo.

6.2.1.3.1.7. Cálculo do “payback” descontado (PBE)

Determina o mesmo indicador do payback simples, porém leva em conta o valor do dinheiro no tempo.

6.3. Resultados e Discussão

6.3.1. - 1º Etapa: Análise de benefícios

Estão apresentados na Tabela 1, os dados de consumo de energia elétrica, levantados nas granjas G2 e G4, conforme entrevista técnica realizada *in loco* nas granjas do noroeste paranaense, e dados de conversão energética da CF para o biogás e energia elétrica.

Tabela 1. Valores de consumo de energia elétrica das granjas G2 e G4 e a conversão energética da cama de frangos de corte para o biogás e energia elétrica.

GRANJA	Potencial de Geração Energética			Energia Consumida*	
	CF	BIOGÁS	EE	BIOGÁS	EE
	(t/ano)	(m ³ /ano)	(kw/ano)	(m ³ /ano)	(kw/ano)
G2	500	130.500	221.850	82.775	137.170
G4	1.000	261.000	443.700	277.350	167.700

Obs.: Valores de conversão considerados nos cálculos: 1m³ de biogás = 3,831 kg de cama de frango ou 6253 kcal ou 1,7 kw.* Energia consumida pelo grupo gerador.

No capítulo 4, foi apresentado o volume da produção de biogás, utilizando o pré-processamento da CF, onde foram obtidos valores de 0,203 m³ de biogás/kg CF em TRH de 40 dias, 0,261 m³ de biogás/kg CF em TRH de 30 dias e 0,303 m³ de biogás/kg CF em TRH de 24 dias. Estes valores servem como base para a estimativa de produção de biogás em granjas comerciais. Por isso adotou-se o valor de 0,261 m³ de biogás/kg CF, pois este valor apresenta dois pontos importantes: possui o TRH mais utilizado comercialmente em biodigestores de lona de PVC, tipo tubular horizontal “plug flow”; possui um resultado mediano em relação aos outros tratamentos do referido capítulo.

É apresentado também, o consumo de energia elétrica dos produtores rurais, e a sua conversão para biogás, apontando a sua utilização em substituição da energia elétrica da rede pública, pela energia limpa do biogás.

Para conversão de biogás em energia elétrica, tomou-se cuidado em utilizar recomendações medianas de grupos geradores com utilização e conversão energética

conhecida na prática. Assim foi definido como fator de conversão de biogás para energia elétrica o valor de 1,7. Para as G2 e G4, foram utilizados grupos geradores com potência contínua de 72 kva - 58 kw e 108 kva - 86 kw (ambos com quadro de transferência em rampa - QTM), respectivamente, os quais possuem consumo estimado de 35 e 52 m³/h de biogás.

Foram estabelecidos alguns critérios para utilização do grupo gerador e do sistema de aquecimento dos galpões, sendo o primeiro critério, a utilização do biogás para substituição total da lenha:

1º As granjas terão um vazio sanitário de 10 dias por ciclo, ou seja 60 dias/ano (período sem utilização intensa de energia do biogás, grupo gerador em “standy-by”);

2º As granjas terão um período de 15 dias/ciclo, ou seja 90 dias/ano, para utilizar o biogás no aquecimento dos galpões (enquanto a energia do biogás estiver sendo utilizada para geração de energia térmica, o grupo gerador estará funcionando em “standy-by”);

3º As granjas poderão utilizar o biogás para gerar EE durante 215 dias/ano, em um período contínuo de 11 e 15 horas/dia para as G2 e G4, respectivamente (o biogás será destinado apenas para o grupo gerador, que estará em potencia continua).

Este planejamento operacional, segue os critérios sanitários de criação de frangos de corte, “all-in all-out”, e oferece ao produtor rural 50 dias de utilização do biogás por ciclo de criação (60 dias), ora utilizado para aquecimento dos galpões, ora para a geração de EE nos horários de picos, onde existe um aumento no valor da energia.

Estão apresentados na Tabela 2, os dados de consumo de energia térmica, levantados nas granjas G2 e G4, e a conversão do biogás disponível após o desconto para utilização na forma de EE, conforme entrevista técnica realizada *in loco* nas granjas do noroeste paranaense, além disso, são apresentados os dados de conversão energética da lenha.

Tabela 2. Valores de consumo de energia térmica, das granjas G2 e G4, a partir da lenha (fonte atualmente utilizada), e a sua conversão energética para utilização do biogás.

GRANJA	Consumo de Energia Térmica				
	-----ET BIOGÁS*-----		-----LENHA-----		
	(m ³ /ano)	(kcal/ano)	(m ³ /ano)	(kcal/m ³)	(kcal/ano)
G2	47.725	298.424.425	360	792.000	285.120.000
G4	93.300	583.404.900	720		570.240.000

Obs.: Valores de conversão considerados nos cálculos: 1m³ de biogás (75% CH₄) = 6.253 kcal;

* Energia térmica disponível, já descontado energia utilizada para gerar energia elétrica.

Subtraindo a quantidade de energia disponível do biogás (ET BIOGÁS), pela quantidade de energia dispendida à lenha (kcal), foram encontrados os valores de consumo, necessários para utilização anual das G2 e G4.

Os produtores rurais da região noroeste do Paraná utilizam em sua grande maioria a lenha, como fonte de energia térmica para aquecimento dos galpões nos primeiros 15 dias (via de regra) de vida dos pintinhos. Cada galpão possui capacidade de produção de 30 mil frangos de corte por ciclo, o qual consome cerca de 30 m³ de lenha/lote, o que equivale a 10 t, aproximadamente. Esta custa em média R\$ 90,00/m³ na região, com 2.400 kcal/kg ou 792.000 kcal/m³. Enfim, os produtores rurais da G2 e G4, utilizam em média, 285.120 e 570.240 Mcal/ano para aquecer os seus dois e quatro galpões, respectivamente durante seis ciclos de produções anuais.

Estão apresentados na Tabela 3, os dados disponíveis de energia térmica, biogás e elétrica, das granjas G2 e G4, após o desconto da quantidade necessária para geração de energia elétrica.

Tabela 3. Valores disponíveis de energia térmica e suas conversões para biogás e energia elétrica das granjas G2 e G4.

GRANJA	Excedente Disponível de Energia		
	ET*	EB**	EE***
	(kcal/ano)	(m ³ de biogás/ano)	(kw/ano)
G2	13.304.425	2.128	3.617
G4	13.164.900	2.105	3.579

Obs.: Valores de conversão considerados nos cálculos: 1m³ de biogás (75% CH₄) = 6.253 kcal; * Energia térmica e/ou elétrica disponível, já descontada a energia utilizada para gerar energia elétrica; ** Sobra de energia do biogás; *** Sobra de energia elétrica.

São apresentados os valores de biogás (EB) e térmica excedente, após a utilização de EE e ET. Portanto, nas G2 e G4, sobram excedentes (2.128 e 2.105 m³ de biogás/ano) de 3.617 e 3.579 kw/ano de EE, respectivamente.

Nesse contexto, os excedentes podem ser comercializados no mercado local ou paralelo (spot), porém a quantidade de EE excedente das G2 e G4 é pequena, para a sua comercialização. Na região oeste do Paraná, produtores de suínos participaram de uma chamada pública em 2009, e de lá para cá, estão comercializando a sua energia excedente por R\$ 0,149/kw.

Estão apresentados na Tabela 4, os dados disponíveis de biofertilizante e adubo orgânico gerados na biodigestão anaeróbia da FL da CF e o composto orgânico gerado da FS da CF (pós-separação de frações de sólidos) e das carcaças de frangos de corte, gerados no sistema de compostagem “in-vessel”, das granjas G2 e G4.

Tabela 4. Valores médios de produção de disponíveis de energia térmica e suas conversões para biogás e energia elétrica das granjas G2 e G4.

GRANJA	CF	-----Biofertilizante-----		-----Adubo Orgânico-----			
		BFT	VALOR*	ADO	VALOR*		
		(t/ano)	(m ³)	(R\$/m ³)	(R\$/ano)	(t)	(R\$/t)
G2	500	3.150	14,00	44.100,00	305	125,00	38.125,00
G4	1.000	6.300		88.200,00	610		75.625,00

Obs.: CF: Cama de frango; BFT Biofertilizante; ADO: Adubo orgânico;
* Valores regionais de mercado, do biofertilizante e do adubo orgânico.

A CF é atualmente utilizada apenas como “adubo orgânico”, com valores de mercado (região do Paraná) que variam de R\$ 50,00 a R\$ 800,00/t. Os fatores que determinam os valores dos adubos e sua tamanha oscilação no mercado devem-se: à oferta e demanda; utilização da mesma como ração animal o qual foi proibido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento desde 2001 e vigente pela Instrução Normativa de 2008, o qual faz aumentar o valor da CF, principalmente nas épocas de seca; tipo de processo utilizado para decomposição da matéria orgânica; materiais utilizados como substratos; granulação para facilitar a aplicação no solo; formação de composto organomineral, dentre outros.

Os volumes de biofertilizante foram calculados segundo as recomendações do Capítulo 4, o qual determina a utilização de proporções de 6,7 litros de água para cada quilo de CF. Definiu-se como 7 litros o fator de conversão, com 10% de perda de volume após biodigestão anaeróbia. Para o adubo orgânico, foi contabilizado um percentual de 40 % de redução de massa, após o processamento da fração sólida e 5 t/ano de carcaças de frangos, compostados em processo “in-vessel”.

Segundo Gonçalves (2011), o estado do Paraná figura como grande “player” da produção agrícola nacional, dentre as culturas mais importantes, milho, feijão, trigo, mandioca (maior produtor nacional), soja (2º maior produtor), cana-de-açúcar (3º maior produtor), batata-inglesa, laranja, dentre outras culturas.

Por fim, o Estado do Paraná, caracteriza-se como um grande consumidor de adubos minerais e orgânicos do país. É evidente que a maior parte dos adubos orgânicos utilizada pelos agricultores, é provinda da avicultura, visto a larga produção da região. A CF é vendida e utilizada como adubo orgânico, sem tratamento algum. Produtores com 2 (500 t de CF/ano) e 4 (1.000 t de CF/ano) galpões, adquirem uma receita média de R\$ 25.000,00 à R\$ 50.000,00/ano, respectivamente, na comercialização da cama de frango. Porém, é de conhecimento notório os seus benefícios mediante o processo de compostagem, a qual concentra e aumenta a disponibilidade dos nutrientes, estabiliza a matéria orgânica proporcionando maiores ganhos na produção agrícola e menores riscos ambientais.

6.3.2. - 2º Etapa: Análise das despesas operacionais

Os valores de comercialização da CF precisam ser descontados como custo operacional da planta, visto que, o valor recebido pelo produtor, na venda da CF, entra como receita em seu fluxo de caixa de criação de aves, o que não ocorrerá se instalada a planta de biogás. Por isso, foram descontados os valores de R\$ 25.000,00 e R\$ 50.000,00 / ano, para as G2 e G4.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores inicial, final e residual para investimento das G2 e G4, assim como os valores calculados de depreciação e juros. E

nas Tabelas 7 e 8, são apresentados os valores de reinvestimento e despesas operacionais para manutenção da planta ao longo do horizonte do projeto (10 anos).

Todos os valores foram calculados com base no mercado, levando-se em conta os preços médios cobrados em materiais e serviços.

O conjunto de biodigestão anaeróbia (projeto de escavação, materiais, mão-de-obra e principalmente lona de PVC) e o grupo gerador, possuem os valores que podem condicionar todos os custos e indicadores econômicos do projeto, visto que são responsáveis por cerca de 40 a 49 % do investimento inicial na instalação da planta. Estes valores tiveram grande variedade nos preços consultados, estes se devem ao fato da diferença de qualidade dos materiais utilizados na confecção destes dois itens, e também pela carga de inovação tecnológica existente em seus produtos. A busca por materiais cada vez mais resistentes e equipamentos simplificadores de processos, onera a aquisição destes itens.

Foram adicionadas as plantas das G2 e G4, todos os equipamentos necessários para instalação e funcionamento básico do processo de tratamento e aproveitamento energético dos resíduos gerados nas granjas, dentre eles: Sistema de aproveitamento de água da chuva e do “flushing” de bebida das aves, assim foram dimensionados os volumes necessários para utilização no pré-processamento da CF.

Todos os equipamentos citados são passíveis de adição de periféricos opcionais, como por exemplo, automação do processo de biodigestão, do grupo gerador, sistema de aquecimento, compostagem “in-vessel”, etc..

Tabela 5. Investimento inicial para instalação da planta de biogás da G2, em Reais (R\$), 2012.

Item	Qtd.	Descrição	VI	VF	VU	VR	Depreciação	Juros
			(R\$)		(anos)		(R\$)	
1	1	Conjunto para sistema de biodigestão anaeróbia com lona de PVC, em formato piramidal, volume de 1.000 m ³ , Lagoa de Biodigestão anaeróbia, lagoa de biofertilizante, material civil, mão-de-obra e escavação	122.333,33	12.233,33	10	12.233,33	11.010,00	5.382,67
2	1	Grupo Gerador à Biogás com potência contínua de 58 kw - 72 kva e potência em stand-by de 64 kw - 80 kva com tensão de 220/127V - 60Hz, 1.800 RPM, injeção direta de combustível	78.234,90	11.735,24	15	33.901,79	4.433,31	3.598,81
3	1	Medidor de Vazão tipo turbina para uso de gás, 81,5 m ³ /h	2.710,00	406,50	12	790,42	191,96	124,66
4	1	Queimador tipo flare com combustão aberta, em aço inox, ignição automática através de placa solar e bateria, para queima de até 35 NM ³ /hora	11.801,31	1.180,13	12	2.950,33	885,10	519,26
5	1	Sistema d'água de geomembrana sintética produzida de polietileno de alta densidade (PEAD), + estrutura metálica tubular de 1.1/2" calandrada e galvanizada.	15.450,00	1.545,00	12	3.862,50	1.158,75	679,80
	1	Sistema de coleta de água (calhas + tubulação + caixa de Sólidos). Filtro d'água composto de caixa de polietileno	15.030,00	1.503,00	12	3.757,50	1.127,25	661,32
	1	Tanque de agitação para desaglomeração de partículas, vol. 3 m ³ , acionado por motorreductor com eixo em balanço e impelidor de pás retas	17.300,00	1.730,00	15	6.920,00	1.038,00	761,20
6	1	Peneira para separação das frações sólida e líquida de cama de frangos	18.205,00	1.820,50	15	7.282,00	1.092,30	801,02
	1	Estrutura Metálica e Civil	15.315,30	1.531,53	12	3.828,83	1.148,65	673,87
	1	Soprador de biogás + Tanque pulmão (p/ transporte de biogás)	3.650,00	365,00	10	365,00	328,50	160,60
7	1	Sistema de canalização de biogás de aço galvanizado de 3/4 + Central de Biogás	11.023,56	1.102,36	12	2.755,89	826,77	485,04
	1	Serviço de instalação de sistema de canalização de substrato	3.510,30	0,00	12	585,05	292,53	140,41
8	1	Serviço de instalação de sistema de canalização e limpeza de biogás	2.050,00	0,00	12	341,67	170,83	82,00
	1	Serviço de instalação de sistema de purificação de biogás	3.112,13	0,00	12	518,69	259,34	124,49
9	2	Central de aquecimento flex à biogás e lenha, capacidade de 1000 a 1600 m ³ de volume de ar	35.900,00	5.385,00	15	15.556,67	2.034,33	1.651,40
	1	Reator In-vessel de compostagem de resíduos orgânicos	24.349,93	3.652,49	15	10.551,64	1.379,83	1.120,10
10	1	Área de Armazenamento de sólidos	10.220,80	1.022,08	15	4.088,32	613,25	449,72
	1	Pátio de compostagem	9.390,50	939,05	15	3.756,20	563,43	413,18
	1	Arborização, paisagismo e cercamento	9.930,00	0,00	12	1.655,00	827,50	397,20
Total			409.517,06	46.151,20	-	115.700,81	29.381,63	18.226,73

VI: Valor inicial; VF: Valor final; VU: Vida útil; VR: Valor residual

Tabela 6. Investimento inicial para instalação da planta de biogás da G4, em Reais (R\$), 2012.

Item	Qtd.	Descrição	VI ------(R\$)-----	VF -----	VU (anos)	VR -----	Depreciação ------(R\$)-----	Juros -----
1	1	Conjunto para sistema de biodigestão anaeróbia com lona de PVC, em formato piramidal, volume de 1.500 m ³ , Lagoa de Biodigestão anaeróbia, lagoa de biofertilizante, material civil, mão-de-obra e escavação	173.000,00	17.300,00	10,00	17.300,00	15.570,00	7.612,00
2	1	Grupo Gerador à Biogás com potência contínua de 86kw - 108 kva e potência em stand-by de 96 kw – 120 kva com tensão de 220/127V - 60Hz, 1.800 RPM; injeção direta de combustível	102.234,90	15.335,24	15	44.301,79	5.793,31	4.702,81
3	1	Medidor de Vazão tipo turbina para uso de gás, 81,5 m ³ h	3.670,00	550,50	12	1.070,42	259,96	168,82
4	1	Queimador tipo flare com combustível aberta, em aço inox, ignição automática através de placa solar e bateria, para queima de até 35 NM ³ /hora	16.801,31	1.680,13	10	1.680,13	1.512,12	739,26
5	1	Sistema d'água de geomembrana sintética produzida de polietileno de alta densidade (PEAD), + estrutura metálica tubular de 1.1/2" calandrada e galvanizada.	20.390,00	2.039,00	10	2.039,00	1.835,10	897,16
	1	Sistema de coleta de água (calhas + tubulação + caixa de Sólidos).	24.220,00	2.422,00	10	2.422,00	2.179,80	1.065,68
	1	Filtro d'água composto de caixa de polietileno	24.300,00	2.430,00	12	6.075,00	1.822,50	1.069,20
	1	Tanque de agitação para desaglomeração de partículas, vol. 5 m ³ , acionado por motorreductor com eixo em balanço e impelidor de pás retas	31.892,00	3.189,20	12	7.973,00	2.391,90	1.403,25
6	2	Peneira para separação das frações sólida e líquida de cama de frangos	19.910,43	1.991,04	12	4.977,61	1.493,28	876,06
	1	Estrutura Metálica e Civil	4.660,00	466,00	10	466,00	419,40	205,04
7	1	Soprador de biogás + Tanque pulmão (p/ transporte de biogás)	23.023,56	2.302,36	10	2.302,36	2.072,12	1.013,04
	1	Sistema de canalização de biogás de aço galvanizado de 3/4 + Central de Biogás	3.510,30	0,00	12	585,05	292,53	140,41
8	1	Serviço de instalação de sistema de canalização de substrato	3.950,00	0,00	12	658,33	329,17	158,00
	1	Serviço de instalação de sistema de canalização e limpeza de biogás	5.712,44	0,00	12	952,07	476,04	228,50
9	4	Serviço de instalação de sistema de purificação de biogás	74.800,00	11.220,00	15	32.413,33	4.238,67	3.440,80
	1	Central de aquecimento flex à biogás e lenha, capacidade de 1000 a 1600 m ³ de volume de ar	37.349,92	5.602,49	15	16.184,97	2.116,50	1.718,10
10	1	Reator In-vessel de compostagem de resíduos orgânicos	21.233,10	2.123,31	15	8.493,24	1.273,99	934,26
	1	Área de Armazenamento de sólidos	19.390,60	1.939,06	15	7.756,24	1.163,44	853,19
	1	Pátio de compostagem	15.930,00	0,00	12	2.655,00	1.327,50	637,20
	1	Arborização, paisagismo e cercamento	625.978,56	70.590,32	-	160.305,54	46.567,30	27.862,76
Total			625.978,56	70.590,32	-	160.305,54	46.567,30	27.862,76

VI: Valor inicial; VF: Valor final; VU: Vida útil; VR: Valor residual

Tabela 7. Reinvestimento e despesas operacionais ao longo do horizonte do projeto para instalação da planta de biogás da G2, em Reais (R\$), 2012.

Item	Qtd.	Descrição	VI (R\$)	VF	VU (anos)	VR	Depreciação (R\$)	Juros
1	1	Reforma do Grupo Gerador	30.000,00	0,00	5	0,00	6.000,00	1.200,00
2	1	Troca da Lona PVC par Biodigestor	28.000,00	2.800,00	6	2.800,00	4.200,00	1.232,00
3	1	Reforma do sistema de canalização de biogás de aço galvanizado de ¾"	4.500,00	450,00	6	450,00	675,00	198,00
4	1	Reforma do sistema de coleta de água (calhas + tubulação + filtros + caixa de SS)	2.400,00	240,00	6	240,00	360,00	105,60
5	1	Reforma do tanque de agitação para desaglomeração de partículas, vol. 3 m ³ , acionado por motorreductor com eixo em balanço e impelidor de pás retas	3.200,00	320,00	6	320,00	480,00	140,80
	1	Reforma da peneira para separação das frações sólida e líquida de cama de frangos	3.000,00	300,00	6	300,00	450,00	132,00
	1	Reforma do Reator "in-vessel"	5.000,00	500,00	6	500,00	750,00	220,00
6	1	Reforma do sistema de compressão de biogás + Tanque pulmão	2.500,00	250,00	6	250,00	375,00	110,00
	1	Mão de obra para manutenção, óleos lubrificantes, etc...	73.000,00	0,00	2 a 10	0,00	0,00	0,00
Total			151.600,00	4.860,00	-	4.860,00	13.290,00	3.338,40

Vi: Valor inicial; VF: Valor final; VU: Vida útil; VR: Valor residual.

Tabela 8. Reinvestimento e despesas operacionais ao longo do horizonte do projeto para instalação da planta de biogás da G4, em Reais (R\$), 2012.

Item	Qtd.	Descrição	VI (R\$)	VF	VU (anos)	VR	Depreciação (R\$)	Juros
1	1	Reforma do Grupo Gerador	30.000,00	0,00	6	0	5.000,00	1.200,00
2	1	Troca da Lona PVC par Biodigestor	38.000,00	3.800,00	6	3.800,00	5.700,00	1.672,00
3	1	Reforma do sistema de canalização de biogás de aço galvanizado de ¾"	6.500,00	650,00	6	650,00	975,00	286,00
4	1	Reforma do sistema de coleta de água (calhas + tubulação + filtros + caixa de SS)	2.400,00	240,00	6	240,00	360,00	105,60
5	1	Reforma do tanque de agitação para desaglomeração de partículas, vol. 5 m ³ , acionado por motorreductor com eixo em balanço e impelidor de pás retas	4.200,00	420,00	6	420,00	630,00	184,80
	1	Reforma da peneira para separação das frações sólida e líquida de cama de frangos	10.500,00	1.050,00	6	1.050,00	1.575,00	462,00
	1	Reforma do reator "in-vessel"	7.000,00	700,00	6	700,00	1.050,00	308,00
6	1	Reforma do sistema de compressão de biogás + Tanque pulmão	2.500,00	250,00	6	250,00	375,00	110,00
	1	Mão de obra para manutenção, óleos lubrificantes, etc...	73.000,00	0,00	2 a 10	0,00	0,00	0,00
Total			174.100,00	7.110,00	-	7.110,00	15.665,00	4.328,40

Vi: Valor inicial; VF: Valor final; VU: Vida útil; VR: Valor residual.

O reinvestimento é realizado para reforma e manutenção de equipamentos, para estender a vida útil até o horizonte do projeto. Além disso, é descontado o valor de R\$ 73.000,00 para pagamento das despesas operacionais da G2 e G4.

É apresentado na Tabela 9, um resumo da totalização dos valores das Tabelas 5, 6, 7 e 8, fornecendo a visualização dos investimentos iniciais em equipamentos, a depreciação anual, a remuneração do capital empatado e o valor residual do investimento.

Tabela 9. Valores totais do investimento inicial em equipamentos, reinvestimento e despesas operacionais das plantas de biogás das G2 e G4, em Reais (R\$), 2012.

Resumo das Tabelas 5, 6, 7 e 8	Valor (R\$)	
	G2	G4
Investimento em equipamentos	409.517,06	625.978,56
Reinvestimento (com 6 e 7 anos)	78.600,00	101.100,00
Despesas operacionais*	73.000,00	73.000,00
Depreciação anual	29.381,63	46.567,30
Remuneração do capital médio empatado	18.226,73	27.862,76
Valor residual	115.700,81	160.305,54
Taxa de juros (%)	8,00%	
Horizonte do projeto (anos)	10	

* Ao longo do horizonte do projeto;

A remuneração do capital médio empatado representa uma oportunidade de investimento perdida. Assim, foram utilizados para o custo de oportunidade do capital investido na agricultura, em condições de risco, valores recentes, anunciados pelo COPOM (Comitê de Política Monetária do Banco Central), segundo Teixeira (2012) é de aproximadamente 8% ao ano.

6.2.3. - 3ª Etapa: Análise econômica

É apresentado na Tabela 10 à receita das plantas da G2 e G4, em Reais, 2012.

Tabela 10. Receitas das plantas da G2 e G4.

Receitas	G2	G4	Valor por Unidade
a) Renda Bruta (RB)		(R\$)	
Biogás	41.385,60	82.771,20	0,18 / kw
Biofertilizante	44.100,00	88.200,00	14,00 / m ³
Adubo orgânico	38.125,00	75.625,00	125,00 / t
Energia elétrica excedente*	538,94	533,29	0,149 / kw
Total (RB)	123.610,60	247.129,49	-

* Valor não creditado no fluxo de caixa.

O biogás entra na receita bruta em substituição da compra de EE, obtendo o produtor uma renda anual de R\$ 123.610,60 e R\$ 247.129,49, para as plantas da G2 e G4. Esses valores são considerados conservadores, visto que produtores rurais com isenção de impostos, podem pagar até R\$ 0,28/kw, dependendo da região. O produtor pode agregar ainda mais valor ao biofertilizante e ao adubo orgânico, fracionando a sua comercialização e agregando estratégias de merchandising relacionadas ao produto orgânico. O biofertilizante e o adubo orgânico podem ser comercializados, por R\$ 25,00/m³ de biofertilizante e R\$ 165,00/t de adubo orgânico, que dariam um acréscimo na receita, de R\$ 46,680 e R\$ 93.500,00/ano para a G2 e G4, respectivamente.

Na Tabela 11 compara-se o fluxo líquido de caixa (FLC) e fluxo líquido de caixa acumulado (FLCA) com fluxo líquido de caixa descontado (FLCD) e fluxo líquido de caixa descontado acumulado (FLCDA) das plantas de biogás da G2 e G4.

Tabela 11. Valores do fluxo líquido de caixa e fluxo líquido de caixa descontado, acumulado ou não, das plantas de biogás da G2 e G4, em Reais, 2012.

Ano	FLC	FLCA	FLCD	FLCDA
G2				
0	-483.564,06	-483.564,06	-483.564,06	-483.564,06
1	116.610,60	-366.953,46	107.972,78	-375.591,29
2	90.610,60	-276.342,86	77.683,98	-297.907,30
3	90.610,60	-185.732,26	71.929,62	-225.977,68
4	90.610,60	-95.121,66	66.601,50	-159.376,19
5	59.610,60	-35.511,06	40.569,97	-118.806,22
6	15.870,60	-19.640,46	10.001,17	-108.805,05
7	89.610,60	69.970,14	52.286,92	-56.518,12
8	88.610,60	158.580,74	47.873,55	-8.644,57
9	88.610,60	247.191,34	44.327,36	35.682,79
10	199.451,41	446.642,75	92.384,59	128.067,38
G4				
0	-729.172,56	-729.172,56	-729.172,56	-729.172,56
1	242.596,20	-486.576,36	224.626,11	-504.546,45
2	188.596,20	-297.980,16	161.690,84	-342.855,61
3	189.129,49	-108.850,67	150.137,09	-192.718,52
4	189.129,49	80.278,82	139.015,82	-53.702,70
5	158.165,28	238.444,10	107.644,63	53.941,94
6	86.496,20	324.940,30	54.507,28	108.449,22
7	187.596,20	512.536,50	109.460,58	217.909,80
8	186.596,20	699.132,70	100.812,12	318.721,92
9	186.596,20	885.728,90	93.344,56	412.066,47
10	346.901,74	1.232.630,64	160.682,63	572.749,10

FLC: Fluxo líquido de caixa; FLCA: Fluxo líquido de caixa acumulado; FLCD: Fluxo líquido de caixa descontado; FLCDA: Fluxo líquido de caixa descontado acumulado.

Pelo fluxo líquido de caixa é possível observar o tempo de retorno do investimento inicial. As plantas da granja G2 e G4 possuem um retorno do capital investido após o 6º e 3º ano, respectivamente. Agora se levar o conta o valor do dinheiro ao longo do tempo, esse retorno acontecerá após os 8º e 4º ano, respectivamente. É possível observar um desconto no 5º e 6º ano de projeto, por meio de um reinvestimento no valor de R\$ 78.600,00 e R\$ 101.100,00 para a G2 e G4, respectivamente.

Na Tabela 10, são apresentados os valores totais de investimento das plantas de biogás da G2 e G4.

Tabela 10. Valores de investimento das plantas de biogás das granjas G2 e G4.

Custo da Planta de Biogás	G2	G4
	(R\$)	
Custo engenharia de projeto*	-	-
Custo de equipamentos	409.517,06	625.978,56
Custo operacional	74.047,00	103.194,00
Custo total de investimento	483.564,06	729.172,56

* *Elaboração de descritivos de procedimentos operacionais, desenhos técnicos, fluxogramas e projetos básico e executivos: mecânico, elétrico, hidráulico e de processo.*

Os valores de uma planta de biogás podem ultrapassar os encontrados nessa estimativa, pois existe uma grande variedade de projetos e equipamentos no mercado.

Já os custos de elaboração de descritivos, procedimentos operacionais, desenhos técnicos, fluxogramas de processos, projetos básicos e executivos de disciplinas mecânicas, hidráulicas e elétricas, não foram adicionados nesse estudo. Estes devem ser elaborados por empresas de consultoria técnica, as quais podem desenvolver projetos personalizados, por meio de estudos de manejo zootécnico, testes de diluição da cama de frango, análises de sólidos totais, voláteis, carbono, nitrogênio, fósforo, etc.. e ensaios de metanização, para conhecer os parâmetros microbiológicos e físico-químicos do processo de biodigestão anaeróbia, com cama de frango do próprio produtor.

Na Tabela 11, são apresentados os indicadores econômicos das plantas de biogás das granjas G2 e G4.

Tabela 11. Indicadores econômicos das plantas de biogás da G2 e G4.

Indicadores Econômicos*	G2	G4
	(R\$)	
Payback econômico (anos)	8,20	4,50
Payback (anos)	6,22	3,58
Relação B/C	1,48	1,85
Taxa de desconto (% a.a.)	8,00	8,00
VPL	128.067,38	572.749,10
TIR (% a.a.)	13,44	23,47

* *Horizonte do projeto: 10 anos; Taxa de juros: 8% ao ano.*

O “payback” da G2, mostrou viabilidade econômica em médio prazo, indicando um investimento que requer maiores cuidados com o desenvolvimento do projeto. Sugere-se que o produtor rural desenvolva um marketing diferenciado para comercialização do adubo orgânico e do biofertilizante: oferecendo análises laboratoriais; marca com indicações da origem e qualidade da fabricação do produto; fracionamento, etc.. Dessa forma os indicadores podem se tornar mais vantajosos, com diminuição do “payback” para até 4 anos. Já a G4, apresentou excelentes indicadores de viabilidade econômica, sendo o projeto rentável, em curto prazo.

O índice relação B/C para o valor presente encontrado é igual a 1,48 (G2) e 1,85 (G4), indicando que as receitas atualizadas são maiores que os custos atualizados, portanto são viáveis.

A TIR (%) para os investimentos de G2 e G4 são de 13,44 e 23,47 % ao ano, respectivamente, o que indica excelente rentabilidade do capital investido, já que supera a taxa de juros praticada de 8%, logo os projetos são viáveis.

Este projeto, não deve ser realizado por empresas que não possuam o conhecimento técnico de processos anaeróbios. Pois existem diversas particularidades que podem inviabilizar o processo em escala comercial. Por isso é necessário uma multidisciplinariedade técnica com experiência na fabricação dos equipamentos, nas adaptações mecânicas e operacionais.

6.4. Conclusões

Existe viabilidade econômica para instalação de plantas de biogás em granjas com dois e quatro galpões de frangos de corte, com produções de 500 e 1.000 t de CF/ano, com retorno do capital investido em 6,2 e 3,6 anos, respectivamente. Os valores do biodigestor e do grupo gerador são responsáveis por cerca de 40 a 49 % do investimento inicial da planta de biogás, o que interfere potencialmente nos indicadores econômicos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A fabricação e o desenvolvimento de equipamentos e processos para o pré-processamento da cama de frangos de corte foi obtido com êxito, por isso é importante à utilização do equipamento para ensaios de outros resíduos agropecuários;
- Existe a possibilidade de diminuição do TRH para 24 dias, o que influencia no tamanho do biodigestor e conseqüentemente nos seus custos;
- A partir dos estudos realizados, será possível a elaboração de um projeto em escala comercial, para produção e utilização de biogás na própria granja;
- A compostagem “in-vessel”, pode tratar os resíduos provindos da mortalidade de aves em tempo acelerado. No entanto, são necessários ensaios de compostagem em diferentes TRH, para se comprovar a produção de metano.
- A fração sólida da peneira rotativa possui a possibilidade de ser utilizada como matéria-prima na fabricação de briquetes, os quais possuem 3.800 kcal/kg (Apêndice 19A e 19B), os quais podem dobrar a receita, ou até ser utilizado nos aquecedores movidos à lenha de granjas.

8. REFERÊNCIAS

ABBASI T. & ABBASI S.A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 03, p. 919-937, 2010.

ABEF – Associação Brasileira de Exportadores e Produtores de Frango de Corte. Disponível em: <<http://www.abef.com.br>> Acesso em: 12 jan. 2009.

ABOUELENIEN, FATMA; FUJIWARA, WATARU; NAMBA, YUZABURO; NAOMICHI, MARIA KOSSEVA; NAKASHIMADA, NISHIO YUTAKA. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 6368–6373, 2010.

AIRES, A. M. ; FUKAYAMA-NEME, E. H. ; LUCAS JR, J. ; MACHADO, C. R. Caracterização química de biofertilizantes de cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida biodegradada em anaerobiose. In: II SIGERA - International Symposium on Animal Waste Management, 2011, Foz do Iguaçu-PR. Agriculture, 2011.

AIRES, A. M. ; FUKAYAMA-NEME, E. H. ; LUCAS JR, J. ; MACHADO, C. R. Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida em biodigestor batelada. In: II SIGERA - International Symposium on Animal Waste Management, 2011, Foz do Iguaçu-PR. Livestock, 2011

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

AIRES, M. A.; LUCAS JR, J.; XAVIER, C. A. N.; MIRANDA, A. P.; FUKAYAMA, E. H. Dilution and separation of solids and liquids of broiler litter for supply of digester. CIGR - International Conference of Agricultural Engineering XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu-PR Brazil, **Anais...**, August 31 to September 4, 2008.

AIRES, A. M. ; LUCAS JR, J. ; FUKAYAMA, E. H. ; SILVA, A. A ; ROMANTINE, C. M. . Evaluation of anaerobic digestion from dilution with or without solid and liquid separations of broiler litter manures to biogas production.. In: CIGR - International Conference of Agricultural Engineering XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2008, Foz do Iguaçu. Interdisciplinary Issues, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – referências – elaboração. 28p. 2002.

ALVES, W. L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano.** [Jaboticabal]: FUNEP, 1996. 46 p.

AMARAL, L. A.; SCHOCKEN, D. B. L.; LUCAS JR., J. Redução de bactérias indicadoras de poluição fecal em estrume de aves de postura tratados por biodigestão anaeróbia. **Revista Brasileira Ciência Avícola**, Campinas, v.2, n.1, p 27-30, 2000.

AMORIM, A. C.; LUCAS JR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, jan./abr. 2004.

_____.;_____.;_____.; Efeito da estação do ano sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, 2004.

ANDALIB, M. ; NAKHLA, G. ; MCLNTEE, J. ZHU. Simultaneous denitrification and methanogenesis (SDM): Review of two decades of research. **Desalination**, v. 279, p. 01-14, 2011.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA. São Paulo: Agra FNP, Instituto FNP, 2008. p. 243-270.

APHA. AWWA. WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater.** 20th ed. Washington: American Public Health Association 2000.

APHA. AWWA. WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater.** 20th ed. Washington: American Public Health Association 1998.

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

AVILA, V. S.; ABREU, V. M. N.; FIGUEIREDO, E. A. P.; BRUM, P. A. R.; OLIVEIRA, U. Valor Agrônomo da Cama de Frangos após Reutilização por Vários Lotes Consecutivos Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, 2007. 4p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 466).

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

BRAKE, J. D. et al. Evaluations of whole chopped kenaf and kenaf core used as a broiler litter material. **Poultry Science**, Savoy, v. 72, n. 11, p. 2079-2083, 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa Nº 49, de 15 de Setembro de 2008. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19081>>. Acesso em: 01 de dez. 2012.

BROUGHTON, M. J.; THIELE, J. H.; BIRCH, E. J.; COHEN, A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. **Water Research**, v. 32, n. 5, p. 1423-1428, 1998.

BURTON, C. H. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure, **Livestock Science**, v. 112, n. 3, p. 208–216, 2007.

BUSTAMANTE, M. A.; ALBURQUERQUE, J.A.; RESTREPO, A. P.; DE LA FUENTE, C.; PAREDES, C.; MORAL, R.; BERNAL, M.P. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture, **Biomass and Bioenergy**, v. 43, p. 26–35, 2012.

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

CAMARERO, L.; DIAZ, J. M.; ROMERO, F. Final treatments for anaerobically digested piggery slurry effluents. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 11, n. 6, p. 483-489, jul. 1996.

CARVALHO, P. C. T. Compostagem. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 181-208.

CERVI, R. G. **avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbia: estudo de caso em unidade biointegrada**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração de Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CEZAR, V. R. S. **Efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização e a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fósforo**. 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CEKMECELIOGLU, D.; DEMIRCI, A.; GRAVES, R.E.; DAVITT, N.H. Applicability of optimized *in-vessel* food waste composting for window system, **Biosyst. Eng.** 91, 479–486, 2005.

CHARLES, W., WALKER, L., CORD-RUWISCH, R. Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste. **Bioresource Technology**. 100, 2329–2335, 2009.

CHEN, Y. Sewage sludge aerobic composting technology research progress. **AASRI Procedia**, v. 1, p. 339-343, 2012.

CHEN, T. H.; SHYU, W. H. Chemical characterization of anaerobic digestion treatment of poultry mortalities. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 37-48, 1998.

CHEN, Y.; CHENG, J.J.; CREAMER, K.S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresour. Technol.** vol. 99, pg. 4044–4064, 2008.

CHUN-JIANG AN; GUO-HE HUANG; YAO YAOA; WEI SUN; KAI AN. Performance of in-vessel composting of food waste in the presence of coal ash and uric acid. **Journal of Hazardous Materials**. vol. 203-204, pg. 38-45, 2012.

CHULHWAN, P., CHUNYEON, L., SANGYONG, K., YU, C., HOWARD, C.H. Upgrading of anaerobic digestion by incorporating two different hydrolysis processes. **J. Biosci. Bioeng.** 100, 164–167, 2005.

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

COSTA, J. C.; BARBOSA, S.G.; SOUZA, D. Z. Effects of pre-treatment and bioaugmentation strategies on the anaerobic digestion of chicken feathers. **Bioresource Technology**, v. 120, p. 114-119, 2012.

CUKJATI, N.; ZUPANCIC, G.D.; ROS, M.; GRILC, V. Composting of anaerobic sludge: An economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. **Journal of Environmental Management**, v. 106, p. 48-55, 2012.

DAMIANOVIC, M. H. R. Z. **Estudo do efeito de nutrientes no desempenho de reatores de manta de lodo em escala de bancada alimentados com efluente de processamento de milho**. 1992. 127 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FARO, C. **Elementos de engenharia econômica**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 1979. 328 p.

FERREIRA, L. F. S. A.; TURCO, J.E.P. **Avaliação do consumo e custo de energia elétrica em galpão para criação de frangos de corte, em dois ciclos de criação**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., Campinas, 2003.

FERREIRA, D. F. **Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Programas e Resumos... São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235

FERNANDES, F. ; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para reciclagem de biossólidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. v. 2000. 84 p.

FLYNN R. P.; WOOD, C. W. Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. **Compost Science Util**, v. 4, n. 3, p. 62-70, 1996.

FORESTI, E. et al. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-52.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - v. 12, n. 1, p. 91–97, 2008.

FUKAYAMA-NEME, E. H.; LUCAS JR, J.; AIRES, A. M.; MIRANDA, A. P; AUGUSTO, K. V. Z. Biogas production by broiler litter. **Bioresource Technology**, 2010.

FUKAYAMA-NEME, E. H. ; LUCAS JR, J. ; AIRES, A. M. ; MIRANDA, A. P ; AUGUSTO, K. V. Z. . Biogas production by litter broiler. In: International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture, 2010, Dallas - TX - USA. International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture, 2010.

FUKAYAMA, E. H. ; LUCAS JR, J. ; AIRES, A. M. ; MIRANDA, A. P ; AUGUSTO, K. V. Z. . Evaluation of production of reuse litter by four broiler breeding cycle. In: International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture, 2010, Dallas - TX - USA. International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture, 2010.

FUKAYAMA, E. H. ; LUCAS JR, J. ; AIRES, A. M. ; SILVA, A. A ; OLIVEIRA, R.A. DE . Biogas production by litter broiler.. In: SIGERA - International Symposium on Animal Waste Management, 2009, Florianópolis. Waste Management, 2009.

FUKAYAMA, E. H. ; LUCAS JR, J. ; AIRES, A. M. ; MIRANDA, A. P ; ROMANTINE, C. M. . Evaluation of production of reuse litter by four broiler breeding cycle.. In: SIGERA - International Symposium on Animal Waste Management, 2009, Florianópolis. Waste Management, 2009.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 99 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GARBA, B. Effect of temperature and retention period on biogás production from lignocellulosic material. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 938-941, sep/dec. 1996.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**, Harbra, São Paulo, 2002, 7ª ed.

GERARDI, M. H. **The microbiology of anaerobic digesters**. John Wiley and Sons, New York, 2003. 130 p.

GORGATI, C. Q. **Resíduos Sólidos Urbanos em Área de Proteção aos Mananciais – Município de São Lourenço da Serra – SP: Compostagem e Impacto Ambiental**. 2001. 74 f. Tese. (Doutorado em Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

GONÇALVES, A. Os principais produtos da agricultura paranaense. **Gazeta do Povo**, São Paulo, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/retratosparana/curiosidades/conteudo.phtml?id=1202323&tit=Os-principais-produtos-da-agricultura-paranaense>>. Acesso em: 30 nov. 2012.

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

GROSSI, M.G.L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. 1993. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1993.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G.; DEMIRER, G.N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. **Bioresour. Technol.** 93, 109–117, 2004

HAMMAD, M.; BADARNEH, D.; TAHBOUB, K. Evaluating variable organic waste to produce methane. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 40, n. 13, p. 1463-1475, sep. 1999.

HESSAMI, M. A.; CHRISTENSEN, S.; GANI, R. Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogas. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 954-957, sep/dec. 1996.

HJORTH, M., CHRISTENSEN, K.V., CHRISTENSEN, M.L., SOMMER, S.G., Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 153–180, 2010.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Linha de aquecedores de água a gás. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua.pdf>> Acesso em: 03 fev. 2008.

IYENGAR, S.R.; BHAVE, P.P. *In-vessel* composting of household wastes, **Waste Manage.** 26, 1070–1080, 2006.

ITODO, I. N.; AWULU, J. O. Effects of total solids concentrations of poultry, cattle and piggery waste slurries on biogas yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 6, p. 1853-1855, dec. 1999.

JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; ZHANG, X. Measuring the usable carbonate alkalinity of operating anaerobic digesters. **Journal WPCF**, Alexandria, v. 63, n. 1, p. 28-34, 1991.

JONES JUNIOR, H. B., OGDEN, E. A. Biomass energy potential from livestock and poultry wastes in the southern United States. **Biomass**, v. 6, p. 25 -35, 1984.

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

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KIM, J.-D.; PARK, J.-S.; IN, B.-H.; KIM D.; NAMKOONG, W. Evaluation of pilot-scale *in-vessel* composting for food waste treatment. **Journal of Hazardous Materials**, 154 (12) 272-277, 2008.

_____. **Manual de compostagem maturação e qualidade do composto**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 171p.

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003b. 10p. (Circular Técnica, 31).

KOSARIC, N.; VELIKONJA, J. Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 111-142, feb. 1995.

LAZZARINI NETO, S. **Controle da produção e custos**. São Paulo: SDF Editores, 1995. 63 p. (Coleção lucrando com a pecuária, v. 9).

LASHERMES, G.; BARRIUSO, E.; LE VILLIO-POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Composting in small laboratory pilots: Performance and reproducibility. *Waste Management*, vol. 32, pg. 271-277, 2012.

LASTELLA, G. et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 63-75, jan. 2002.

LAU, A. K. et al. Aeration experiments for swine waste composting. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 145-152. 1992.

LEAL, N.; MADRID de CAÑIZALES, C.M. Compostaje de residuos orgánicos mezclados com roca fosforica. **Agronomía Tropical**, v. 48, n. 3, p. 335-357, 1998.

LEPISTÖ, R.; RINTALA, J. Conversion of volatile fatty acids in an extreme thermophilic (76-80°C) upflow anaerobic sludge-blanket reactor. **Bioresource Technology**, v. 56, p. 221-227, 1996.

LI, D.; Z., T.; Chen, L.; Jiang, W.; Cheng, F.; Li, B.; Kitamura, Y. Using porphyritic andesite as a new additive for improving hydrolysis and acidogenesis of solid organic wastes. **Bioresouce Technology**, v. 100, n. 23, p. 5594-5599, 2009.

LIEN, R. J.; CONNER, D. E. ; BILGILI, S. F. The use of recycled paper chips as litter material for rearing broiler chickens. **Poultry Science**, Savoy, v. 71, n. 1, p. 81-87, 1992.

LIU, W. T.; CHAN, O. C.; FANG, H. H. P. Microbial community dynamics during start-up of acidogenic anaerobic reactors. **Water Resource**, New York, v. 36, n. 13, p. 3203-3210, jul. 2002.

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

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

_____. Biodigestores para o meio rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995.

_____. Sistemas de manejo de dejetos - ISO 14000. In: ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 2., 1996, Campinas. **Anais...**Campinas:ABCP, 1996.

LESTEUR, M., BELLON-MAUREL, V., GONZALEZ, C., LATRILLE, E., ROGER, J.M., JUNQUA, G., STEYER, J.P. Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: a review. **Process Biochem**. 45, 431–440, 2010.

LUCAS JR., J.; SANTOS, T. M. B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 2000, Concórdia, SC. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p. 27-43.

LUTZ, P. **New Bekon biogas technology for dry fermentation in batch process.** Disponível em: <<http://www.bekon.eu/134.html>>. Acesso em: 12/04/2011.

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

MALONE, G. W. Nutrient enrichment in integrated broiler production systems. **Poultry Science**, v. 71, p. 1117-1122, 1992.

MARTINEZ, J., BURTON, C. H., SNEATH, R. W., FARRENT, J. W., A study of the potential contribution of sedimentation to aerobic treatment processes for pig slurry. **Journal Agricultural Engineering Research**. v. 61, p. 87-96, 1995.

MARTIN, N. B. et al. Sistema integrado de custos agropecuários - CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 7-28, jan. 1998.

MARTINS, Ricardo Silveira Martins; REBECHI, Daniele Rebechi; PRATI Celso A. P.; CONTE, Honório. Decisões estratégicas na logística do agronegócio: compensação de custos transporte-armazenagem para a soja no estado do Paraná. *Revista de Administração Contemporânea. RAC*, vol.9 no. 1. Curitiba. Jan./Mar. 2005: 53-57.

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch. **Water Resource**, v. 34, n. 12, p. 3087-3106, 2000.

MASSÉ, D. L., MASSE, L, CROTEAU, F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology**, v. 89, Issue 1, p. 57-62, August 2003.

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 3-16, 2000.

MATSUNAGA, M. et al. Metodologia do custo de produção adotado pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, p. 123-139, 1976.

MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Efeitos de composto de lodo de cervejaria em propriedades químicas e físicas do solo e em plantas de painço em casa-de-vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. (CD-Rom).

MENARDO, S., BALSARI, P., DINUCCIO, E., GIOELLI, F. Thermal pre-treatment of solid fraction from mechanically-separated raw and digested slurry to increase methane yield. **Bioresour Technol.** 102, 2026–2036, 2011.

MORENG, R. E.; EVANS, J. S. **Ciência e produção de aves: aquecimento, criação, alojamento, equipamentos e produção de aves.** São Paulo: Roca, 1990. p. 143-178.

MOLLER, H.B., HANSEN, J.D., SURENSEN, C.A.G. Nutrient recovery by solid-liquid separation manure, straw and solid fraction of manure. **Trans. ASABE.** 50, 193– 200, 2007a

MOLLER, H.B., NIELSEN, A.M., NAKAKUBO, R., OLSEN, H.J. Process performance of biogas digesters incorporating pre-separated manure. **Livest. Sci.**112, 217–223, 2007b.

MUMME, J., LINKE, B., TÖLLE, R. Novel upflow anaerobic solid-state (UASS) reactor. **Bioresour. Technol.** 101, 592–599, 2010.

NAKAGAWA, J. Compostagem: obtenção e uso. In: Encontro Sobre Matéria Orgânica Do Solo: Problemas e Soluções, 1., 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Champion Papel e Celulose Ltda., 1992. 29 p.

NEKLYUDOV, A.D., FEDOTOV, G.N., IVANKIN, A.N., Aerobic processing of organic waste into composts. **Appl. Biochem. Microbiol.** 42 (4), 341–353, 2006.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos.** 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

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

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP/FCAV, 1991. 34 p.

ÖZTÜRK, M. Degradation of acetate, propionate and butyrate under shock temperature. **Journal of Environmental Engineering**, v. 119, n. 2, 1993.

PARK, C., LEE, C., KIM, S., CHEN, Y., CHASE, H.A. Upgrading of anaerobic digestion by incorporating two different hydrolysis processes. **J. Biosci. Bioeng.** 100, 164–167, 2005.

PAGANINI, F. J. **Produção de frangos de corte: manejo de cama**. Ed. MENDES, A. A.; NÄÄS, I. de A.; MACARI, M. Campinas: FACTA. 356p. 2004.

PAUL, E.A., CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**, San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PLAIXATS, J.; BARCELO, J.; GARCIA-MORENO, J. Characterization of the effluent residue from anaerobic digestion of pig excreta for its utilization as fertilizer. **Agrochimica**, v. 32, n. 2-3, p. 236-239, 1988.

PROCHNOW, L. I. et al . Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, 1995. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>> Acesso em: 12 abr. 2008.

RAO GANGAGNI, A.; SURYA PRAKASH S.; JOHNY JOSEPH, A.; RAJASHEKHARA REDDY, A.; SARMA, P. N. Multi stage high rate biomethanation of poultry litter with self-mixed anaerobic digester. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 729-735, 2011.

RUIZ, R. L. et al. Microbiologia do rúmem e do biodigestor. In: RUIZ, R. L. **Microbiologia zootécnica**. São Paulo: Roca, 1992. p. 124-167.

SANTOS, C. C. **Avaliação físico-química de compostos de cama de frango e sua utilização na agricultura**. 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

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 frangos de corte.** 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

_____. **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 Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JUNIOR, J. **Utilização de resíduos da avicultura de corte para a produção de energia.** In: ZOOTECA, 2003; CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECA, 5.; CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECA, 13., 2003, Uberaba, 2003. p. 131-141.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JUNIOR; SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 658-664, set./dez. 2007.

SAS INSTITUTE. Program version 9.1. Cary, 2003.

SEGANFREDO, M. A. O impacto ambiental na utilização de cama de aves como fertilizante do solo. 2000. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>> Acesso em: 06 jan. 2009.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRAO, N. E. M. **Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas.** EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2006. Campina Grande. Comunicado Técnico, 278.

SHARMA, V. K. et al. Inclined-plug-flow type reactor for anaerobic digestion of semi-solid waste. **Applied Energy**, London, v. 65, n. 2, p. 173-185, apr. 2000.

SILVA, F. M.; LUCAS JUNIOR, J.; BENINCASA, M.; OLIVEIRA, E. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 608-614, set./dez. 2005.

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

SINGH, S.; SINGH, S. K. Effect of cupric nitrate on acceleration of biogas production. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 417-419, apr. 1996.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. Avaliação do uso de inóculo na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-159, maio, 2002.

STERLING JUNIOR, M. C. et al. Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, n. 1, p. 9-18, mar. 2001.

TEIXEIRA, M. Banco central reduz taxa de juros para 8% ano ano. **Folha de São Paulo**, São Paulo, Julho. 2012. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/poder/1118575-banco-central-reduz-taxa-de-juros-para-8-ao-ano.shtml>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

THEMELIS, N.J., ULLOA, P.A. Methane generation in landfills. **Renew. Energy** 32, 1243–1257, 2007.

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 69-105.

TORRES, M.L., DE LLORENS, M.C.E. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. **Waste Manage.** 28, 2229–2234, 2008.

UBA – União Brasileira de Avicultura. Disponível em: <<http://www.uba.org.br>> Acesso em: 12 jan. 2009.

UNFCCC. United Nations Framework Convention On Climate Change. Inventories nacional submissions, 2009. Disponível em: <www.unfccc.int/national_reports/annex_i/ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4771.php>. Acesso em: 03 dez. 2012.

UNFCCC. United Nations Framework Convention On Climate Change. Overview of project activity cycle. Disponível em: <<http://unfccc.int/cdm>>. Acesso em: 10 out. 2011.

UNFCCC. United Nations Framework Convention On Climate Change. Kyoto protocol, 1998. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Programa de Pós Graduação em Zootecnia. Disponível em <<http://www.fcav.unesp.br/zootecnia/normasdiretrizes.php>> Acesso em: 30 abril 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Departamento de Ciências Exatas. Estação Agroclimatologica: Valores médios no período 1971-2008. Disponível em <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 03 jun 2008.

VITORINO, K. M. N.; PEREIRA NETO, J. T. **Estudo da compostabilidade dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira.** In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1992, Viçosa. Anais... Viçosa:UFV, 1992. p.121-132.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e tratamento dos esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996.

WALKER, L.; CHARLES, W.; CORD-RUWISCH, R. Comparison of static, *in-vessel* composting of MSW with thermophilic anaerobic digestion and combinations of the two processes. **Bioresource Technology** 100(16): 3799-3807, 2009.

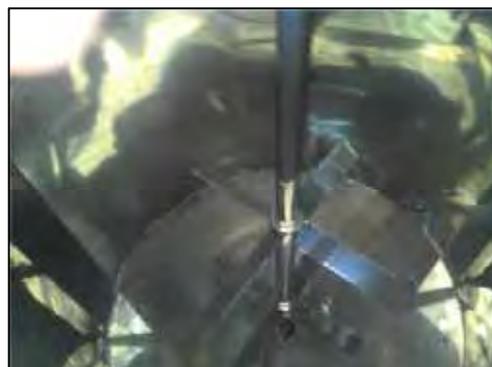
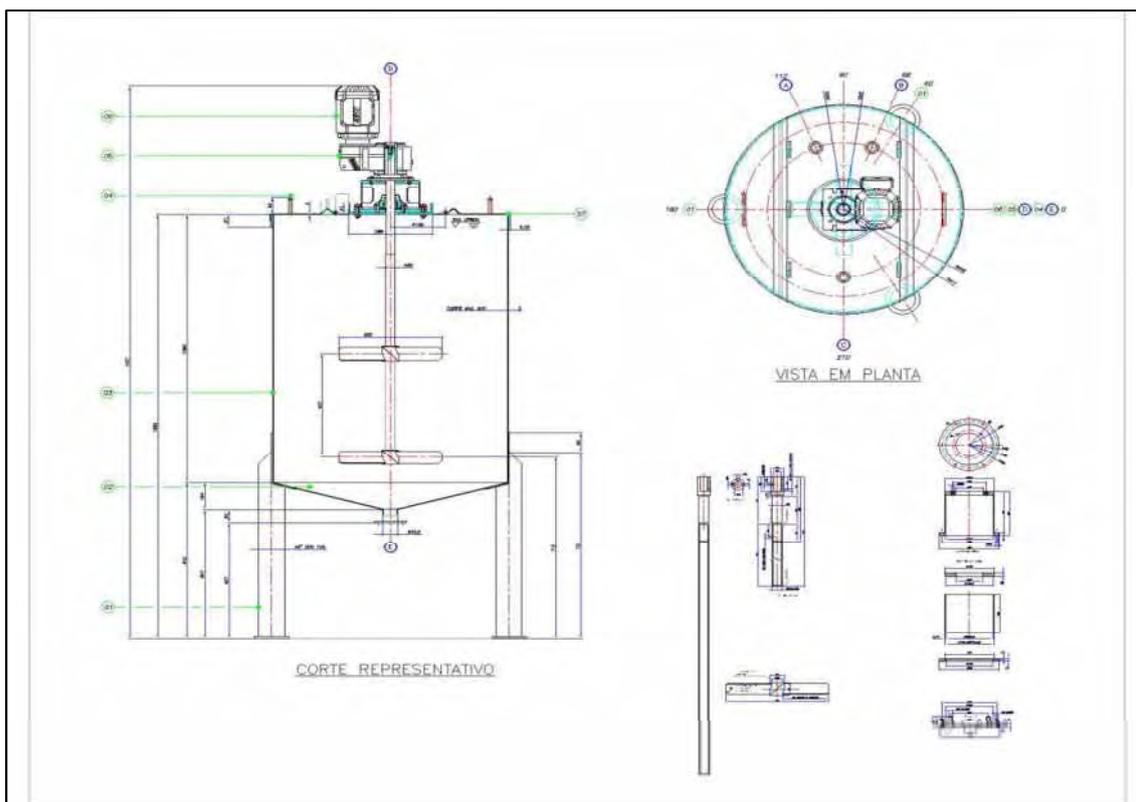
WEBB, A. R., HAWKES, F. R. The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium–nitrogen levels. **Agricultural Wastes** v.14, p. 135–156, 1985.

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

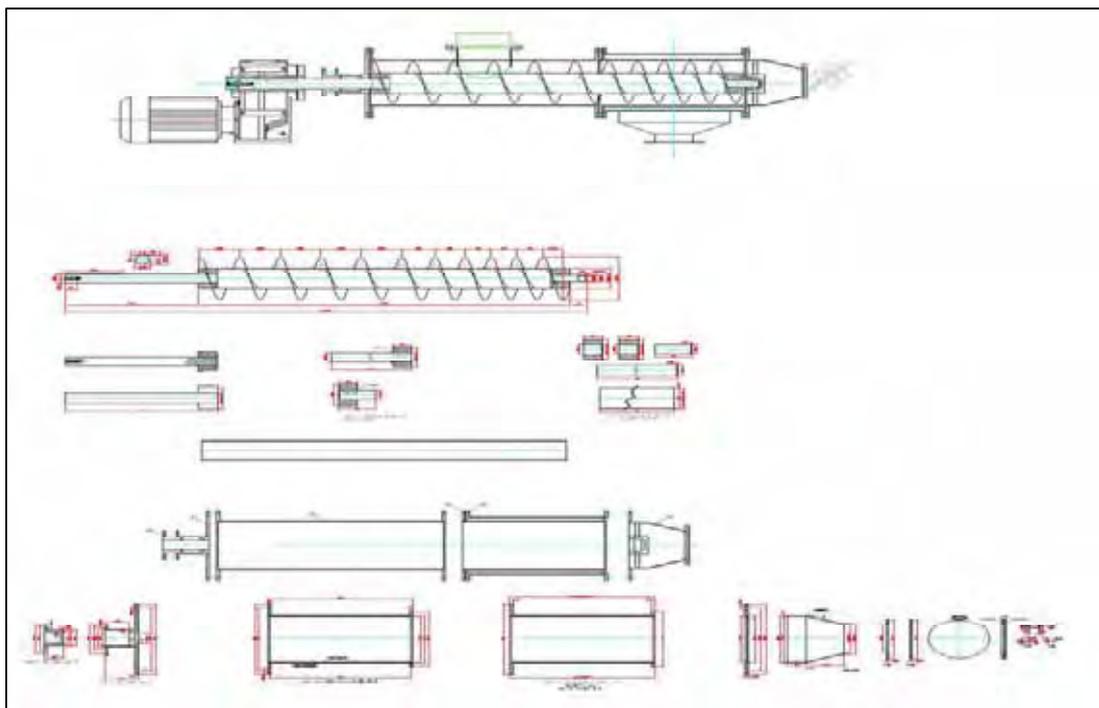
YADVIKA, S. et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, oct. 2004.

YETILMEZSOY, K., SAKAR, S., 2008. Development of empirical models for performance evaluation of UASB reactors treating poultry manure wastewater under different operational conditions. **J. Hazard. Mater.** 153, 532–543.

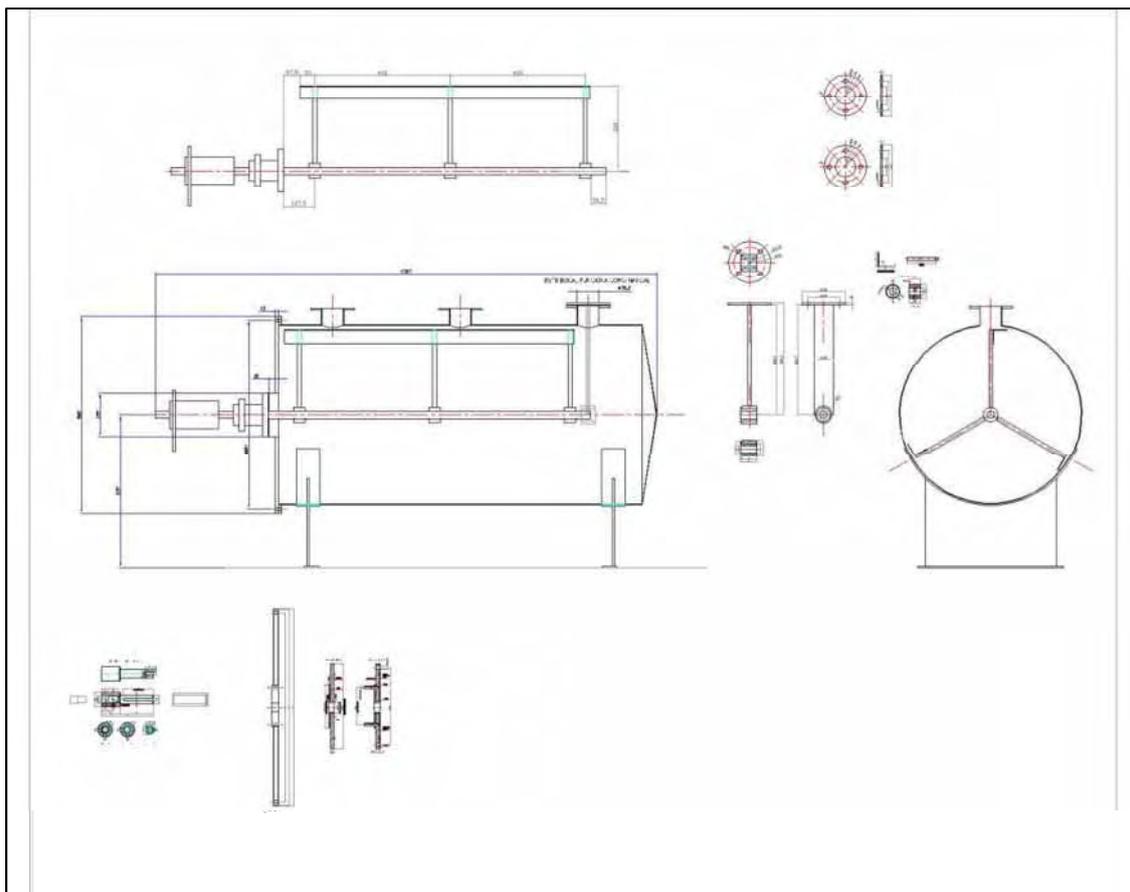
APÊNDICES



Apêndice 1. Tanque de diluição e desaglomeração de partículas de cama de frango de corte, com capacidade de 500 litros e fabricada em aço inox 306, constituída de motor de 1 cv., impelidores e defletores.



Apêndice 3. Peneira rotativa (separador de partículas de CF diluída), fabricada de aço inox 306, com malha circular de 0,5 mm e motor de 2 cv.



Apêndice 4. Tanque de homogeneização de fração líquida de CF, com capacidade de 400 litros e motor de 1 cv.



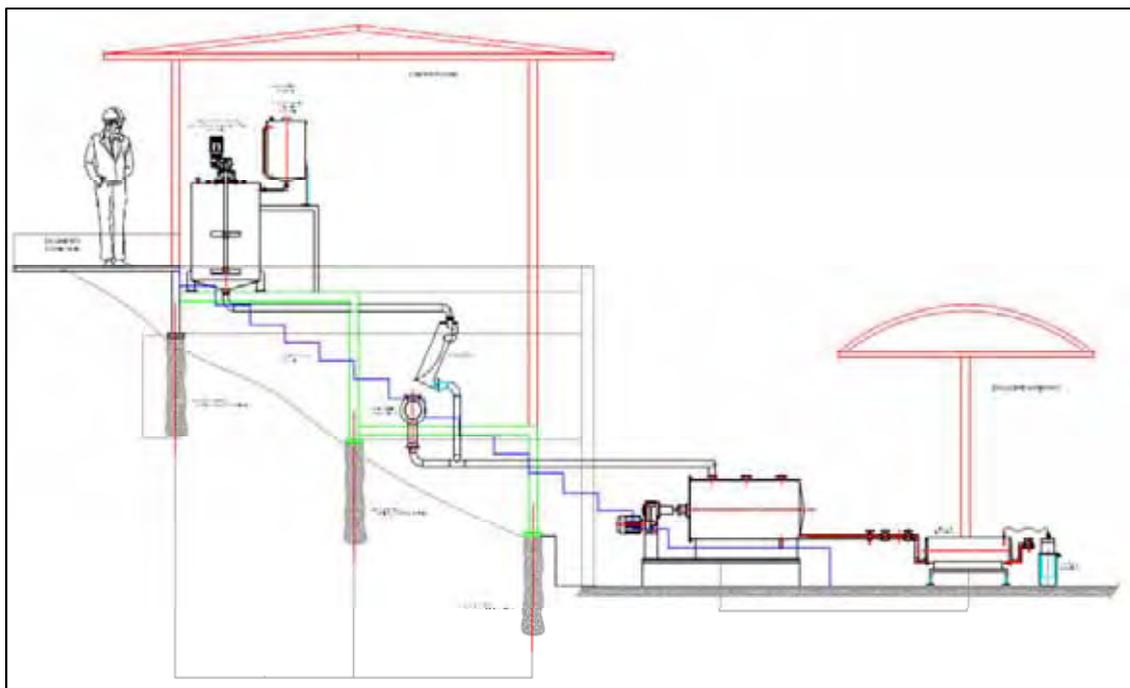
Apêndice 5. Sistema de coleta de água de chuva para utilização na diluição de CF, constituída de tanque de 1.000 litros, 9 metros de calha de coleta de água de chuva, 1 (uma) bomba de 0,75 cv., de transferência de água, para 2 (dois) reservatórios de 90 litros cada, fabricados em aço inox 306, os quais possuem 1 (uma) bomba de transferência de água, com motor de 1 cv tanques de aço inox 306.



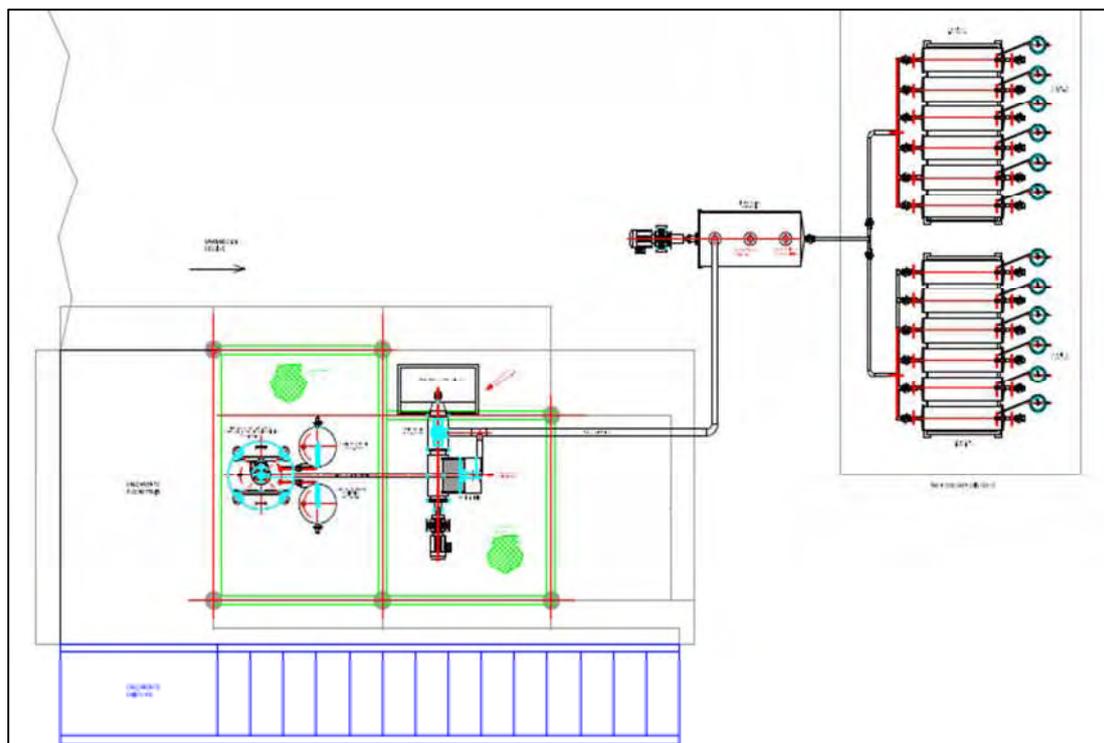
Apêndice 6. Painel de comando, responsável pelo acionamento e proteção dos motores, dos equipamentos citados acima.



Apêndice 7. Instalação da plataforma de alocação dos equipamentos de pré-processo de BA.



Apêndice 8A. Vista em elevação do projeto inicial da área experimental, contendo equipamentos de pré-processo de separação de frações e sistema contínuo de BA.



Apêndice 8B. Vista em planta do projeto inicial da área experimental, contendo equipamentos de pré-processo de separação de frações e sistema contínuo de BA.



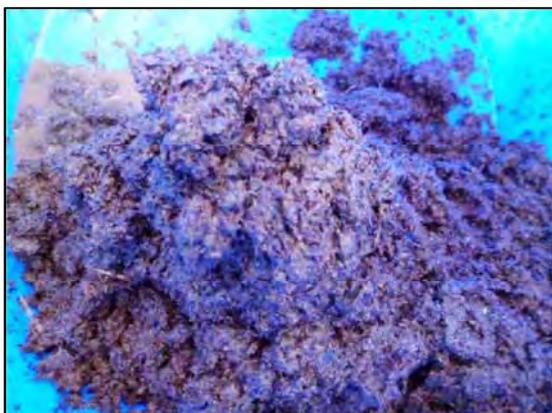
Apêndice 8C. Plataforma do pré-processo de separação de frações sólida e líquida de cama de frangos de corte.



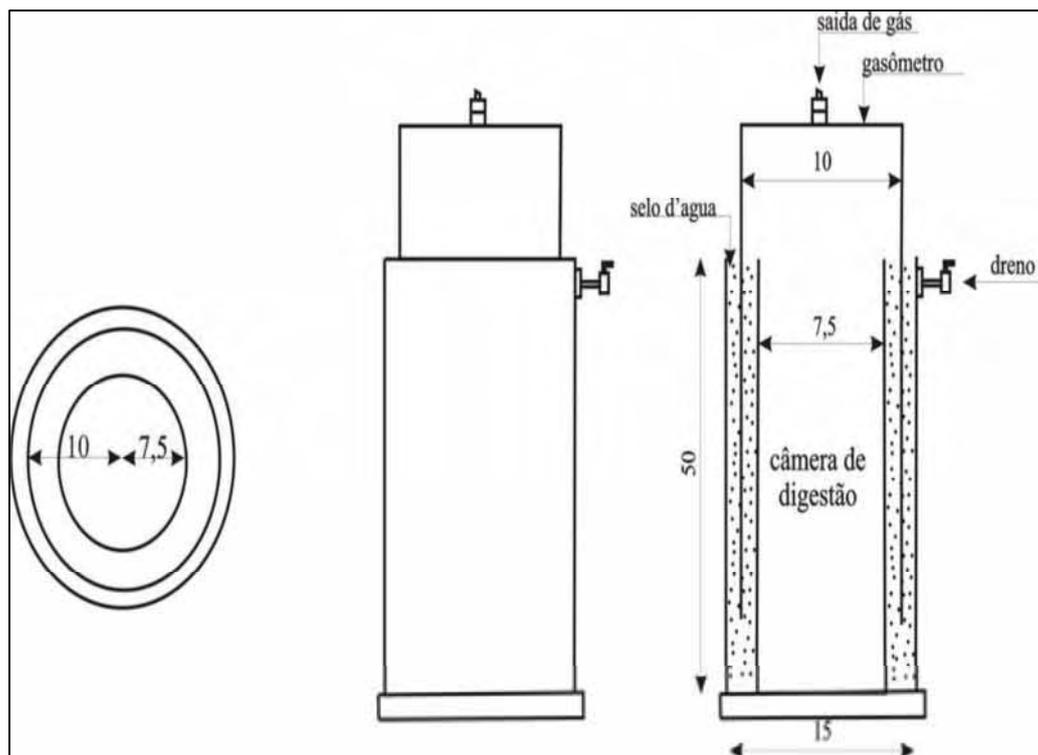
Apêndice 9. Modelos de tampas de pressão, para flange de saída da fração sólida da peneira rotativa, utilizado nos testes que antecederam o Capítulo 2.



Apêndice 10. Cama de frango com duas reutilizações e base de casca de amendoim.



Apêndices 11A e 11B. Fração sólida e fração líquida de cama de frangos de corte, após separação de frações sólida e líquida por peneira estática e rotativa.



Apêndice 12A. Modelo de biodigestor batelada, utilizado no ensaio experimental de BA.



Apêndice 12B. Biodigestores bateladas, utilizado no ensaio experimental de BA.



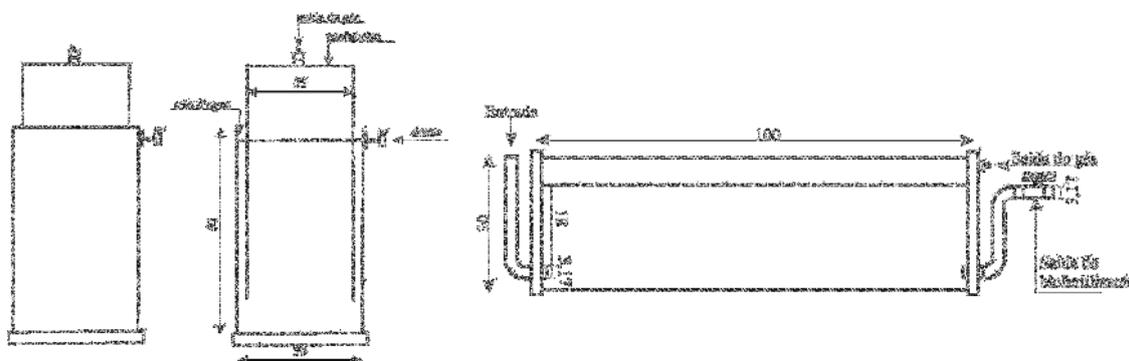
Apêndice 13. Inóculo utilizado nos ensaios experimentais, coletado de biodigestores contínuos de dejetos de bovinos e de CF biodigerida em sistema híbrido, com mistura de 1:1

Apêndice 14. Dados meteorológicos mensais do ano de 2012 em Jaboticabal no período experimental.

Mês	Pressão (hPa)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	Nº. dia chuva	Insolação (h)
Junho	946,6	26,0	15,0	19,4	80,7	139,2	10	182,6
Julho	947,3	27,3	12,7	19,0	66,3	13,7	4	265,8
Agosto	949,4	29,0	13,7	20,5	57,1	0,0	0	299,4
Setembro	946,1	31,9	16,2	23,2	54,1	78,9	5	251,5
Outubro	942,6	33,8	19,4	25,9	55,8	43,1	6	266,6

Pressão: pressão atmosférica; Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; Nº. dia chuva: número de dias com chuva

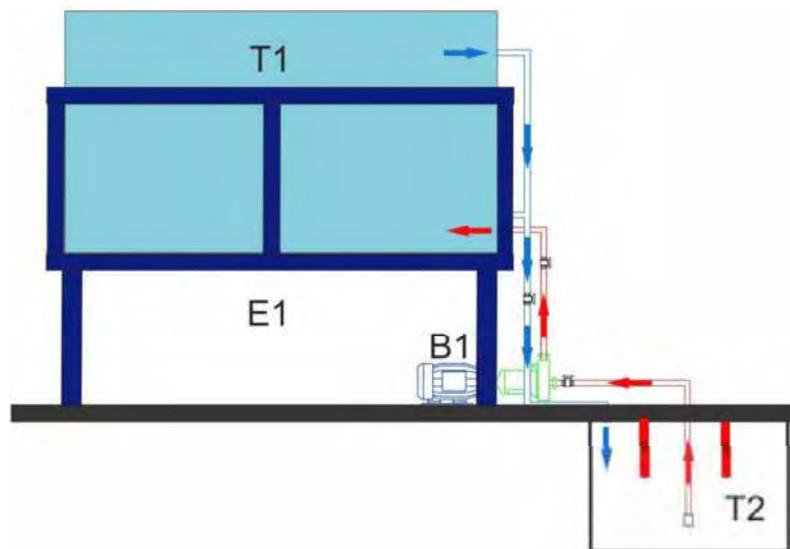
Fonte: UNESP (2012) - Departamento de Ciências Exatas - Estação Agroclimatológica



Apêndice 15. Biodigestor Contínuo utilizado no ensaio experimental de BA.



Apêndices 16A e 16B. Biodigestores contínuos, confeccionados para o ensaio de BA.



Apêndices 17A, 17B e 17C. Protótipo de compostagem "in-vessel". T1: Tanque de aquecimento dos reatores, volume 3 m³, de 1200 x 2500 mm. E1: Estrutura metálica de suporte, que eleva para 1700 mm a cima do piso, na parte inferior o tanque possui um dreno para facilitar a retirada de água e efluente dos reatores. T2: Tanque de aquecimento de água de reciclo do T1, com capacidade de 0,25 m³. B1: Bomba de água quente utilizada para envio de água quente do T2 para o T1.



Apêndice 18. Planta em 3D do sistema modelo para aproveitamento energético de cama de frangos de corte.



Apêndices 19A e 19B. Briquetes de FS da CF, contendo 3.800 kcal/kg.