

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Avaliação da Produção de Biogás em Aparato Experimental e seu
Potencial Técnico e Econômico para Geração de Energia Elétrica
em Aviários de Postura.**

Eruin Martusceli Ribeiro

Itajubá, agosto de 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Eruin Martusceli Ribeiro

**Avaliação da Produção de Biogás em Aparato
Experimental e seu Potencial Técnico e Econômico para
Geração de Energia Elétrica em Aviários de Postura.**

**Dissertação submetida ao programa de pós-
graduação em Engenharia de Energia como
parte dos requisitos para a obtenção do Título
de Mestre em Engenharia de Energia.**

**Área de Concentração: Exploração do Uso
Racional de Recursos Naturais e Energia**

**Orientador: Prof^a. Dr^a. Regina Mambeli Barros
Co-orientador: Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho**

Agosto de 2015

Itajubá - MG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Eruin Martusceli Ribeiro

**Avaliação da Produção de Biogás em Aparato
Experimental e seu Potencial Técnico e Econômico para
Geração de Energia Elétrica em Aviários de Postura.**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 28 de agosto de 2015, a conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Energia*.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Regina Mambeli Barros (Orientador)
Prof. Dr. Geraldo Lúcio Thiago Filho (Co- Orientador)
Prof. Dr. Rubenildo Vieira Andrade
Prof. Dr. Valdir Schalch

Itajubá 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas forças e inspiração para estudar, pela graça de ter ótimos mestres, orientadores e instituição de ensino.

A minha esposa Leni Ramos pelas vezes que precisei me ausentar para estudos e experimentos, e a família pelo amor, paciência e apoio.

A minha orientadora, profa. Regina, pela paciência em ensinar os conceitos relacionados ao tema estudado e direcionar meus passos rumo ao construto do conhecimento, sempre com boas ideias, sugestões e um generoso sorriso.

Ao meu coorientador prof. Tiago pelas vezes que mesmo cheio de tarefas me deu atenção apontando novas possibilidades.

Aos meus colegas de mestrado em especial Ivan, Juliana e Felipe, pelas dicas, exemplos, congressos e atividades que participamos juntos. Aos colegas do MEMARH, por compartilharmos sala e espaço de estudo durante esses dois anos.

As graduadas em Engenharia Ambiental Luma e Ticiane pelo auxílio com os experimentos, a profa. Ana Moni pelas correções e suporte nos desenhos.

Aos técnicos do LABRES em especial Claudio e João Victor pelas análises laboratoriais.

Aos gestores da Granja IANA em especial Amauri e André por terem cedido dejetos e permitido a realização do estudo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho, com dicas e sugestões.

A CAPES pelo apoio financeiro e bolsa que possibilitou a dedicação exclusiva aos estudos e experimentos deste projeto.

RESUMO

A modernização de alguns segmentos da agropecuária para a produção de alimentos em grandes quantidades, fez com que antigos sistemas de produção animal se tornassem organizados e intensivos. Com isso, grandes concentrações de animais em áreas reduzidas são cada vez mais comuns. Em consequência, a produção de dejetos e resíduos animais aumentaram em proporções maiores devido à disparidade da conversão alimentar. Grandes quantidades de dejetos, se não tratados e dispostos de forma adequada, causam impactos ambientais, degradam o solo, as águas e proliferam agentes vetores causadores de doenças, além da emissão de gases causadores do efeito estufa. O presente trabalho propõe uma nova destinação para os resíduos da avicultura de postura, submetendo os à biodigestão anaeróbia, para a produção de biogás e energia elétrica, como forma de conformidade a lei federal 12.305/2010. Através do uso de aparatos experimentais em laboratório, sob determinadas condições de temperatura e teor de sólidos, foi possível mensurar a quantidade e composição do biogás produzido. No melhor cenário a produção de biogás foi de $0,36\text{m}^3/\text{kg ST}$, com um teor médio de 63% de metano (CH_4). Levando-se em conta motores geradores com eficiência de 33% e poder calorífico inferior (PCI) do biogás de 37MJ, as potências uteis teóricas calculadas foram de 606kW, 363kW, 121kW, 61kW, 36kWe 12kW, para cada tamanho de granja. Utilizando um fator de capacidade de (FC) de 70% a energia disponível total encontrada foi de 1,277 TWh /ano, as reduções de carbono equivalente (CO_2eq) foram de 8,023 milhões de toneladas pela queima e 38,4 mil toneladas pela energia evitada. Na análise econômica com simulação de Monte Carlo, variando-se a potência teórica, preço de tarifa, custos de operação e fator de capacidade, em seis cenários distintos, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR), para o cenário mais promissor, lucro presumido com uso interno da energia e venda do excedente pelo mercado regulado, ficou em R\$ 364160 e 37,7%, para a potência de 121kW e R\$ 3502 e 15,2% para o menos promissor, potência de 61kW. As probabilidades de se atingir os resultados econômicos esperados foram de 66% e 0,5% respectivamente. Houve significativa redução do teor de matéria orgânica, sólidos, carbono e nitrogênio, presentes no substrato afluente, após a biodigestão, porém, há a necessidade do aumento do tempo de retenção hidráulica e/ou tratamento adicional para que o efluente fique em conformidade com os valores mínimos definidos pela legislação.

Palavras-chave: Anaeróbia, biogás, biomassa residual, biodigestão, metano, resíduo sólido urbano, resíduo agrossilvopastoril.

ABSTRACT

The modernization of some segments of agriculture for food production in large scale meant that simple animal production systems become organized and intensive. Therefore, large concentrations of livestock in small areas are increasingly common. Consequently, the production wastes and animal manure increased by larger proportions due to the disparity of feed conversion. Large amounts of wastes, if not managed carefully and properly disposed, cause environmental impacts, degrade soil, water and causing disease vectors, as well as emission of gases that cause the greenhouse effect. This paper proposes a new destination for wastes from laying poultry, submitting them to the anaerobic digestion for the production of biogas and electricity as a means of compliance with Federal Law 12,305 / 2010. By using laboratory experimental apparatus, under certain conditions of temperature and percentage of solids, it was possible measurement of the quantity and composition of the biogas produced. In the best scenario biogas yield was $0,36\text{m}^3/\text{kg TS}$, with 63% methane (CH_4) in its compound. Taking into account engines generators with 33% of efficiency and lower heat power (LHP) of 37MJ of biogas, the theoretical useful powers were calculated in 606kW, 363kW, 121kW, 61kW, 36kW and 12kW for each farm size. Using a capacity factor (CF) equal to 70% , the total amount of energy available was 1,277 TWh / year. The carbon equivalent reductions (CO_2 eq) were 8.023 million tons by burning and 38.4 tons avoided by energy. In the economic analysis with Monte Carlo simulation, varying the theoretical power, tariff price, operating cost and capacity factor in six different scenarios, the net present value (NPV) and internal rate of return (IRR) for the most promising scenario, was R\$ 364160 and 37.7% to the power of 121kW and R \$ 3502 and 15.2% for the less promising, to the power of 61kW. The probabilities of achieving the expected economic results were 66% and 0.5% respectively. Significant reduction of the content of organic matter, total solid, carbon and nitrogen present in the influent substrate, after anaerobic digestion, however, there is a need to increase the hydraulic retention time and / or additional treatment for the final effluent been in accordance with the minimum values defined by the environment laws.

Keywords: Anaerobic, biogas, biomass waste, digestion, methane, municipal solid waste, agriculture wastes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais Países Produtores de Ovos	27
Figura 2: Cabeças de Aves Criadas no Mundo	27
Figura 3: Exportações de Ovos in Natura e Processados	29
Figura 4: Exportação de ovos participação por estado	30
Figura 5: Sistemas de Criação em Baterias de Gaiolas: a) sistema em 6 andares; b) sistema em 3 andares; c) sistema em 2 andares e d) sistema em 2 andares duplo.	31
Figura 6: Fluxo da Biodigestão Anaeróbia.....	35
Figura 7: Modelo de Biodigestor Indiano	39
Figura 8: Modelo Biodigestor Chinês	39
Figura 9: Modelo Biodigestor Canadense	40
Figura 10: Processo Purificação Biogás.	44
Figura 11: Insumos e Produtos da Cogeração	47
Figura 12: Fluxo do método utilizado	48
Figura 13: Biodigestor de Bancada.	49
Figura 14: Agitador com: a) pá rotativa (esquerda); b) bomba centrífuga (direita).	49
Figura 15: Biodigestor com: a) Agitação Mecânica (esquerda); b) com circulação (direita) ..	50
Figura 16: Biodigestor: a) Aberto (esquerda); b) Montado (direita).	50
Figura 17: Biodigestor circulação forçada: a) aberto (esquerda); e b) montado (direita)	51
Figura 18: Circuito circulação forçada e termo controlador.....	51
Figura 19: Sistema de aquecimento: a) termopar (esquerda); e b) controlador (direita).....	52
Figura 20: Gasômetro por deslocamento de Fluido	52
Figura 21: Gasômetro: a) montado vista lateral (esquerda) b) vista frontal (direita)	52
Figura 22: Modelo de biodigestor e gasômetros	53
Figura 23: Reator e Gasômetro : a) vista frontal (esquerda); e b) panorâmica	53
Figura 24: Aparato Biodigestor com garrafa PET.....	54
Figura 25: Biodigestor a) com substrato (esquerda); e b) biodigestores sob mesma temperatura.	54
Figura 26: Gasômetro Tubular 2,1 (L)	55
Figura 27: Gasômetros Tubulares 2,1(L) montados.....	55
Figura 28: Esquema de interligação	56
Figura 29: Foto Galpão Criação n.º. 3	54
Figura 30: Esteira de Coleta de Dejetos	57
Figura 31: Coleta e Transporte de Resíduos.....	57
Figura 32: Substrato homogeneizado	56
56Figura 33: Manuseio	58
Figura 34: Retirada do efluente após TRH	56
Figura 35: Manuseio.....	59
Figura 36: Aparato Biodigestor e Gasômetro - Experimento 2.....	60
Figura 37: Volume de produção de biogás (L) e massa de metano (g) na CNTP.....	75
Figura 38: Volume de Produção Biogás Acumulado (L) e Massa Metano Acumulada (g) na CNTP	78
Figura 39: Volume de produção diária de biogás (L) em função percentual de ST.....	82

Figura 40: Produção acumulada de biogás (L) e CH ₄ (g) por % ST na CNTP	82
Figura 41: Média produção biogás (L) pelos fatores: sólidos e temperatura.	84
Figura 42: Produção média biogás por sólido <i>versus</i> temperatura.....	85
Figura 43: TIR por potência útil e modalidade tributária.....	89
Figura 44: VPL por potência útil e modalidade tributária.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cabeças de Aves Criadas no Brasil 2010 a 2013	28
Tabela 3: Cidades Maior Produção de Ovos	28
Tabela 4: Divisão de Propriedades por Quantidade de Aves	29
Tabela 5: Teor de Umidade Esterco Fresco de Aves Poedeiras	32
Tabela 6: Composição N P K Esterco de Aves	33
Tabela 7: Composição do Biogás de Aterros e Biodigestores	41
Tabela 8 : Relação de 1m ³ de Biogás e Outros Energéticos.....	41
Tabela 9: Coeficiente de Produção de Esterco e Biogás por Espécie	42
Tabela 10: Usos / remoção de componentes do biogás - IEA- Bioenergia Task 24	43
Tabela 11: Especificação Biometano	43
Tabela 12: Tecnologias para remoção de impurezas do biogás.	45
Tabela 12: Fração de material sólido e adição de água.	58
Tabela 13: Frações de Diluição Substrato	61
Tabela 14: Dados consolidados do Experimento E3	61
Tabela 15: Potência útil teórica por tipo de propriedade	65
Tabela 16: Comparação produção de biogás e potência útil (Experimento E3 6a <i>versus</i> Efluentes 1.0 CETESB (2006)).....	66
Tabela 17: Estimativa de investimentos por tamanho de propriedade	68
Tabela 18: Incidência de impostos, taxas e alíquotas – Lucro Presumido	69
Tabela 19: Análise de sensibilidade à variação de alguns parâmetros críticos	72
Tabela 20: Análises do Afluente antes da Biodigestão	73
Tabela 21: Análises do Efluente após Biodigestão	74
Tabela 22: Comparação Parâmetros Antes e Após a Biodigestão.....	74
Tabela 23: Comparação da produção de Biogás	75
Tabela 24: Análise do Afluente antes da Biodigestão.....	76
Tabela 25: Comparação Parâmetros Antes e Após Biodigestão	77
Tabela 26: Comparação da produção biogás	78
Tabela 27: Análise Afluente antes da Biodigestão	79
Tabela 28: Comparação Parâmetros Antes e Após Biodigestão	80
Tabela 29: Comparação da produção de biogás	83
Tabela 30: Fatores e resultados	84
Tabela 31: Composição do biogás em início de digestão anaeróbia.	86
Tabela 32: Concentração de metano e outros gases	86
Tabela 33: Energia Gerada por propriedades e total	87
Tabela 35: Emissões em T CO ₂ eq. pela queima de metano e eletricidade gerada	88
Tabela 35: Comparação TIR e VPL Regime Lucro Real <i>versus</i> Lucro Presumido e Presumido com Uso de Energia.....	88
Tabela 36: Comparação TIR e VPL Regime Lucro Real <i>versus</i> Lucro Presumido e Presumido com Uso de Energia – Continuação	89
Tabela 37: Tempo de retorno para os investimentos em cada potência	90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGV – Ácido Graxo Volátil

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

APHA – *American Public Health Association*

ATM – Atmosfera

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Social

BRS – Bactéria Redutora de Sulfato

C/N – Carbono / Nitrogênio

Ca (OH)₂ – Cal Hidratada

CaCO₃ - Carbonato de Cálcio

CaO – Cal Virgem

CAP – Tampão para Tubos de PVC

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CEPEA – Centro de Pesquisas Econômicas Aplicadas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CH₄ – Metano

CNAE – Código Nacional de Atividade Econômica

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COFINS - Contribuição para Financiamento Seguridade Social

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

CSLL – Contribuição Social sobre o Lucro Líquido

CT – Carbono Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FAO – Food Agricultural Organization
FC – Fator de Capacidade
GEE - Gases de Efeito Estufa
GNV – Gás Natural Veicular
H₂S – Gás Sulfídrico
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadoria
IEA – Agência Internacional de Energia
IGP DI – Índice Geral de Preços
IPCC – Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
IRN – Instituto de Recursos Naturais
IRPJ – Imposto de renda Pessoal Jurídica
kW – Quilowatt
LABRES - Laboratório de Resíduos Sólidos, Hidrogeologia e Qualidade da Água.
MCI – Motor de Combustão Interna
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MW – Megawatt
MWh – Megawatt hora
N₂O – Óxido Nitroso
Na₂CO₃ – Carbonato de Sódio
NaHCO₃ – Bicarbonato de Sódio
NaOH – Hidróxido de Sódio
NBR – Norma Brasileira
NH₃ – Amônia
NH₄⁺ - Íon de Amônia
NH₄HCO₃ – Bicarbonato de Amônio
ONU – Organizações das Nações Unidas
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PCI – Poder Calorífico Inferior
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PET – Politereftalato de etileno
pH – Potencial Hidrogeniônico
PIS – Programa de Integração Social

PGIRS – Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC – Policloreto de Vinilo
RCC – Resíduos da Construção Civil
RLU – Resíduos de Limpeza Urbana
RSC – Resíduos Sólidos Comerciais
RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares
RI – Resíduos Industriais
RSS – Resíduos de Serviços de Saúde
RST – Resíduos do Serviço de Transporte
RSU – Resíduo Sólido Urbano
SAC – Sistema de Amortização Constante
SF – Sólidos Fixos
SV – Sólidos Voláteis
SIN – Sistema Interligado Nacional
SRF – Secretaria da Receita Federal
SRHU – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano
ST – Sólidos Totais
STA – Sólidos Totais Adicionados
STV – Sólidos Totais Voláteis
TCO_{2eq} – Tonelada de Carbono Equivalente
TFSEE - Taxa Fiscalização Serviços de Energia Elétrica
TIR – Taxa Interna de Retorno
TMA – Taxa Mínima de Atratividade
TRH – Tempo de Retenção Hidráulica
TUSD / TUST – Tarifa de Uso de Sistema de Distribuição / Transmissão
UBABEF – União Brasileira de Avicultura
VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	Introdução.....	17
1.1	Objetivo Principal.....	18
1.1.1	Objetivos Específicos	18
2	Revisão Bibliográfica	19
2.1	Resíduos Sólidos.....	19
2.2	Classificação do RS no Brasil.....	20
2.2.1	Resíduos Classe I - Perigosos.....	20
2.2.2	Resíduos Classe II A (Não perigosos e Não inertes).....	21
2.2.3	Resíduos Classe II B (Não perigosos e inertes)	21
2.2.4	Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	22
2.3	Características dos Resíduos Sólidos.....	24
2.3.1	Características físicas	24
2.3.2	Características Químicas	25
2.3.3	Características Biológicas	25
2.4	A Avicultura de Postura.....	26
2.4.1	Principais Países Produtores.....	26
2.4.2	Avicultura de Postura no Brasil.....	27
2.4.3	Sistema Intensivo de Criação de Aves Poedeiras.....	30
2.5	Resíduos da Avicultura de Postura	32
2.6	A Biodigestão Anaeróbia.....	34
2.6.1	Fatores Que Interferem no Processo de Biodigestão.....	36
2.7	O Biodigestor.....	38
2.8	O Biogás	40
2.8.1	Cuidados, Usos e Purificação.	42
2.8.2	Processos de Purificação do Biogás	44
2.9	Conversão do Biogás em Energia Elétrica	45
3	Materiais e Métodos	48
3.1	Montagem dos Biodigestores, Gasômetros de Coluna D'Água e Circuito.	48
3.2	Montagem do Biodigestor 3,3(L) e Gasômetro Tubular de 2,1 (L)	54
3.3	Descrição do Local e Experimento	56

3.3.1	Primeiro Experimento (E1) - Biodigestor sem Controle Térmico com Agitação Manual.....	57
3.3.2	Segundo Experimento (E2) - Biodigestor com Controle Térmico e Agitação por Circulação Forçada.....	59
3.3.3	Terceiro Experimento (E3) - Biodigestor com Controle Térmico sem Agitação	60
3.3.4	Tabela com Dados dos Experimentos	61
3.4	Análise e Quantificação do Biogás	61
3.5	Análises Laboratoriais do Substrato Afluyente e Efluyente	63
3.6	Cálculo do Biogás, Potência Útil e Energia Disponível.	64
3.7	Emissões de carbono evitadas pela queima e eletricidade gerada.	67
3.8	Cálculos econômicos	67
4	Resultados e Discussões.....	73
4.1	Experimento (E1).....	73
4.1.1	Análises Laboratoriais do Substrato Afluyente e Efluyente.....	73
4.1.2	Produção de Biogás	75
4.1.3	Análises de Biogás	76
4.2	Análises Experimento (E2).....	76
4.2.1	Análises Laboratoriais do Substrato Afluyente e Efluyente.....	76
4.2.2	Produção de Biogás	78
4.3	Experimento E3	79
4.3.1	Análises Laboratoriais do Substrato Afluyente e Efluyente.....	79
4.3.2	Produção de Biogás	81
4.3.3	Análises Produção de biogás por sólido total e temperatura de substrato.....	83
4.3.4	Análises da Composição do Biogás	85
4.4	Cálculo de Energia Disponível	87
4.5	Emissões em TCO ₂ eq Evitadas.....	87
4.6	Análises Econômicas	88
5	Conclusão	92
5.1	Recomendações para Trabalhos Futuros	95
6	Referências	97
	ANEXO I.....	107
	ANEXO II	108
	ANEXO III A	109
	ANEXO III B	110

ANEXO III C	111
ANEXO III D	112
ANEXO III E.....	113
ANEXO III F.....	114
ANEXO IV A.....	115
ANEXO IV B	116
ANEXO IV C	117
ANEXO IV D.....	118
ANEXO IV E	119
ANEXO IV F.....	120
ANEXO V A	121
ANEXO V B.....	122
ANEXO V C.....	123
ANEXO V D	124
ANEXO V E.....	125
ANEXO V F.....	126
ANEXO VI A	127
ANEXO VI B	128
ANEXO VI C	129
ANEXO VI D.....	130
ANEXO VI E	131
ANEXO VI F.....	132
ANEXO VII A.....	133
ANEXO VII B.....	134
ANEXO VII C.....	135
ANEXO VII D.....	136
ANEXO VII E	137
ANEXO VII F	138
ANEXO VIII A	139
ANEXO VIII B.....	140
ANEXO VIII C.....	141
ANEXO VIII D	142
ANEXO VIII E.....	143

ANEXO VIII F.....	144
-------------------	-----

1 Introdução

As atividades do homem tem alterado o meio ambiente, com consequências muitas vezes, irreversíveis para o planeta. A dependência e o uso demasiado dos combustíveis fósseis, tem contribuído para o aumento das emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEE) e aquecimento global. Sabe-se que os recursos energéticos armazenados no planeta são finitos e a sua renovação com a entrada da radiação solar se dá de maneira lenta, a exemplo do caso do petróleo, contrária ao intenso volume de degradação desses recursos. Este trabalho propõe uma nova destinação para os resíduos sólidos da avicultura de postura, por meio da biodigestão anaeróbia, geração de biogás e sua conversão em energia elétrica por meio do uso de grupos geradores, motores estacionários de combustão interna do ciclo otto, para a conversão da energia térmica do biogás em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica. Por intermédio de experimentação e simulação, o presente estudo visa a buscar solução técnica e econômica para o uso energético da biomassa residual da avicultura de postura, em estudo de caso de um aviário do município de Itanhandu-MG, de forma a tornar esse segmento sustentável e atender às recomendações da Política Nacional de Resíduos Sólidos PNRS e recomendações de órgãos locais.

O uso de fontes limpas e renováveis de energia deve ser incentivado, pesquisado e desenvolvido. Dentre diversas possibilidades, a biomassa e a bioenergia apresentam-se como fonte alternativa, podem contribuir com a matriz energética nacional e com as metas para redução de emissões de GEE e poluentes. Especificamente, o uso dos subprodutos e resíduos sólidos urbanos (RSU) e do agronegócio representam uma grande possibilidade para a geração de biogás e seu uso como fonte alternativa ou a sua conversão em energia elétrica merece ser pesquisado e explorado. Os resíduos sólidos da exploração em escala industrial da avicultura de postura podem causar problemas e grandes impactos ambientais, se não forem destinados corretamente. O Brasil possui 221,86 milhões de aves poedeiras (IBGE, 2013), que produzem em média, 31 milhões kg de resíduos / dia, que precisam ser devidamente destinados de acordo com a lei federal 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS; BRASIL, 2010a), regulamentada pelo decreto federal 7404/2010 (BRASIL, 2010b).

Segundo o IPEA (2012), há o potencial teórico para a geração de $2,152 \times 10^9 \text{ m}^3$ biogás por ano, ou ainda, se todo o resíduo sólido produzido pelo segmento for utilizado para a conversão em energia, poderá agregar a matriz energética nacional cerca de $1,291 \times 10^9 \text{ m}^3$ de biometano por ano.

Outro aspecto importante que deve ser analisado está relacionado aos efluentes do agronegócio, que trazem altas cargas orgânicas expressas em Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO, respectivamente), nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, etc.. Tais elementos caso dispostos sem critérios no ambiente, comprometem a qualidade do solo e das águas, tendendo a acumular-se em reservatórios e lagos, alterando as condições limnológicas, podendo causar eutrofização, impactos ambientais e a saúde humana.

O uso de biomassa residual do agronegócio avicultura, também pode diminuir o uso de combustíveis fósseis e emissão de GEE, uma vez que as emissões de biomassa residual em decomposição tendem a ser altamente minimizadas.

1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal é estudar a viabilidade técnica, econômica, de forma a encontrar uma solução para o aproveitamento energético da biomassa residual da avicultura de postura, em estudo de caso em aviário de Itanhandu - MG, para a produção de biogás e a geração teórica de energia elétrica com o uso de motor de combustão interna.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Mensurar o volume e a composição de biogás que pode ser gerado por massa de resíduo, massa de sólido total e massa de sólido volátil;
- Calcular a potência útil convertida, a energia elétrica gerada e a viabilidade econômica do uso energético do supracitado resíduo;
- Adicionalmente analisar as frações de sólidos totais (ST), totais fixos (STF), totais voláteis (STV), DQO, DBO, do afluente antes e após a digestão anaeróbia e suas reduções, bem como o potencial de Carbono Orgânico Total (COT) presente no resíduo e a relação carbono /nitrogênio;
- Efetuar análise de emissões de CO₂ evitadas devido à queima do biogás e emissões de CO₂ evitadas pela produção de energia elétrica.

2 Revisão Bibliográfica

Na literatura há muitos estudos sobre a produção de biogás a partir de diversas fontes: resíduos sólidos urbanos (RSU) Kumar *et. al.* (2004), Karapidakis, *et. al.* (2010), Li *et. al.* (2011), Barros (2012); lodo de estação de tratamento de esgoto, Cassini (2003), Lima (2005), Costa (2006), Rodrigues e Aquino (2011), biomassa e vinhaça, Lora e Venturini (2012), Salomon (2007), Salomon *et. al.* (2009). No agronegócio existem muitos estudos e trabalhos relacionados à produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura, bovinocultura e cama de frango (avicultura de corte) Hansen *et. al.* (1998), Gaspar (2003), Lucas Jr e Santos (2000), Aires e Lucas Jr. (2011), Augusto (2005) (2007). O presente trabalho explora a possibilidade do uso da biomassa residual da avicultura de postura para a produção de biogás e sua conversão em energia elétrica, visando ao aproveitamento energético, perpassando pelas definições de resíduos sólidos de acordo com a legislação brasileira vigente.

2.1 Resíduos Sólidos.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10004/2004 (ABNT, 2004a) os resíduos sólidos (RS) são todos os resíduos sólidos, semissólidos provenientes de atividades industriais, domésticas, hospitalar, de serviços, comerciais e agrícolas. A norma brasileira é abrangente e normatiza conceitos além dos resíduos sólidos, trazendo em seu escopo definições relativas a lodos oriundos de sistemas de tratamento de água, resíduos de sistemas de controle de poluição, assim como determinados líquidos, cujo descarte na rede pública ou esgotos sejam inviáveis.

Em 2010, foi sancionada a lei federal nº. 12.305 (BRASIL, 2010a), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que define RS. Esta lei foi regulamentada no mesmo ano por meio do decreto federal 7404/2010 (BRASIL, 2010b).

A PNRS define a gestão adequada dos resíduos gerados no país e fecha uma lacuna existente na legislação brasileira, uma vez que até então, não existia lei federal para disciplinar as responsabilidades na gestão dos resíduos sólidos gerados dentro do território nacional. A PNRS define todos os entes responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos, a responsabilidade compartilhada, que define as atribuições de cada integrante presente no ciclo de vida do produto. Também, a PNRS define a logística reversa, que representa um instrumento para que os resíduos gerados por certas atividades sejam retornados à cadeia produtiva e, em seu artigo III incisos X e XI, apresenta uma série de definições relativas ao

gerenciamento, define regras para que os municípios criem seus planos municipais de gestão integrada de RS (PGIRS), com a identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento municipal e, finalmente, no inciso VII. apresenta a possibilidade do aproveitamento energético dos RS.

2.2 Classificação do RS no Brasil

A norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), além de definir, classifica os RS em categorias de acordo com riscos ao meio ambiente e a saúde pública, e em seus anexos A e B apresenta RS de fontes específicas e não específicas, conforme a identificação do processo ou atividade que deu origem ao resíduo, e de acordo com seus materiais constituintes e características.

2.2.1 Resíduos Classe I - Perigosos

São aqueles que em suas propriedades físicas, químicas e biológicas e infectocontagiosas apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente (quando manuseados inadequadamente). RS enquadrados em pelo menos um dos critérios de periculosidade da NBR 10.004 inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade é considerado perigoso ou Classe I (ABNT, 2004a) e, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, segundo o Art. 13 da PNRS (BRASIL, 2010a).

Em caso de resíduos não categorizados em pelo menos um dos critérios de periculosidade, uma amostra do mesmo deverá ser submetida a ensaios técnicos para verificação de concentrações de elementos no extrato lixiviado, que sejam passíveis de conferir periculosidade (perigosos ou não-perigosos), de acordo com o anexo F da NBR 10.004 (Ibid.) ou subdividir os não-perigosos em inertes ou não inertes (Anexo G). A ABNT estabeleceu as normas a seguir para definir substâncias e concentrações:

- NBR 10.005 – Lixiviação de resíduos - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de RS, realizado a partir do ensaio de Lixiviação (segregação de determinadas substâncias contidas nos RS através de lavagem ou percolação) (ABNT, 2004b);

- NBR 10.006 – Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de RS, efetivação do Ensaio de Solubilização, visando a tornar uma amostra de um RS solúvel em água e analisar a concentração dos elementos ou materiais contidos no extrato (ABNT, 2004c);

•NBR 10.007 – Estabelece os critérios de coleta e seleção de uma amostra que será considerada como representativa de um todo (ABNT, 2004d).

São considerados Classe I – perigosos, aqueles resíduos que foram categorizados em um dos critérios de periculosidade, ou seja, cujas amostras submetidas ao teste de lixiviação de acordo com NBR 10.005 (ABNT, 2004b) apresentaram nos extratos lixiviados concentrações superiores às previstas no Anexo F, da NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Caso as concentrações forem inferiores às especificadas na listagem, deverá ser realizado o ensaio de solubilização, conforme a NBR 10.006 (ABNT, 2004c), com vistas a determinar se o resíduo é classe IIA ou II B.

2.2.2 Resíduos Classe II A (Não perigosos e Não inertes)

São resíduos que não podem ser enquadrados nas classificações de resíduos classe I - perigosos ou de resíduos Classe II B – inertes. Estes resíduos apresentam propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade, ou solubilidade em água, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente. São papéis, papelão, matéria orgânica em geral e outros (ABNT, 2004a).

2.2.3 Resíduos Classe II B (Não perigosos e inertes)

São resíduos que, por suas características, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, conforme a norma NBR 10.007 (ABNT, 2004d), e submetidos ao teste de solubilização, conforme a norma NBR 10.006 (ABNT, 2004c), não tiveram nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, segundo o Anexo G, da NBR 10.004 (ABNT, 2004a), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Caso as concentrações forem superiores às do Anexo G, os resíduos são considerados classe II A – não inertes. Resíduos Classe II-B são os tijolos, as rochas, vidros, plásticos, borrachas e pneus que não se decompõem facilmente. (ABNT, 2004b; ABNT, 2004d).

A classificação quanto à natureza e a origem do RS é um importante indicativo para a sua correta identificação e destinação. Os resíduos podem ser classificados conforme listado nos subitens a seguir:

2.2.4 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Segundo MONTEIRO *et. al.*, 2001; BARROS, 2012; BRASIL, 2010a, os RSU podem ser subdivididos em:

- Resíduos domiciliares (RSD): gerados nas atividades diárias dos domicílios, constituídos basicamente por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, papel higiênico, fraldas descartáveis, embalagens em geral e uma grande diversidade de outros itens. Estes resíduos podem conter ainda, alguns materiais considerados tóxicos, tais como pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes, restos de medicamentos etc.
- Resíduos de limpeza urbana (RLU): resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais, restos de poda, folhas, galhos, poeira, terra, areia e também aqueles descartados de forma irregular e indevidamente pela população.
- Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, cujas características dependem do código nacional de atividade econômica (CNAE) relacionado.
- Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico (RPSB): gerados nas atividades de saneamento básico, exceto os RSU.
- Resíduos Industriais (RI): gerados pelas atividades industriais, apresentam características muito distintas e variadas, dependendo dos produtos e atividades industriais relacionadas. A ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004a) é utilizada para classificar o RI, pois fornece procedimentos e padrões que permitem sua identificação quanto aos possíveis riscos ambientais e a saúde pública.
- Resíduos de Serviços de Saúde (RSS): oriundos de hospitais, clínicas médicas e veterinárias, centros de saúde, consultórios odontológicos, farmácias... Todos os resíduos gerados nas instituições destinadas a preservação da saúde pública.
- Resíduos da Construção Civil (RCC): gerados nas obras de construção civil, durante a demolição, preparação e escavação de terrenos para obras civis. Segundo Monteiro *et. al.*, (2001), o RCC corresponde a aproximadamente, 50% da massa de RSU coletados em cidades com mais de 500 mil habitantes. Para Barros (2012), os resíduos da construção civil são uma mistura de materiais inertes, tais como terra, madeira, concreto, argamassa, plásticos, vidros, metais, papelão, cerâmica e outros.

- **Resíduos de Serviço de Transporte (RST):** gerados durante o embarque e desembarque, dentro dos navios, aviões e veículos de transporte, portos e aeroportos, etc. Sua periculosidade está no risco de contaminação e transmissão de doenças erradicadas no país, seja por passageiros ou transporte de cargas contaminadas, tais como animais, carnes e plantas.
- **Resíduos de Mineração:** gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.
- **Resíduos Radioativos:** resíduos de origem atômica, cujo controle/gerenciamento são de responsabilidade do Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
- **Resíduos Agrossilvopastoris:** resíduos gerados nas atividades relacionadas à agropecuária e a silvicultura, incluídos os insumos utilizados, mesmo os perigosos utilizados na agricultura, como as embalagens de fertilizantes, agrotóxicos e defensivos. Portanto, o manuseio destes resíduos seguem as mesmas rotinas e processos empregados para os resíduos classe I. No entanto, de acordo com a resolução CONAMA 465/2014 (CONAMA, 2014), estabelece locais apropriados para recebimento e acondicionamento de embalagens vazias de agrotóxico, defensivos e adubos, devem possuir licenciamento ambiental e infraestrutura específica para tal fim. A resolução 316/2002 estabelece o tratamento térmico de defensivos, afins, resíduos e itens por eles contaminados.

Com relação à produção e comercialização de produtos agrossilvopastoris, o decreto 4954/2004 regulamenta a lei 6894/1980 e novas providências para a lei 6934/1981, estabelecendo inspeção, fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizante e estimulantes destinados a agricultura. Com relação ao gerenciamento de embalagens e produtos agrossilvopastoris, o decreto 4074/2002 (BRASIL, 2002) regulamentou a lei 9974/2000 (BRASIL, 2000), que deu nova diretriz ao artigo 6º da lei 7802/1989 (BRASIL, 1989), e previu o reuso de embalagens vazias de defensivos, mediante a aprovação de órgãos federais intervenientes no processo, além da obrigatoriedade de devolução das embalagens vazias pelos usuários aos estabelecimentos comerciais de onde foram comercializadas, dentro do prazo de 01 ano da compra ou com prazos maiores desde que devidamente aprovado por órgãos competentes.

De acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU) do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em suas orientações gerais aos planos estaduais de

resíduos sólidos (2011), nos resíduos agrossilvopastoris ainda se incluem os resíduos florestais e resíduos de madeiras lignocelulósicos de origem industrial e rural.

Para Nolasco (2000), o resíduo florestal é todo e qualquer material proveniente da colheita ou processamento de madeira e de outros produtos florestais sem utilização definida durante o processo, ou por limitações tecnológicas ou de mercados, sendo descartado durante a produção.

Para Teixeira (2005), todos os resíduos que em sua composição possuem características lignocelulósicos, que possuem majoritariamente lignina e celulose, e de origem em atividades industriais e / ou rurais, são classificados como resíduos de madeiras.

Quirino (2004) cita como exemplos os rejeitos da madeira ou indústria da madeira, considerando móveis usados, restos de madeira de demolições, resíduos do beneficiamento de produtos agrícolas, postes, estacas, dormentes, palhetes e embalagens em fim de ciclo de vida.

Na PNRS o resíduo agrossilvopastoril corresponde ao item i do Art. 13. Neste trabalho, propositadamente foi deixado fora da sequência da lei 12305/2010, para melhor defini-lo e situa-lo diante de outras normativas.

2.3 Características dos Resíduos Sólidos

Para Monteiro *et. al.* (2001) as características dos resíduos podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos.

A análise do RS pode ser realizada segundo suas características físicas, químicas e biológicas.

2.3.1 Características físicas

De acordo com a NBR 10.004/2004(ABNT, 2004a), os resíduos sólidos são classificados em geração *per capita*, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e compressibilidade. Para Barros (2012) e Guermould (2009), as características físicas dos RS são importantes para que sejam planejados os melhores tratamentos, destinação, disposição, coleta e gestão dos projetos e empreendimentos relacionados.

Segundo Monteiro *et. al.* (2001), a geração per capita é a relação entre a quantidade de resíduos gerados por dia e o número de habitantes de determinada região. Sua estimativa é através de tabelas e gráficos, caso não haja dados locais disponíveis. A composição

gravimétrica determina o percentual, em peso, de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos.

Para alguns autores Bidone e Povinelli (1999), Monteiro *et. al.* (2001) e Barros (2012) os componentes mais comuns em uma composição gravimétrica são papel, papelão, matéria orgânica, trapos, plásticos rígidos e maleáveis, PET, metais ferrosos e não ferrosos, alumínio, vidro claro, vidro escuro, borracha, madeira, ossos, cerâmica e agregados finos, entre outros.

A massa específica aparente é expressa em kg/m^3 e deve ser aferido em locais apropriados com infraestrutura adequada. Os RS são pesados soltos sem compactação.

A quantidade de água presente no RS expressa em porcentagem do peso total de uma amostra, é o teor de umidade presente no resíduo e, está diretamente ligada aos índices pluviométricos do local.

A compressibilidade do resíduo é relacionada ao potencial de redução de volume, quando submetido a uma pressão, sendo uma característica importante para o planejamento das ações de coleta e disposição (Barros, 2012).

2.3.2 Características Químicas

Para Barros (2012), as características químicas são relacionadas ao Poder Calorífico Inferior (PCI), o Potencial Hidrogeniônico (pH), a relação carbono / nitrogênio (C/N) e a composição química, relativo a presença de macro, micronutrientes, Hidrogênio (H), Nitrogênio (N), Cloro (Cl), Enxofre (S), Oxigênio (O) e outros componentes.

O pH indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7, a composição química consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel, gorduras. A relação carbono/nitrogênio (C/N) indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1.

2.3.3 - Características Biológicas

Para alguns autores Chernicharo (1997), Demirer e Chen (2004), Santos (2010), Barros (2012), as características biológicas são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no resíduo, que, ao lado das suas características químicas,

permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final mais adequado, utilizando-se de rotas tecnológicas aeróbias e anaeróbias, na presença e ausência de oxigênio respectivamente. Além disso, o conhecimento das características biológicas dos resíduos tem sido muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/aceleradores da decomposição da matéria orgânica, normalmente aplicados em veículos de coleta para evitar ou minorar problemas com a população ao longo do trajeto. Novos estudos estão em processo relacionados à destinação final e de recuperação de áreas degradadas com base nas características biológicas dos resíduos (Bidone e Povinelli, 1999, Monteiro *et. al.*, 2001, Alberte *et. al.*, 2005, Dantas, 2005, Pereira, 2008, Barros, 2012 e Romeiro *et. al.*, 2014).

2.4 A Avicultura de Postura

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2010), a avicultura está ligada a criação de aves e galináceos com o intuito de produção de proteína animal, seja para consumo ou comércio. No início do século XX era uma atividade tipicamente familiar, ligada à subsistência, com a venda do excedente da produção.

Para Belusso e Hespanhol (2010) as alterações socioeconômicas do início dos anos 70 até a primeira década do século XXI, relacionadas aos hábitos, aumento do consumo, preços, busca de novos mercados, foram responsáveis pela mudança na estrutura produtiva no segmento de avicultura, no que tange à genética e a nutrição animal, a automatização das atividades e a elevação da escala, sendo o termo avicultura industrial adotado a partir deste período.

Para Buainain *et. al.* (2007), a implantação de processos de qualidade total, necessidades de preços e produtos competitivos e a busca de mercados externos fez com que este segmento trabalhasse de forma integrada com as agroindústrias de processamento. Desta forma, este segmento tornou-se mais profissionalizado, minimizando a participação de produtores familiares, reforçando a industrialização do segmento.

2.4.1 Principais Países Produtores

De acordo com dados da *Food Agricultural Organization* (FAO, 2013) no ano 2013 foram produzidos no mundo cerca de 1.2 trilhões de unidades de ovos. A figura 1 mostra os 10 principais países produtores.

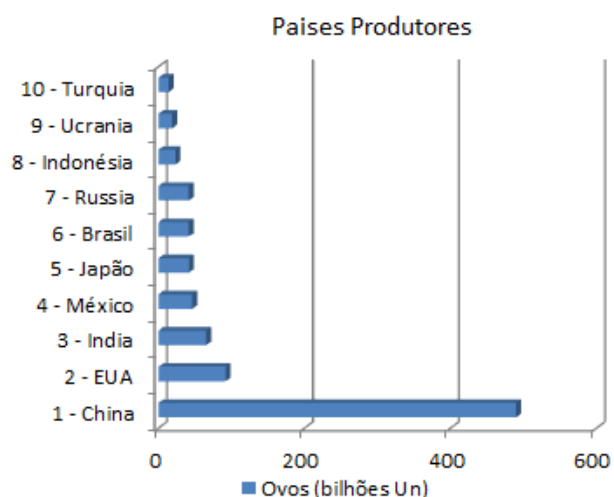


Figura 1: Principais Países Produtores de Ovos
Fonte: FAO (2013)

A figura 2 mostra a quantidade de cabeças de aves que foram criadas entre os anos 2000 a 2010 no mundo.

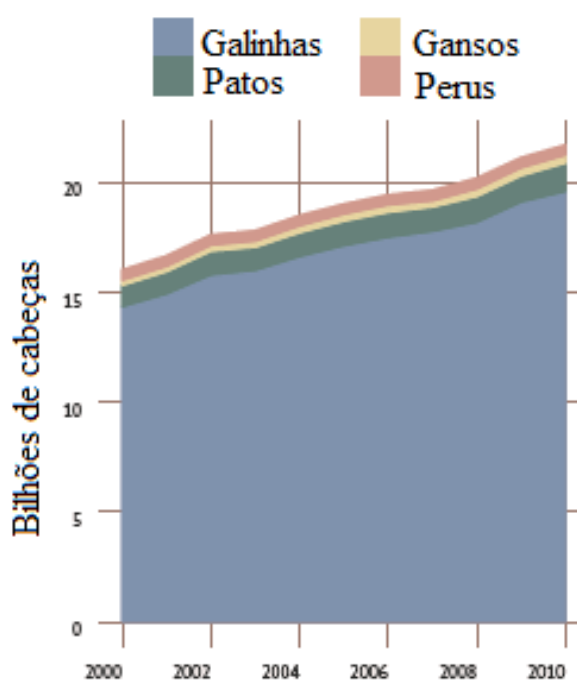


Figura 2: Cabeças de Aves Criadas no Mundo
Fonte: FAO (2013)

2.4.2 Avicultura de Postura no Brasil

De acordo com a pesquisa pecuária municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2013), no Brasil foram criadas aproximadamente, 221,8 milhões de aves

poedeiras, sendo a região Sudeste a maior produtora. A tabela 1 mostra a quantidade total de cabeças e por região que foram criadas entre 2010 a 2013.

Tabela 1: Cabeças de Aves Criadas no Brasil 2010 a 2013

Brasil e Regiões	Ano			
	2010	2011	2012	2013
Brasil	210.761.060	216.219.543	213.230.493	221.862.457
Norte	9.511.600	9.828.278	9.548.496	9.561.205
Nordeste	40.890.451	40.805.982	40.346.524	41.297.481
Sudeste	76.010.597	77.013.602	75.091.730	79.456.131
Sul	60.473.054	62.388.888	63.040.545	63.335.648
Centro-Oeste	23.875.358	26.182.793	25.203.198	28.211.992

Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal – IBGE (2013)

De acordo com a pesquisa pecuária municipal do IBGE (2013), as dez cidades que mais se destacaram na produção de ovos são mostradas na tabela 3, com as respectivas quantidades de cabeças de aves.

Tabela 2: Cidades Maior Produção de Ovos

Cidade	Plantel Aves
Bastos – SP	12.695.500
Santa Maria de Jetibá – ES	8.464.721
Itanhandu – MG	4.080.000
Primavera do Leste – MT	3.527.000
São Bento do Um – PE	3.500.000
Manaus – AM	1.945.000
Salvador do Sul – RS	1.812.950
Tupã – SP	1.765.000
Inhumas – GO	1.755.000
Montes Claros – MG	1.706.669

Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal IBGE (2013)

Mendes (2014) fez uma pesquisa indireta para classificar as propriedades rurais do segmento de avicultura de postura quanto ao número de cabeças. A tabela 4 mostra a distribuição das propriedades. Esta distribuição foi utilizada no presente estudo, para calcular a potencia útil teórica possível de ser gerada em cada estrato das propriedades.

Tabela 3: Divisão de Propriedades por Quantidade de Aves

Quantidade de Aves (Mil)	Ocorrências
> 500	30
100 a 500	242
50 a 100	267
30 a 50	322
10 a 30	780
10	1.813
50 a 1000 (Un)	420.124

Fonte: Adaptado de IBGE, Censo Agropecuário 2006 *apud* Mendes, 2014.

O Brasil ocupa a 7ª posição no ranking de países produtores de ovos e segundo a União Brasileira de Avicultura, UBABEF (2013), apenas 1% da produção é destinada à exportação. As principais regiões importadoras são mostradas na figura 03.

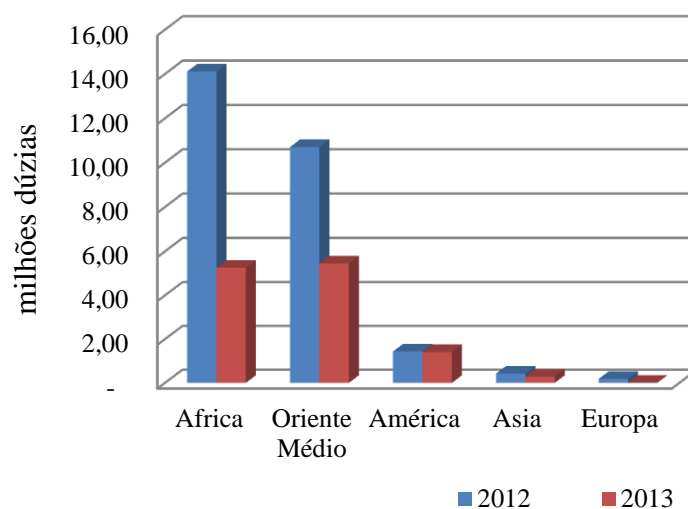


Figura 3: Exportações de Ovos in Natura e Processados

Fonte: Adaptado de UBABEF (2014)

Os estados produtores que se destacam na exportação de ovos *in natura* e processados são mostrados na figura 4.

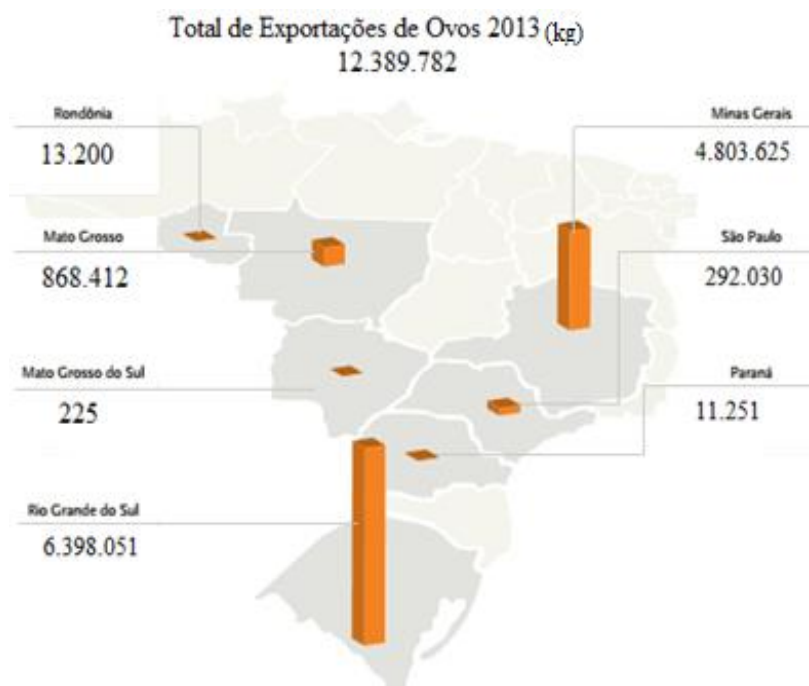


Figura 4: Exportação de ovos participação por estado
Fonte: UBABEF (2014)

Segundo o Centro de Pesquisas Econômicas Aplicadas (CEPEA), o ano de 2014 não foi bom para o segmento da avicultura, quando comparado a outros segmentos do agronegócio. No entanto, o CEPEA (2014) e a UBABEF (2014) apontam um crescimento significativo para o segmento, e sugerem a necessidade de aumento de produção para atender ao crescimento populacional mundial.

2.4.3 Sistema Intensivo de Criação de Aves Poedeiras

Frente à demanda crescente de alimentos no Brasil e no Mundo, as granjas de postura receberam inovações em tecnologia, automação e escala de produção. Novas formas de criação de aves em sistemas de gaiolas verticais possibilitaram criar grandes quantidades de aves em áreas relativamente pequenas. (PALHAES e KUNZ, 2011)

Na maior parte dos empreendimentos, são utilizados sistemas de produção em baterias de gaiolas, com 350 a 450 cm² ave⁻¹, com 35 a 45 cm de altura e inclinação de 8° para saída dos ovos por efeito de gravidade até as esteiras de coleta.

Segundo Medina (2004), a modernização aumenta a produtividade, facilita a administração, propicia a rapidez de implantação, bem como, leva à necessidade de menor espaço físico, diminui o desperdício de ração e o percentual de ovos não aproveitáveis. Entretanto, essas instalações requerem maior custo de implantação, necessidade de grandes

lotes de reposição, complexidade no manejo de dejetos e controle sanitário e maior adaptabilidade das aves.

Para Lucas Junior (2007), o sistema de criação em gaiolas está presente em mais de 90% dos empreendimentos avícolas de postura, sendo que, dentre os benefícios desse sistema o autor (*op. cit.*) ressalta a possibilidade de alta concentração de animais, redução de doenças e parasitas, redução dos níveis de amônia, baixa dispersão de poeira e baixo canibalismo entre os animais. Porém, ele ressalta o desconforto causado pelo falta de mobilidade do ambiente.

Já Albuquerque (2004) enfatiza a importância do manejo como uma prática multidisciplinar, que utiliza as alternativas e tenta melhorar as relações entre as aves e o seu ambiente de criação. Segundo o autor (*op. cit.*), o manejo na avicultura é um fator primordial quando se deseja uma criação eficiente de aves. Devem-se evitar mudanças bruscas nas práticas de manejo para se evitar estresse das aves; pois, para a avicultura isto significa alterações e redução no rendimento produtivo das aves.

A figura 5 mostra os sistemas de criação em baterias de gaiola. Na figura 5A o sistema de gaiolas em 6 andares utilizado no empreendimento onde são coletados os resíduos, como os que foram usados para a experimentação em estudo neste projeto.

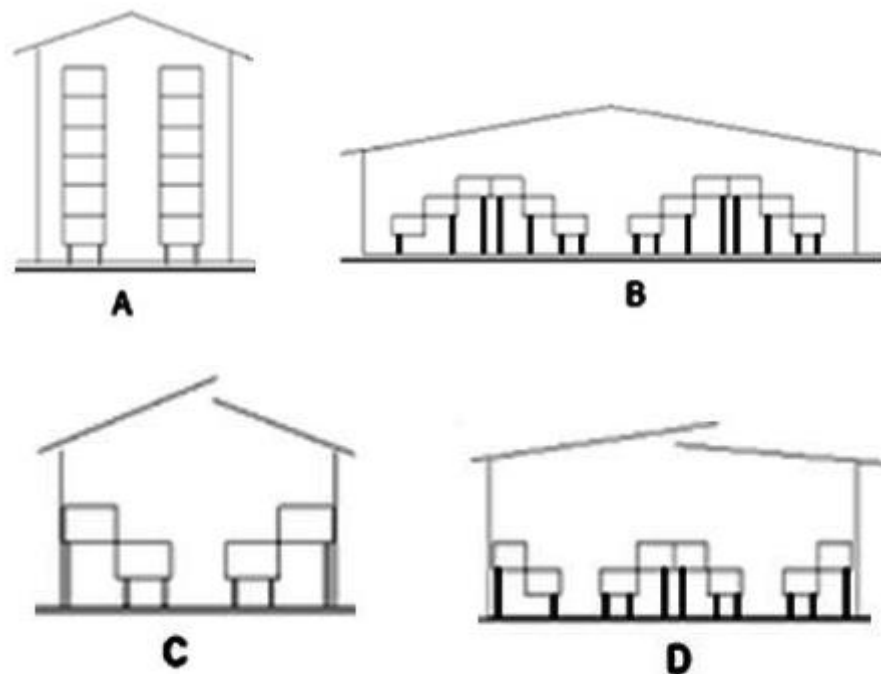


Figura 5: Sistemas de Criação em Baterias de Gaiolas: a) sistema em 6 andares; b) sistema em 3 andares; c) sistema em 2 andares e d) sistema em 2 andares duplo.

Fonte: adaptado de Lucas Junior (2007)

Porém, o ganho em escala gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, que são gerados diuturnamente nos empreendimentos. No sistema de gaiolas mostrado na figura 1a, presente em grande parte dos aviários de postura, o manejo dos dejetos é realizado diariamente ou a cada dois dias por meio de uma esteira mecânica, própria deste tipo de construção de gaiolas, que retira os dejetos e os transporta para as carretas coletoras (PALHARES e KUNZ, 2011).

2.5 Resíduos da Avicultura de Postura

Para Augusto (2005; 2007), o resíduo oriundo da avicultura de postura é mais rico em nutrientes que os de outros animais domésticos, pois contém os dejetos sólidos e líquidos misturados e são oriundos de aves criadas, na maioria das vezes, com rações concentradas. Somando-se os teores de nitrogênio, fósforo e potássio contidos no esterco dessas aves e, comparando-os com o total encontrado nas dejeções dos mamíferos, verifica-se que o de galinha é de duas a três vezes mais concentrado em nutrientes. O teor elevado de nitrogênio presente no esterco das aves poedeiras pode queimar plantações, se não for devidamente tratado antes de ser usado como adubo no solo, além de representar um desperdício de materiais muito valiosos do ponto de vista biológico. As dejeções das aves são constituídas por substratos complexos, contendo matéria orgânica e partículas dissolvidas como polissacarídeos, lipídios, proteínas, ácidos graxos voláteis, elevado número de componentes inorgânicos.

Quanto à umidade presente no esterco fresco de aves poedeiras, a tabela 5 mostra o teor identificado por diversos autores segundo Augusto (2007).

Tabela 4: Teor de Umidade Esterco Fresco de Aves Poedeiras

Autores	Umidade
Moreng e Evans (1990)	70% a 80%
Cargil (2001)	75%
El Boushy (1994)	72% a 75%
Leeson et al (2000)	70%

Fonte: Adaptado de Augusto (2007)

A tabela 6 mostra a composição média de nitrogênio, fósforo e potássio presentes no esterco fresco de aves poedeiras, de acordo com as revisões literárias de Santos (2007) e Figueroa *et. al.* (2009).

Tabela 5: Composição N P K Esterco de Aves

Autor	N (%)	P (%)	K (%)
Santos (2007)	6,9	3,5	2
Figueroa <i>et. al.</i> (2009)	6,9	3,5	2

Fonte: Adaptado de Augusto (2007), Santos (2007) e Figueroa *et. al.* (2009)

Para Augusto (2007), embora os dejetos de aves poedeiras possuam macro e micronutrientes, a utilização e aplicação indiscriminada do esterco de ave no solo, é fonte de microrganismos, com espécies patogênicas aos animais e ao homem. Figueroa *et. al.* (2009), ressalta que o uso dos dejetos como adubo, deve ser recomendado com critérios técnicos, para que a adubação seja eficiente em termos agrônômicos e não cause contaminação ambiental.

Quanto à quantidade de resíduos por ave, Moreng e Avens (1990) quantificaram os dejetos de poedeiras em 120g ave dia⁻¹. Sendo assim, a cada 100.000 aves poedeiras estima-se uma produção de 12 toneladas de esterco Para Lucas Jr. e Silva (2005) poedeiras produzem 140g ave dia⁻¹ de esterco.

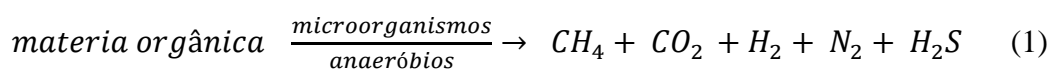
Segundo a FAO (2013) e Fabbri *et. al.* (2007), o acúmulo e manuseio de grandes quantidades de resíduos de aves, ocorre à liberação de alguns gases, como o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃) e em menor quantidade, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), todos os gases causadores do efeito estufa (GEE) e aquecimento global. Palhares e Kunz (2011) reiteram os riscos à saúde e ao plantel de aves, quando expostos por períodos prolongados a estes gases.

Embora os resíduos de aves sejam ricos em nutrientes, segundo Palhares e Kunz (2011), o uso não controlado de dejetos como fertilizante traz sérios riscos ao meio ambiente, como a fertilização excessiva do solo com alto teor de nutrientes, resultando em contaminação de lençóis freáticos e eutrofização de corpos d'água. Portanto, para seu uso há que se observar as instruções normativas dos órgãos competentes, quanto à sua incorporação ao solo, teores de nutrientes a serem fixados e contaminações. Além disso, embora sejam resíduos do agronegócio, há que se observar as destinações e responsabilidades definidas nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos (PGIRS).

2.6 A Biodigestão Anaeróbia

Salomon (2007) fez uma compilação sobre o estado da arte em digestão anaeróbia. Segundo a autora (*op. cit.*), a descoberta de gases oriundos da biodigestão remonta ao século XVI, por Alessandro Volta, físico Italiano em 1776, que denominou a descoberta de “ar combustível”, referente aos gases eram formados em sedimentos no fundo de lagos e rios. Reiset, oitenta anos depois, detectou a formação do gás metano em estrumeiras. Em 1868, Berchant concluiu que o gás metano é formado por microrganismos e em 1875, Popoff, investigou a formação de metano a partir de vários substratos. Em 1890, Van Senu verificou que a decomposição anaeróbia era feita por vários microrganismos; e Omeliansui isolou os organismos que produzem hidrogênio, ácido acético e butílico, a partir da celulose.

Segundo Price e Cheremisinoff (1981), a degradação microbiológica da matéria orgânica em um ambiente anaeróbio ocorre devido à presença de microrganismos capazes de utilizar outras moléculas que não oxigênio como aceptores de elétrons.



Segundo os autores (*op. cit.*), a digestão anaeróbia é um processo complexo envolvendo centenas de componentes intermediários e reações bioquímicas, cada uma catalisada por enzimas específicas.

Para Aires e Lucas Junior (2009), a biodigestão anaeróbia geralmente é dividida em três fases, hidrólise, acidogênese e metanogênese. Porém, há autores que a detalham em quatro fases, acrescentando a acetogênese, fase intermediária entre a acidogênese e a metanogênese.

Segundo os autores (*op. cit.*), o processo de biodigestão é dividido em:

- Hidrólise: que envolve a transformação mediada por enzimas extracelulares dos compostos insolúveis e dos compostos com alto peso molecular como carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, em compostos solúveis mais simples como os monossacarídeos, os aminoácidos e os ácidos graxos. As bactérias, hidrolíticas, que hidrolisam a matéria orgânica nessa primeira fase são facultativas e anaeróbias estritas.
- 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.

- Metanogênese sendo acetotrófica quando o ácido acético é fermentado pela ação das *archaeas* metanogênicas acetotróficas e o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos pela ação das *archaeas* metanogênicas hidrogenotróficas em uma mistura gasosa de metano e de dióxido de carbono, em sua maior monta, além de sulfeto de hidrogênio, e outros gases traço, e vapor d'água.

Barros (2012) descreveu cinco rotas que ocorrem na digestão anaeróbia. A hidrólise que reduz os polímeros orgânicos complexos em moléculas solúveis simples, por meio de enzimas extracelulares. Polímeros de proteínas, lipídios e carboidratos são hidrolisados a aminoácidos, ácidos graxos de cadeias longas e açúcares. Os compostos reduzidos são convertidos por bactérias fermentativas em uma mistura de ácidos graxos voláteis (AGVs) de cadeia curta e outros produtos menores como o dióxido de carbono, hidrogênio e ácido acético. Bactérias acetogênicas convertem os ácidos orgânicos em acetatos, dióxido de carbono e/ou hidrogênio e, finalmente as *archaeas* metanogênicas consomem o acetato, dióxido de carbono e hidrogênio e produzem o metano. A figura 6 mostra o fluxograma do processo de biodigestão anaeróbia.

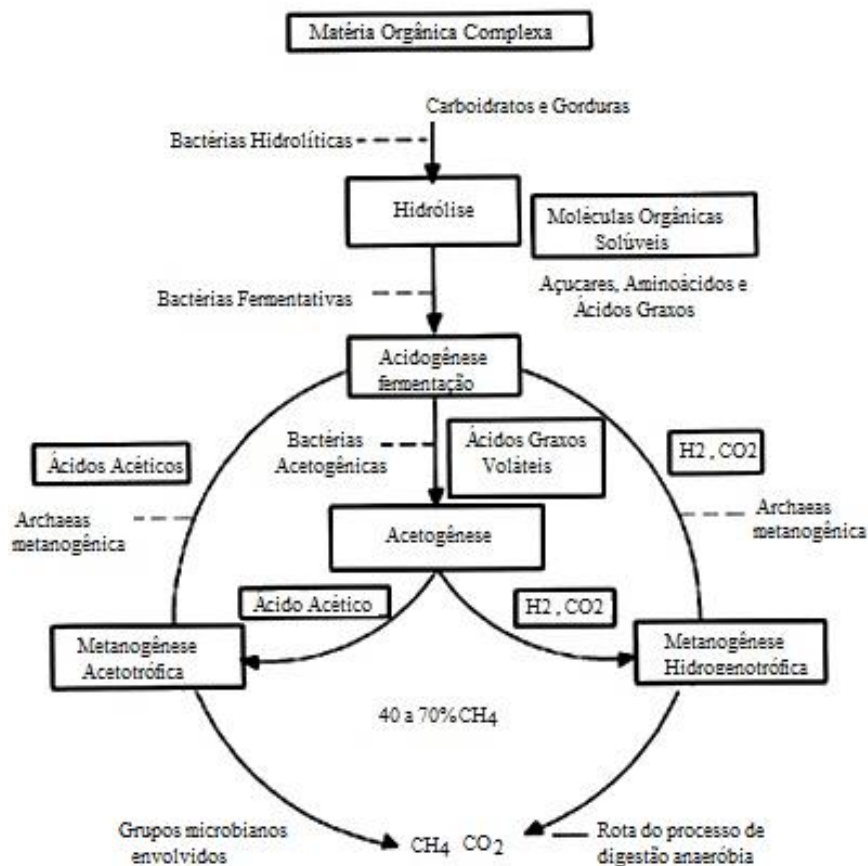


Figura 6: Fluxo da Biodigestão Anaeróbia

Fonte: Barros (2012)

- Há que se considerar ainda, a sulfetogênese, conforme descrito em Barros (2012), na qual Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS) competem com as *archaeas* metanogênicas acetotróficas pelo substrato acetato e, em razão de sua versatilidade, predominam nessa competição. Dessa forma, subprodutos em estágio intermediário de digestão podem se acumular, sobretudo os Ácidos Graxos Voláteis (AGVs), que podem causar uma tendência de queda nos valores de pH; talvez, até mesmo em casos extremos, a valores que prejudicariam a sobrevivência das *archaeas* metanogênicas, causando o azedamento do sistema.

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia depende 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 em níveis adequados em uma simbiose, a fim de que haja uma produção de biogás rico em metano.

Para Duarte (2010), a biodigestão anaeróbia é importante, pois causa a redução da poluição e trata-se de um processo no qual não há geração de calor e a volatilização dos gases, considerando-se pH próximo da neutralidade, é mínima, além de se considerar a recuperação da energia na forma de biogás e a reciclagem do efluente. O biogás tem sido utilizado com frequência, principalmente na Europa, em substituição ao gás natural.

2.6.1 Fatores Que Interferem no Processo de Biodigestão

Por se tratar de um processo biológico no qual a matéria orgânica é decomposta por microrganismos anaeróbios, a biodigestão depende de determinadas condições durante a degradação dos nutrientes e compostos presentes no resíduo orgânico. Os principais fatores que interferem são conhecidos por influírem sobre a cinética de crescimento microbiano, sensibilidade a condições ambientais, toxicidade, dentre outros.

2.6.1.1 A Acidez e Alcalinidade do Substrato

Para Demirer e Chen (2004), o pH é o fator limitante para o desenvolvimento microbiano, sua variação pode inibir ou até diminuir a população microbiana. As bactérias acidogênicas possuem crescimento rápido, preferencialmente em pH de 5,2 a 6,5, as bactérias acetogênicas e *archaeas* metanogênicas tem seu desenvolvimento ótimo com pH de 7,5 a 8,5. Para Antonopoulou *et. al.* (2008), o pH ideal fica entre 6,5 e 8,0.

Para Chernicharo (1997), as bactérias acidogênicas, são menos sensíveis que as *archaeas* metanogênicas e ficam ativas, mesmo em pH em torno de 4,5, e a produção de ácidos não é interrompida, mesmo em tais circunstâncias. O que não ocorre com a produção de CH₄ que

pode ser drasticamente reduzida ou praticamente cessada. O pH em meio anaeróbio está diretamente relacionado com a produção e ou adição de elementos com capacidade tampão, como a alcalinidade a bicarbonato, operação do biodigestor e temperatura. Chernicharo (1997) sugere alguns elementos tampões, que podem ser adicionados com a intenção de promover o aumento de pH do meio: cal virgem (CaO), a cal hidratada (Ca (OH)₂), carbonato de cálcio (CaCO₃), carbonato de sódio (Na₂CO₃), o bicarbonato de amônio (NH₄HCO₃), o bicarbonato de sódio (NaHCO₃) e o hidróxido de sódio (NaOH).

Para Neves (2009) e Ward *et al.* (2008), a capacidade tampão é o equilíbrio entre o CO₂ e bicarbonato, sendo então a capacidade de tamponamento proporcional à concentração de bicarbonato. Para Chernicharo (1997), quanto mais alcalinidade for consumida no processo, maior será a dificuldade de estabilização do pH. Segundo o autor (*op. cit.*), o bicarbonato ocorre de duas rotas: a conversão de AGVs em metano, por exemplo, a digestão de acetato de sódio, que tem como produto final o bicarbonato de sódio e metano, e da conversão de proteínas e aminoácidos, que por meio da combinação do ácido carbônico e amônia, formam o bicarbonato de amônio.

2.6.1.2 Temperatura

Segundo Luostarinen *et al.* (2011) e Zhao (2011), a biodigestão anaeróbia pode ocorrer em três faixas de temperatura, sendo a psicrófila até 25°C, mesófila de 25 a 40°C e a termófila acima dos 40°C. Para Zuo e Xing (2007), a fase termófila ocorre entre 50°C a 60°C e em temperaturas acima de 80°C é hiper termófila. Vale ressaltar que em baixas temperaturas do digestor, as mudanças abruptas podem influir diretamente no crescimento e sobrevivência dos microrganismos, fazendo com que as reações químicas e enzimáticas sejam mais lentas.

2.6.1.3 Amônia

Segundo Chen *et al.* (2008), os amoníacos são compostos nitrogenados que possuem a amônia (NH₃) em suas ligações químicas e podem entrar nas células microbianas. Em altas concentrações torna-se tóxica aos microrganismos anaeróbios, provocando desequilíbrio de prótons e deficiência de potássio.

Para Hansen *et al.* (1998), a toxicidade ocorre pela amônia livre (NH₃) e pelo íon de amônia (NH₄⁺), sendo que estas duas formas apresentam-se em equilíbrio, tendo sua concentração dependente do pH do meio.

Chernicharo (1997) identificou que em soluções com pH igual ou menor que 7,2, a toxicidade é normalmente originada pelo íon NH_4^+ e em pH mais elevado, o inibidor é a amônia livre, NH_3 .

Para Liu e Sung (2002), em concentrações abaixo de 200 mg L^{-1} , a presença da amônia é benéfica ao processo, uma vez que são fontes de N, nutriente essencial para os microrganismos

Segundo Gerardi (2003), a presença de alguns elementos como o sulfureto de hidrogênio, metais pesados (Cu, Zn, Mg dentre outros), cátions de alcalinidade (cálcio, manganês, potássio e sódio), compostos que contenham anel benzeno, excesso de ácidos graxos de cadeia longa, antibióticos dentre outros, são possíveis elementos tóxicos à biodigestão.

2.7 O Biodigestor

Os biodigestores são locais adequados para que ocorra a digestão anaeróbia de resíduos e matéria orgânica na ausência de oxigênio. Possui um reservatório e uma câmara fechada, onde são colocados os resíduos e água. No interior do reservatório ocorre a decomposição e fermentação do material depositado, gerando assim, o biogás que fica acumulado na câmara.

Para a Organização das Nações Unidas, ONU (1979), usinas de biogás consistem em dois componentes: o digestor (tanque de fermentação) e o acumulador de gás (campânula). O digestor é um recipiente em forma de cubo ou cilíndrica, à prova d'água, com uma entrada em que a mistura de resíduos é introduzida na forma de uma pasta líquida. A campânula de gás é um recipiente de aço hermético que recolhe o gás gerado. A campânula é equipada com uma saída de gás, e o digestor possui um tubo-ladrão, para encaminhar as sobras do processo de fermentação anaeróbia para fora, em um poço de drenagem. (ONU, 1979)

Segundo Kunz e Oliveira (2006), os três modelos de biodigestores mais utilizados são: o Indiano, o Chinês e o Canadense.

- O biodigestor Indiano é composto por uma campânula flutuante e gasômetro. É um biodigestor de pressão constante. Possui parede central que divide o reservatório em duas câmaras. Em uma ocorre à entrada de resíduos e a outra a saída. A figura 7 mostra o biodigestor indiano.

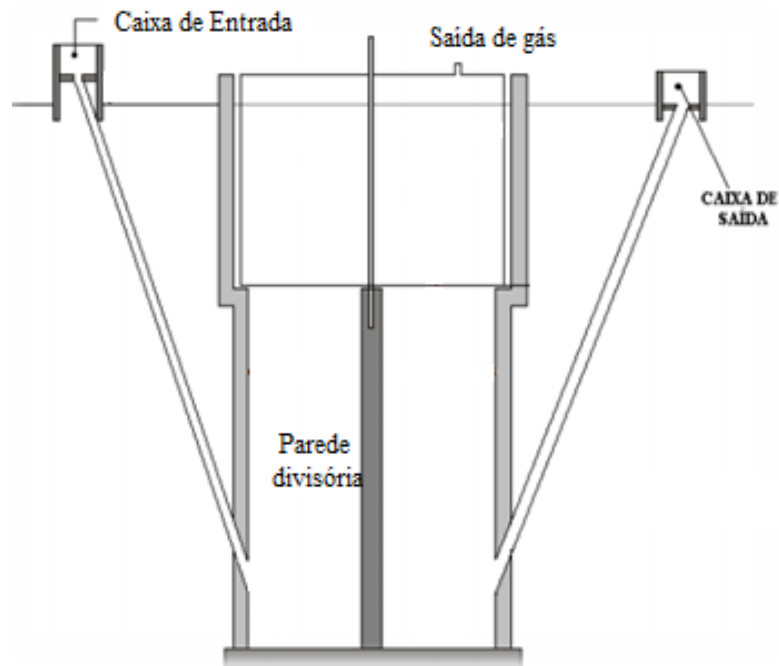


Figura 7: Modelo de Biodigestor Indiano
Fonte: Nogueira (1986)

- O biodigestor Chinês possui uma base em forma de abóboda e é totalmente enterrado em solo, não possui gasômetro e o gás é armazenado no interior do reator. A figura 8 mostra o biodigestor chinês.

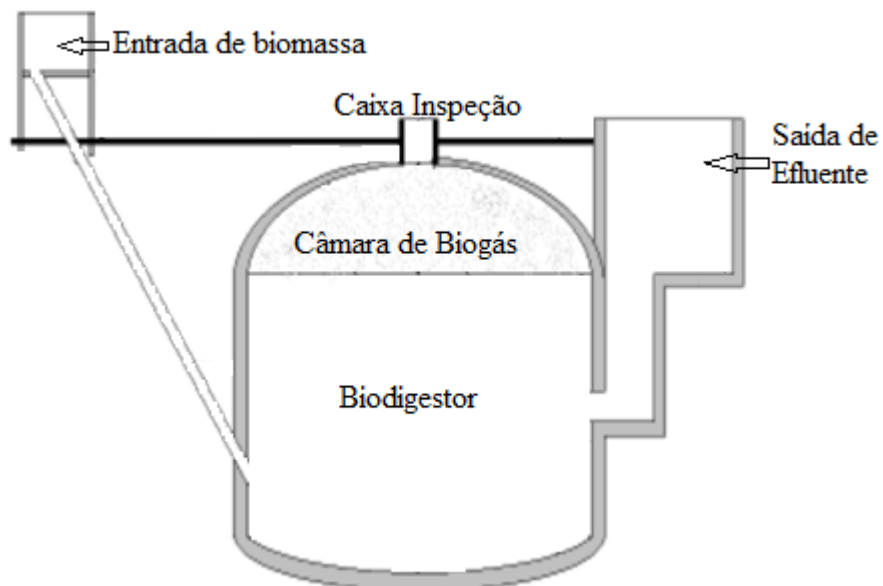


Figura 8: Modelo Biodigestor Chinês
Fonte: Nogueira (1986)

- O biodigestor Canadense, também conhecido como modelo marinha ou fluxo tubular, é feito com o uso de membranas de polietileno de alta densidade (PEAD),

que é afixada ao redor de toda a área do biodigestor. Possui uma base retangular feita em alvenaria onde é colocado o resíduo, possui gasômetro e uma manta de policloreto de vinilo (PVC). A figura 9 mostra o biodigestor

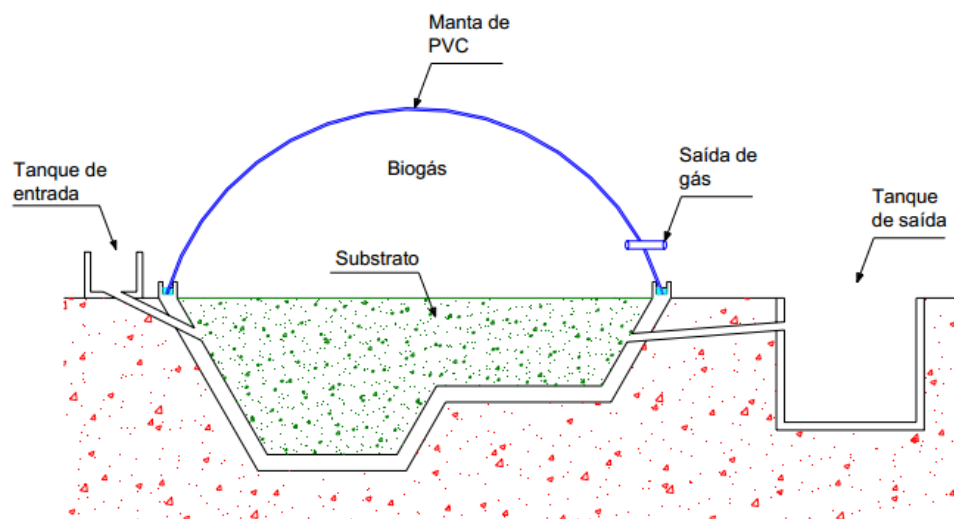


Figura 9: Modelo Biodigestor Canadense
Fonte: Oliveira (2005)

Para Galinkin e Bley Jr. (2009), os mais utilizados e de fácil operação são os digestores de mistura completa, compostos de tanques em concreto, construídos acima ou abaixo do nível do terreno, com cobertura em lonas plásticas. São utilizados para tratamento de efluentes com altas concentrações de sólidos, entre 3 e 40%. Requerem menos área do que as lagoas; e os digestores *Plug Flow*, que funcionam com os mesmos princípios dos demais. São tanques geralmente retangulares, utilizados para efluentes com alta concentração de fibras. A estrutura dessas formas, mais sofisticadas, facilita sua implantação em terrenos com área reduzida e limitada, sendo também, mais segura ambientalmente, podendo fazer parte de sítios industriais em quadros urbanos congestionados.

2.8 O Biogás

Segundo a CETESB (2006), o biogás é uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos efluentes industriais, rurais e esgotos domésticos, tratados pelo processo anaeróbio. Essa mistura gasosa é formada principalmente, por metano e dióxido de carbono, em média, em partes iguais. Quanto maior a fração de metano, mais energia por unidade de massa o biogás contém. Há ainda dezenas de substâncias, como o gás sulfídrico, causador de mau cheiro,

traços de siloxinas, que reduzem a vida útil dos equipamentos de uso energético, e vapor d'água.

Tabela 6: Composição do Biogás de Aterros e Biodigestores

Composição	Aterros	Biodigestores
Metano	45%	65%
Faixa de Metano	35 a 65%	60 a 70%
Hidrogênio	0 a 3%	0
Dióxido de Carbono	40%	35%
Nitrogênio	15%	0,20%
Faixa de Nitrogênio	5 a 40%	-
Oxigênio	1%	0
Faixa de Oxigênio	0 a 5%	-
Sulfeto de Hidrogênio	< 100 ppm	< 500 ppm
Faixa de Sulfeto Hidrogênio	0 a 100 ppm	0 a 4000 ppm
Amônia	5 ppm	100 ppm
Clorina	20 a 200 mg/m ³	0 a 5 mg/ m ³
Siloxina	12,9 ug / g	-

Fonte: Adaptado de Monteiro *et. al.* (2011)

A tabela 8 faz uma relação entre o biogás e outras fontes de energia.

Tabela 7 : Relação de 1m³ de Biogás e Outros Energéticos

Energético	Equivalente
Gasolina	0,613 (L)
Querosene	0,579 (L)
Diesel	0,533 (L)
GLP	0,454 kg
Álcool	0,79 (L)
Carvão Mineral	0,735 (L)
Lenha	1,538 kg

Fonte: Cardoso Filho (2001)

O poder calorífico do biogás aumenta na medida em que a concentração de metano aumenta. Para Gaspar (2003), o poder calorífico varia entre 21000 a 30.000 kJ/m³ se o biogás for purificado.

Para Santos *et. al.* (2006), o biogás com 65% de metano possui 22.353 kJ/m³ de poder calorífico.

Para Nogueira (1986), o valor comumente utilizado é de 23.000 kJ/m³, deduzido da equação 2, sendo o poder calorífico do metano puro, desumidificado de 37.000 kJ/m³.

$$\text{Poder Calorífico} = 90,67 \times \%CH_4 \left[\frac{kJ}{m^3} \right] \quad (2)$$

Salomon (2007) identificou o volume de biogás produzido por massa (em kg) de dejetos, produzidos por algumas atividades rurais. Os resíduos secos da avicultura tem um potencial para a geração de 1m³ de biogás para cada 2,3 kg de dejetos. Para Nogueira (1986), o esterco de galinha seco produz 0,43 m³ de biogás por kg de sólido. A tabela 9 estima a produção de esterco e metano por alguns tipos de animais.

Tabela 8: Coeficiente de Produção de Esterco e Biogás por Espécie

Espécie Animal e Condição de Criação	Esterco (kg/animal/dia)	Biogás (m ³ /animal/dia)
Bovino estabulado	30	1,11
Bovino semi estabulado	15	0,56
Bovino não estabulado	10	0,36
Suíno (leitão)	2,3	0,18
Suíno adulto	5,8	0,33
Galinha poedeira	0,14	0,02
Frango de corte	0,05	0,01

Fonte: Lucas Jr. e Silva (2005)

2.8.1 Cuidados, Usos e Purificação.

Para Silva (2009), biogás proveniente de aterros, se não tratados podem apresentar uma serie de riscos ao meio ambiente, em função do metano livre liberado para a atmosfera, corroborando com o efeito de estufa. Para a saúde e segurança da população local, há riscos de toxidade, incêndios e explosões. Desta forma, torna-se necessário um rigoroso controle, no que diz respeito à sua captação, tratamento e armazenamento.

O biogás produzido pode ser utilizado de diversas formas: queimado no local, produzir energia elétrica, para consumo nas próprias instalações e/ou venda à rede, purificado e injetado na rede de gás natural e/ou, utilizado como combustível em veículos substituindo o gás natural veicular (GNV). No entanto, para o pleno uso desta alternativa energética, há a necessidade de todo um conjunto de equipamentos, que permita o seu rigoroso tratamento para a posterior utilização.

A tabela 10 mostra a necessidade de remoção de componentes do biogás para alguns usos específicos.

Tabela 9: Usos / remoção de componentes do biogás - IEA- Bioenergia Task 24

Aplicação	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O
Caldeira a gás aquecimento	<1000 ppm	não	não
Utilização cozinha cocção	sim	não	não
Veiculo a gás	sim	sim	sim
Rede gás natural	sim	sim	sim

Fonte: IEA Task 24 (2006)

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em sua nota técnica n° 157/2014/SBQ/RJ (2014), definiu os requisitos para que o biogás purificado, chamado de biometano, oriundo de biodigestão anaeróbia de resíduos de biomassa possa ser utilizado como gás veicular e/ou adicionado a rede de gás natural, como mostrado na tabela 11.

Tabela 10: Especificação Biometano

Característica	Unidade	Limite
Metano, mín	% mol.	96,5
Oxigênio, máx.	% mol.	0,5
CO ₂ , máx.	% mol.	3
CO ₂ +O ₂ +N ₂ , máx.	-	3,5
Enxofre Total, máx.(2)	mg/m ³	70
Gás Sulfídrico (H ₂ S), máx.	mg/m ³	10
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx.	°C	-45

Fonte: ANP (2014)

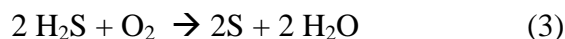
Vale ressaltar, que na nessa mesma nota técnica, a ANP vetou o biometano oriundo de RSU, estações de saneamento e ETE para os usos supracitados. Aparentemente, o veto ocorreu em função de o substrato ser uma mistura heterogênea, de fontes e origens não identificadas, e que poderiam comprometer a qualidade do biogás e suas características, como exemplo o PCI e outros particulados indesejáveis. Diferentemente do Biometano de resíduos agrossilvopastoais, normalmente oriundo de dejeções de animais, alimentados com rações balanceadas, com alto teor de proteína e energéticos.

2.8.2 Processos de Purificação do Biogás

O processo de purificação e limpeza do biogás tem a finalidade de evitar danos aos equipamentos de combustão e aumentar o seu poder calorífico. Consiste basicamente em isolar o metano, dos outros constituintes do biogás.

Para Varnero *et. al.* (2012), a remoção do CO₂, H₂S, vapor de água, nitrogênio e oxigênio aumentam a concentração de metano para 95% ou mais, e a remoção do H₂S, aumenta a vida útil de motores e equipamentos utilizados para a geração de eletricidade.

Segundo a empresa Kronos eCoChem (2014) uma forma simplificada de redução de H₂S do biogás ocorre pela rota biológica, através da adição de 8 a 12 % de ar (oxigênio atmosférico), injetado no gasômetro logo acima do substrato. O oxigênio atmosférico e o gás sulfídrico são oxidados e transformados em enxofre pelos microrganismos presentes na superfície do biogás. O enxofre retorna ao substrato em forma elementar, onde parte volta à reação de oxidação e parte é descartada junto ao efluente final. A equação 3 mostra a reação de oxidação.



Para Silva (2009), a escolha do processo de purificação e limpeza está relacionada ao tipo de uso final do biogás. Os processos de purificação podem ser divididos em várias etapas. A figura 2 exemplifica o processo de purificação do biogás, desde a saída do reator anaeróbio até sua injeção na rede de gás.

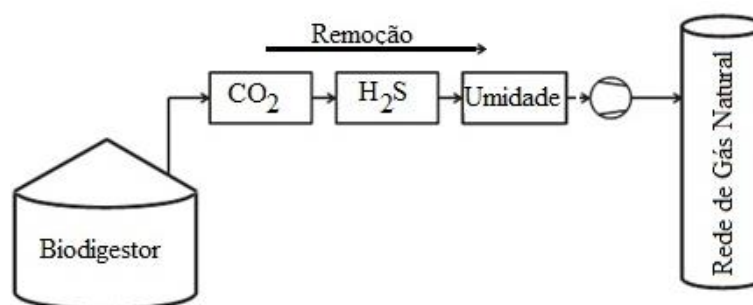


Figura 10: Processo Purificação Biogás.

Fonte: traduzido de Scholz *et. al.*(2013)

Para Scholz *et al.* (2013), a remoção do CO₂ é a parte mais importante do processo de purificação, além da remoção de vapor de água e do H₂S.

Segundo Lora *et. al.* (2012), a presença de substâncias incombustíveis no biogás, prejudicam o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Ainda há a presença de gases

N_2 , H_2 e H_2S , sendo este último corrosivo. A tabela 11 apresenta as principais tecnologias utilizadas para a purificação do biogás.

Tabela 11: Tecnologias para remoção de impurezas do biogás.

Impureza	Tecnologia	Material Utilizado
Água	Adsorção	Sílica Geral Peneira molecular Alumina
	Absorção	Etilenoglicol Temperatura $-6,7^{\circ}C$ Selexol Resfriamento a $2^{\circ}C$
Hidrocarbonetos	Adsorção	Carvão ativado
	Absorção	Óleo leve Etilenoglicol Selexol Temperatura $-6,7^{\circ}C$ a $-33,9^{\circ}C$
	Combinação	Refrigeração etilenoglicol e adsorção carvão ativado
CO_2 e H_2S	Absorção	Solventes orgânicos Solexol Flúor Rectisol Sais alcalinos Potássio quente e quente inibido Alcanolâminas Mono, di e trietanolâminas Diglicolamina Ucarsol - CR solvente
	Adsorção	Peneira molecular Carvão ativado
	Membranas	fibra de oca
Siloxinas	Adsorção	Carvão ativado

Fonte: Lora *et. al.* (2012)

2.9 Conversão do Biogás em Energia Elétrica

Segundo Coelho *et. al.* (2006), existem diversas tecnologias para a conversão energética do biogás. A conversão energética é o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia

mecânica, por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica. As turbinas a gás e os motores de combustão interna Ciclo Otto são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética.

Salomon (2007) identificou quatro formas para a conversão do biogás em energia elétrica: motores de combustão interna alternativa (MCI), indiretamente por meio de caldeiras, motores *Stirling* e técnicas avançadas às micro turbinas.

Na utilização em caldeiras, algumas adaptações precisam ser feitas para uso com o biogás, deve haver controle de umidade do gás, controle de vazão adequado, controle da chama no interior da caldeira.

O motor *Stirling* é alternativo, necessita de fonte externa de calor, possui eficiência em torno de 40% a 45%, baixo ruído e segurança de operação, vida útil de 25.000 horas, há poucas variedades testadas e poucos dados de confiabilidade.

As microturbinas, para utilização com gases pobres, necessitam de adaptações na câmara de combustão e limpeza prévia do gás antes da queima. Possuem facilidade de instalação, utilizam o calor da própria queima para aquecer o ar da combustão, o que aumenta a eficiência. (SALOMON, 2007).

Para Carvalho *et.al.*(2007) suas vantagens são: boa capacidade de operar com gás de biomassa, necessidades de vazão constantes, eficiência 30% a 33%, baixa emissão de gases, vantagens em cogeração com uso de calor residual e modularidade.

Para Salomon (2007) os motores de combustão interna são máquinas robustas e indicadas para operação com o biogás, pois apresentam custos reduzidos e podem ser utilizadas para pequenas e médias demandas de energia elétrica de centenas de Quilowatt até dezenas de Megawatt. Os MCI têm uma mediana eficiência entre 22% a 33% de conversão e a eficiência decresce drasticamente à medida que o teor de metano (CH_4) diminui abaixo de 50%.

Para Selim (2010) os motores de combustão podem operar por ciclo Otto ou ciclo Diesel. No ciclo Diesel o pistão comprime o ar na câmara de combustão, até atingir temperatura suficientemente alta, e ao injetar-se combustível na câmara de combustão, ocorre espontaneamente o início da queima. No Ciclo Otto, o pistão comprime uma mistura de ar e combustível na câmara de combustão, e uma centelha provoca a combustão do fluido comprimido. Nas duas operações, ocorre o aumento da pressão dentro da câmara de combustão, para que ocorra a movimentação dos pistões.

Segundo Lora *et. al.* (2004), os motores de combustão são máquinas térmicas onde a energia química dos combustíveis é transformada em trabalho mecânico, o fluido de trabalho consiste na combustão da mistura ar/combustível, sendo a câmara de combustão parte fundamental do processo, tudo isso integrado ao motor. Segundo o autor (*op. cit.*), o MCI é a tecnologia mais difundida entre as máquinas térmicas, tendo sua aplicação mais comum como elemento de propulsão. Para a geração de energia elétrica, os motores ciclo diesel e a gás são competitivos, devido à alta eficiência térmica em carga total ou parcial, independente das condições ambientais locais como a temperatura, pressão e umidade, com a possibilidade de aproveitamento de calor residual para cogeração.

O termo cogeração, segundo Gomes (2001), é utilizado para designar processos de produção combinada de calor e potência, com o uso sequencial da energia liberada por uma mesma fonte de combustível em qualquer que seja o ciclo termodinâmico empregado. A cogeração e ciclo combinado aumentam a eficiência de uma planta geradora. A figura 11 exemplifica as entradas e saídas em sistemas de cogeração.

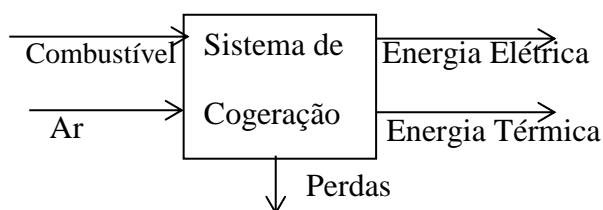


Figura 11: Insumos e Produtos da Cogeração
Fonte: Adaptado de Gomes (2001)

3 Materiais e Métodos

A grande produção de dejetos da avicultura de postura, sobretudo no setor de produção, vem apresentando crescentes expansões nos últimos anos. A automação de seus processos produtivos e a grande quantidade de resíduos são indicadores fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas e estudos relacionados ao tratamento, reciclagem, e aproveitamento energético dos dejetos. Neste sentido, este trabalho está baseado na experimentação feita em aparatos de biodigestão anaeróbia em batelada, tendo como afluente, os resíduos provenientes de sistemas de criação automatizados de produção de ovos, e a análise do potencial de produção de biogás sobre determinadas condições de temperatura, diluição e tempo de retenção hidráulica (TRH) nos biodigestores. Foram feitas três experimentações, sendo o primeiro experimento realizado em biodigestor de 20 litros, sistema de agitação manual do substrato, gasômetro com capacidade para 10 litros por deslocamento de coluna d'água, o segundo experimento em biodigestor de 20 litros, com sistema de circulação forçada do substrato, controle eletrônico de temperatura e gasômetro com capacidade para 20 litros por deslocamento de coluna d'água e, o terceiro e último experimento com biodigestores de 3,3 litros com gasômetros tubulares de 2,1 litros.

A figura 12 mostra os passos efetuados na metodologia de estudo aplicada a este trabalho.

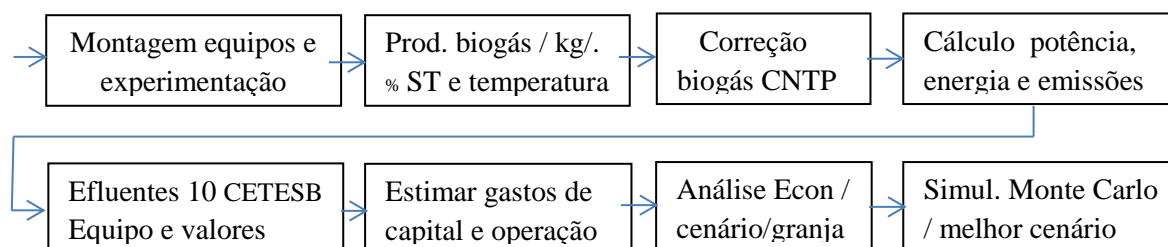


Figura 12: Fluxo do método utilizado

3.1 Montagem dos Biodigestores, Gasômetros de Coluna D'Água e Circuito.

Foram montados 2 biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente baseado no modelo proposto por Souza (2001), com algumas adequações de acordo com Price e Cheremisinoff (1981).

A figura 13 mostra o projeto do biodigestor baseado no proposto por Souza (2001)

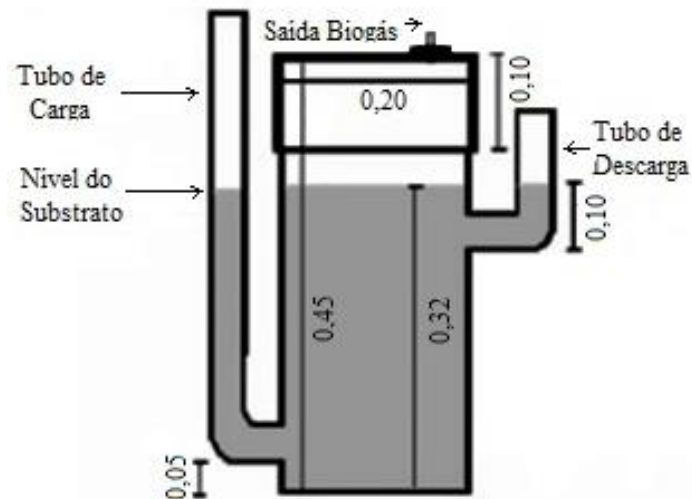


Figura 13: Biodigestor de Bancada.
Fonte: Souza (2001)

As modificações no projeto original de Souza (2001), como proposto por Price e Cheremisinoff (1981) foram conforme demonstrado na figura 13:

1. Adicionar ao reator um retentor para permitir a completa vedação do biodigestor e um agitador mecânico com duas pás, para que o afluente seja homogeneizado periodicamente, como mostrado na figura 14a;
2. Adicionar ao reator um sistema de bomba centrífuga para que o afluente seja homogeneizado periodicamente, por meio de circulação forçada como mostrado na figura 14b.

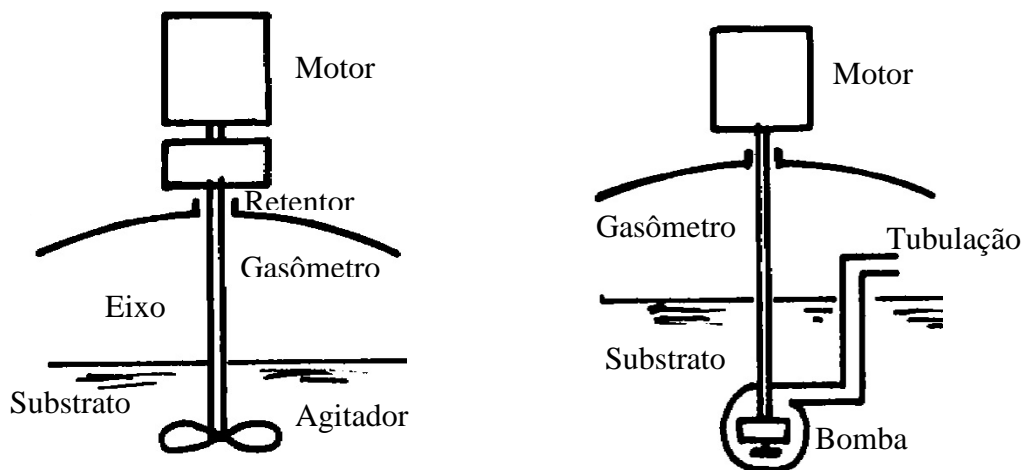


Figura 14: Agitador com: a) pá rotativa (esquerda); b) bomba centrífuga (direita).
Fonte: Price e Cheremisinoff (1981)

As figuras 15a e 15b mostram os projetos dos biodigestores de bancada utilizados nas primeiras fases do presente trabalho.

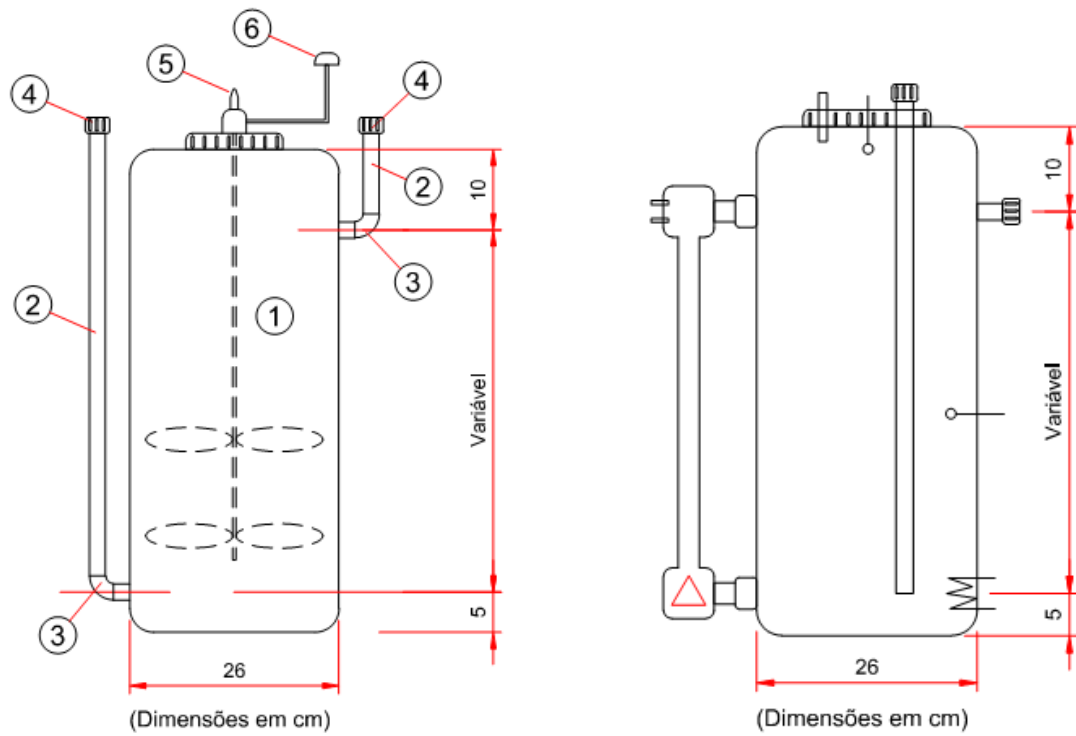


Figura 15: Biodigestor com: a) Agitação Mecânica (esquerda); b) com circulação (direita)

Os materiais utilizados para a construção do biodigestor mostrado na figura 15a e 15b estão discriminados no anexo I.

As figuras 16a, e 16b mostram o biodigestor aberto e montado.



(a)



(b)

Figura 16: Biodigestor: a) Aberto (esquerda); b) Montado (direita).

As figuras 17a e 17b mostram o biodigestor com circulação forçada, aberto e montado.



(a)



(b)

Figura 17: Biodigestor circulação forçada: a) aberto (esquerda); e b) montado (direita)

Os biodigestores foram projetados para receber uma carga útil de 15 litros de substrato, sendo que 02 litros ficam destinados como reservatório de inóculo de cargas anteriores, para facilitar a partida e 05 litros destinados ao gasômetro do reator.

O circuito elétrico para recirculação forçada do substrato e controle térmico seguiu o esquema mostrado na figura 18.

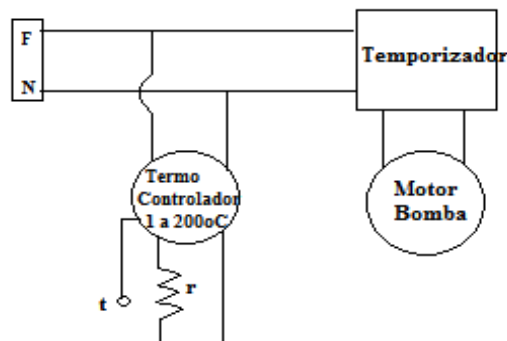


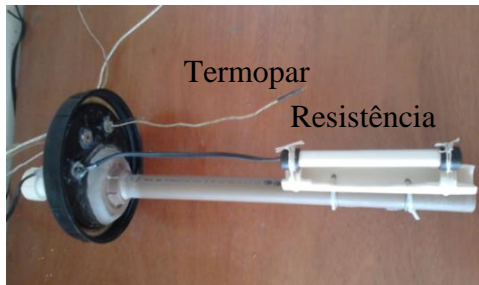
Figura 18: Circuito circulação forçada e termo controlador

A lista de material e os itens utilizados no circuito de circulação forçada e termo controlador, são mostrados no anexo II.

A adição deste circuito permite controlar a temperatura do substrato, podendo ser modificada para otimizar a produção de biogás. Neste sistema, o sensor termopar informa ao controlador a temperatura em que se encontra o substrato; desta forma, permitindo ligar ou desligar a resistência elétrica, até atingir a temperatura programada. Inicialmente, a temperatura foi ajustada para 36^oC, de acordo com Luostarinen *et. al.* (2011) e Chernicharo (1997),

A circulação forçada ocorreu de acordo com a programação do temporizador e tem a função de homogeneização do substrato, de acordo com Souza *et al.* (2005) e Ortolani *et al.* (1991).

As figuras 19a e 19b, mostram como foi montado o sistema de aquecimento, termopares e o controlador de temperatura, tendo sido utilizado o modelo MAH009N 1°C a 200°C.



(a)



(b)

Figura 19: Sistema de aquecimento: a) termopar (esquerda); e b) controlador (direita)

Inicialmente, os gasômetros externos foram feitos de acordo com os experimentos de Parajuli (2011), mostrado na figura 20.

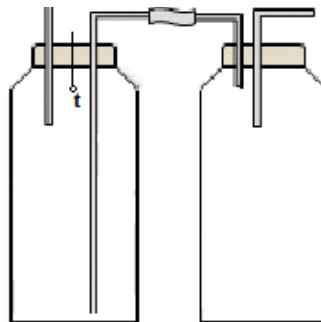


Figura 20: Gasômetro por deslocamento de Fluido
Fonte: Adaptado de Parajuli (2011)

Os materiais utilizados para a construção do gasômetro são mostrados no anexo II.

As figuras 21a e 21b mostram o gasômetro externo montado.



Figura 21: Gasômetro: a) montado vista lateral (esquerda) b) vista frontal (direita)

No interior do gasômetro é colocada uma solução barreira / tampão, uma mistura de água, cloreto de sódio e ácido clorídrico. $H_2O/NaCl/$ Ácido Clorídrico. A proporção de NaCl deve ser adicionada até o ponto de saturação e o ácido clorídrico adicionado até a mistura atingir o pH próximo a 2. Isso é necessário para que a presença do dióxido de carbono não influencie a mensuração do gás durante o deslocamento da coluna d'água. (Walker, 2009)

O esquema de ligação do reator e gasômetros foi feito de acordo com o proposto por Parajuli (2011), mostrado na figura 22.

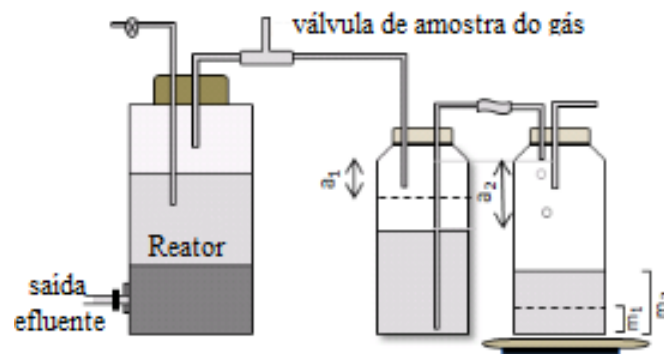


Figura 22: Modelo de biodigestor e gasômetros

Fonte: Parajuli (2011)

A diferença entre o modelo proposto por Parajuli (2011) e o aparato biodigestor e gasômetros montados deu-se pela adição do medidor de vazão da *Actaris Gallus*. As figuras 23a e 23b mostram os aparatos biodigestor e gasômetro, utilizados no primeiro experimento, montados no laboratório LABRES.



(a)

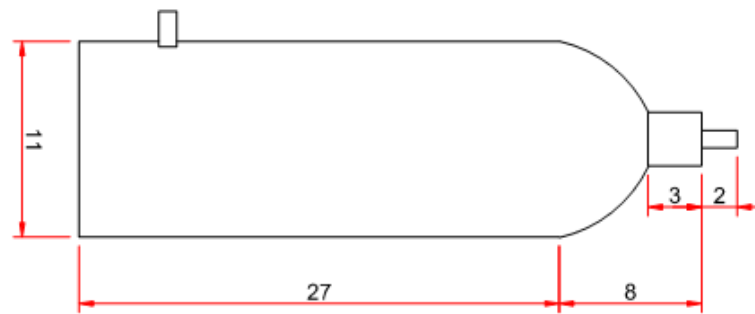


(b)

Figura 23: Reator e Gasômetro : a) vista frontal (esquerda); e b) panorâmica

3.2 Montagem do Biodigestor 3,3(L) e Gasômetro Tubular de 2,1 (L)

Foram montados 03 biodigestores anaeróbios para 3,3 litros, utilizando-se de garrafas PET, com área útil para 2,56 litros de substrato e gasômetro interno para armazenar 0,74 litros de gás. O aparato funciona por batelada e o substrato é adicionado pela tampa de entrada, onde foi afixada uma válvula de saída com 0,4 mm para escoamento do gás ao gasômetro externo. Na parte inferior do biodigestor foi adicionada uma válvula de saída com 0,4 mm para retirada de amostra do substrato. A figura 24 mostra o desenho do aparato biodigestor, a figura 25 o biodigestor preenchido com substrato e o grupo de biodigestores sob a mesma condição de temperatura.



(Dimensões em cm)

Figura 24: Aparato Biodigestor com garrafa PET

Os materiais utilizados para a construção do aparato biodigestor mostrado na figuras 24 e 25b, são mostrados no anexo II:



Figura 25: Biodigestor a) com substrato (esquerda); e b) biodigestores sob mesma temperatura.

Os gasômetros tubulares externos para os novos biodigestores foram feitos de acordo com o modelo proposto por Fantozzi e Buratti (2011). A figura 26 mostra o projeto do gasômetro para 2,1 litros.

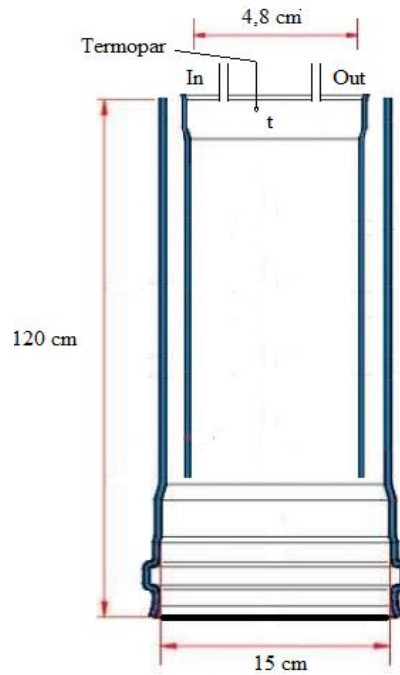


Figura 26: Gasômetro Tubular 2,1 (L)

Os materiais utilizados para a construção dos gasômetros são mostrados no anexo II. A figura 27 mostra os gasômetros montados e inflados com biogás dos biodigestores.



Figura 27: Gasômetros Tubulares 2,1(L) montados

Para a conexão dos aparatos biodigestores aos gasômetros tubulares, foram utilizadas mangueiras de látex flexíveis nº 302 e a interligação seguiu o modelo proposto por Fantozzi e Buratti (2011), mostrado na figura 28 com as alterações e simplificações locais.

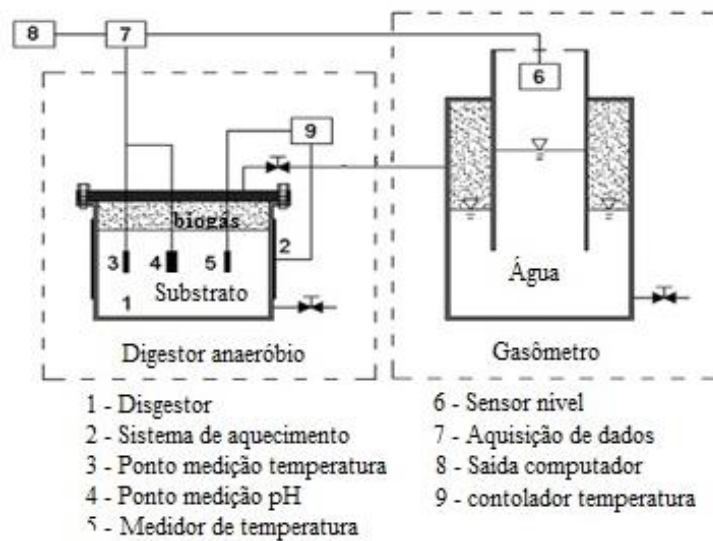


Figura 28: Esquema de interligação
 Fonte: Fantozzi e Buratti (2011)

3.3 Descrição do Local e Experimento

Com o objetivo de validar o aparato biodigestor e gasômetro por deslocamento de fluido, a experimentação foi desenvolvida no Laboratório de Resíduos Sólidos, Hidrogeologia e Qualidade da Água (LABRES) do Instituto de Recursos Naturais (IRN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), latitude -22,4258, longitude -45,4525, altitude de 850 metros acima do nível do mar, pressão atmosférica média 9.244,923 mmH₂O medida no período entre 13 de março até 20 de junho de 2014, de acordo com os dados da estação meteorológica da UNIFEI.

Os resíduos utilizados no processo de biodigestão anaeróbia foram coletados no aviário de postura Granja Iana, localizado no município de Itanhandu-MG. O Aviário possui um plantel total de 2.000.000 aves distribuídas em três granjas duas na cidade de Itanhandu nos bairros Estiva e Jardim e uma na cidade de Pouso Alto-MG, no bairro Coura.

Foram utilizados na pesquisa exclusivamente os resíduos dos galpões de produção automatizados com esteira de coleta mecanizada. A primeira batelada de experimentos, foi feita conforme aparatos mencionados no subitem 3.1 do presente trabalho, há que se ressaltar que houve a adição de 500 gramas de lodo de ETE após a terceira semana, utilizado para inocular os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica no digestor. As figuras 29, 30 e 31 mostram o galpão, a esteira de resíduos e sistema de coleta / transporte.



Figura 29: Foto Galpão Criação nº. 3



Figura 30: Esteira de Coleta de Dejetos



Figura 31: Coleta e Transporte de Resíduos

3.3.1 Primeiro Experimento (E1) - Biodigestor sem Controle Térmico com Agitação Manual

O aparato biodigestor utilizado no experimento foi o mostrado na figura 15a, instalado de acordo com as figuras 22 e 23, sem controle térmico e com sistema de agitação manual.

A carga no biodigestor, foi feita com os dejetos do galpão de postura número 3, ocupado com aves da raça *HiSex Brown*, alimentadas com ração de postura do tipo 2. A coleta dos resíduos foi feita com uma pá na esteira mecânica, e foram retirados aproximadamente, 5 kg.

No laboratório LABRES, IRN-UNIFEI, foi feita a pesagem do resíduo, sendo destinados 3 kg para biodigestão, as cargas foram feitas no sistema batelada. Antes do enchimento da carga no biodigestor, os resíduos foram diluídos em água, na proporção em torno de 6% de sólidos totais (ST), uma vez que, para Lucas Jr (1994) e Augusto (2007), 6% é a concentração ideal para biodigestão de resíduos agrossilvopastoris.

As análises do teor de sólidos do presente no resíduo seguiram a metodologia da APHA (2002), chegou-se ao percentual médio de 30% de material sólido nos dejetos, valor similar com os citados por Lucas Jr (1994), Augusto (2007) e Gomes *et. al.* (2010) que apontaram um teor de umidade de 70%, 60%-80% e 70-75%, respectivamente. A tabela 12 mostra a relação de material sólido e água adicionada ao substrato do experimento de biodigestão em estudo, seguindo as proporções apresentadas em Augusto (2007) e Lucas Jr. (1994).

Tabela 12: Fração de material sólido e adição de água.

Dejetos (kg)	Matéria Solida (%)	Matéria Sólida (kg)	Água Adic.(kg)	Sólidos (%)
3	30,00%	0,90	12	6,0%

Para assegurar uma mistura homogênea do substrato, foi utilizado um liquidificador residencial para este fim. As figuras 32 e 33 mostram o substrato homogeneizado afluente do reator.



Figura 32: Substrato homogeneizado



Figura 33: Manuseio

As figuras 34 e 35 mostram a descarga do efluente após o TRH de 30 dias.



Figura 34: Retirada do efluente após TRH



Figura 35: Manuseio

3.3.2 Segundo Experimento (E2) - Biodigestor com Controle Térmico e Agitação por Circulação Forçada.

O aparato biodigestor utilizado no experimento foi o mostrado na figura 15b, instalado de acordo com as figuras 22 e 23. É um aparato com controle térmico experimental e com sistema de agitação por circulação forçada por bomba de recalque.

A carga no biodigestor foi feita com os dejetos do galpão de postura número 3, com os mesmos tipos de aves, alimentadas com o mesmo tipo de ração e procedimentos de coleta, manuseio e homogeneização idênticos ao anteriormente citado.

A fração de sólidos e sua diluição em água seguiu o mesmo critério do experimento E1, como mostrado na tabela 13.

O biodigestor e gasômetros foram instalados na área externa ao LABRES, onde foi disponibilizada uma tomada de energia para alimentação dos dispositivos térmicos e de circulação forçada.

A figura 36 mostra a instalação do aparato em área externa ao laboratório.



Figura 36: Aparato Biodigestor e Gasômetro - Experimento 2

A temperatura foi ajustada para 36°C e o aquecimento do substrato foi feito por meio de resistência blindada dentro do aparato, controlado por termo controlador e a agitação ocorria por 15 minutos a cada 02 horas, por meio do uso de um temporizador programado para tal. Após o sexagésimo dia o experimento foi transferido do LABRES do IRN UNIFEI para a cidade de Itanhandu e foi instalado em galpão coberto e fechado, em bancadas apropriadas, para fins de acompanhamento diário de produção.

3.3.3 Terceiro Experimento (E3) - Biodigestor com Controle Térmico sem Agitação

No terceiro experimento foram utilizados os aparatos biodigestores e gasômetros mostrados nas figuras 24, 25 e 26. O fato de serem biodigestores menores, com 3,3 litros, permitiu mais fácil manipulação, uso de menos resíduos, maior controle de parâmetros como temperatura, pH, leituras de gasômetro e minimização de vazamentos.

A carga em batelada no biodigestor foi feita com os dejetos do galpão de postura número 3, com os mesmos tipos de aves, alimentadas com o mesmo tipo de ração e procedimentos de coleta, manuseio e homogeneização idênticos aos anteriormente citados, porém, todo o manuseio, homogeneização e carga foram feitos na cidade de Itanhandu.

Foram feitas três diluições, nas frações de 6%, 9% e 12% de sólidos no substrato. A tabela 13 mostra o teor de resíduos, água e inóculo utilizados e a fração de sólidos.

Tabela 13: Frações de Diluição Substrato

Amostras	Dejetos (kg)	Inóculo (kg)	Água (kg)	Total (kg)	Teor ST(kg)	Teor ST (%)
Substrato A12	1,30	0,13	1,90	3,33	0,39	12%
Substrato A9	1,00	0,10	2,21	3,31	0,30	9%
Substrato A6	0,66	0,07	2,55	3,28	0,20	6%

Os substratos foram submetidos à biodigestão anaeróbia à temperatura média de 36°C. Para isso, os biodigestores foram acondicionados em um recipiente com isolamento térmico com aproximadamente 15(L) de água, aquecida à temperatura citada por meio de resistência de imersão com termostato.

3.3.4 Tabela com Dados dos Experimentos

A tabela 14 consolida os dados sobre local, tipos de biodigestores, gasômetros, volumes, uso ou não de controles térmicos e agitação que foram utilizados em cada experimento.

Tabela 14: Dados consolidados do Experimento E3

Identificação e localização			Biodigestor			Resíduo		Gasômetro	
Ident.	Cidade	Local	Térmico	Agitação	Vol. (L)	Est. (kg)	ST %	Tipo	Vol. (L)
E1	Itajubá	LABRES	não	manual	20	3	6	col. água	10
E2	Itajubá	LABRES	sim	circulac.	20	3	6	col. água	20
E2	Itanhandu	Galpão	sim	circulac.	20	3	6	col. água	20
E3-6A	Itanhandu	Galpão	sim	sem	3,3	0,6	6	tubular	2,1
E3-9A	Itanhandu	Galpão	sim	sem	3,3	1,0	9	tubular	2,1
E3-12A	Itanhandu	Galpão	sim	sem	3,3	1,3	12	tubular	2,1

3.4 Análise e Quantificação do Biogás

O volume do biogás é determinado pela multiplicação da altura da coluna d'água, pela área da seção transversal interna do gasômetro. No experimento E1 descrito no item 3.1, foi utilizado o gasômetro com uma área interna de 396,971 cm² e altura máxima de 27 cm, podendo armazenar um total de 10,7 litros de gás.

Para o experimento E2, foi utilizado o gasômetro com uma área interna de 535,07 cm² e altura máxima de 38 cm, podendo armazenar um total de 20,0 litros de gás. Para o

experimento E3, foram utilizados três gasômetros com área interna de 18,095 cm² (tubos de PCV com 5,0 cm de diâmetro) com capacidade para 2,1 litros.

As medições e correções de volume do biogás produzido seguraram as leis de Boyle e Gay-Lussac, conforme proposta de Caetano (1985). Para este estudo, levou-se em conta as condições de pressão e temperatura de 1 atm e 20^oC e as condições locais de Itajubá. Da combinação das leis de Boyle e Gay Lussac, resultou a equação (4)

$$\frac{V_o P_o}{T_o} = \frac{V_1 P_1}{T_1} \quad (4)$$

Onde:

V_o = Volume corrigido (m³);

P_o = Pressão corrigida do biogás para 1 ATM – 10.332,72 mmH₂O;

T_o = Temperatura corrigida do biogás para 20^oC – 293,15 K;

V₁ = Volume do biogás no gasômetro;

P₁ = Pressão do biogás no momento da leitura; sendo a pressão atmosférica média de Itajubá no período (10413,86 mmH₂O) somada à pressão adicionada pelo gasômetro (37,013 mmH₂O);

T₁ = Temperatura do biogás no momento da leitura em Kelvin.

A partir da equação 4, deduziu-se a equação 5.

$$V_o = \frac{V_1}{T_1} \times 296,515 \quad (5)$$

No instante da medição do gás, é registrada a temperatura T1 do termopar tipo K, localizado no interior do gasômetro, com o uso de um termômetro digital e o deslocamento da coluna d'água em cm.

A segunda fase do experimento E2 foi realizada na cidade de Itanhandu. Desta forma, a correção do gás levou em conta os dados de temperatura e pressão locais:

P1 = Pressão do biogás no momento da leitura; sendo a pressão atmosférica média de Itanhandu no período (9187,45953 mmH₂O) somada à pressão adicionada pelo gasômetro (55,0 mmH₂O);

T1 = Temperatura do biogás no momento da leitura em Kelvin

A partir da equação 4, deduziu-se a equação 6.

$$V_0 = \frac{V_1}{T_1} \times 292,414 \quad (6)$$

O biogás armazenado no gasômetro foi retirado por uma válvula de compressão e acondicionado em recipientes apropriados, normalmente *bags* e/ou câmaras de borracha. Boa parte dos gases produzidos e armazenados após a primeira carga foi perdida em função do supracitado. Uma amostra de 100 ml foi submetida ao analisador gases marca Instrutherm modelo DG-500 para a detecção de 04 gases.

A partir do experimento E3, foi possível fazer uma análise da composição do biogás por meio do analisador de gás GEM5000 (n.º. serie 501944), fabricado pela empresa LandTec. A análise era efetuada sempre que o gasômetro tubular estava com carga total. A cada medição, era fechada a válvula de saída de gás do biodigestor, acoplado à válvula de amostra/purga do gasômetro um adaptador, que posteriormente era conectado à porta de medição do analisador.

Ao final, foi feita uma análise correlacionando a temperatura do substrato, o teor de sólidos da mistura e um possível aumento na produção de biogás. Com o auxílio do programa aplicativo minitab14, o resultado do somatório da produção de biogás em cada faixa de temperatura com seus respectivos teores de sólidos.

3.5 Análises Laboratoriais do Substrato Afluente e Efluente

As análises e caracterização do substrato, tem a finalidade de quantificar o teor de sólidos, material orgânico e as reduções de matéria orgânica antes e após a biodigestão. As análises foram realizadas no LABRES, de acordo com a metodologia preconizada pela *American Public Health Associations* (APHA), encontrada em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2002). Foram feitas as seguintes análises do substrato afluente antes do processo de biodigestão e do efluente, após a biodigestão:

- Sólidos Totais (ST) para determinar a concentração em mg/L de sólidos totais;
- Sólidos Totais Voláteis (STV) para determinar a concentração em mg/L de sólidos voláteis (fração orgânica);
- Teor de Nitrogênio para determinar a concentração em mg/L de nitrogênio;
- Teor de Carbono Orgânico Total (COT), para definir a fração de carbono em mg/L. A análise de COT foi feita por meio de leitura direta no analisador Multi N/C 2100S, com uma diluição 1/50.000 em função de limites do medidor.

- Demanda Química de Oxigênio (DQO), para determinar o oxigênio consumido para degradação química do material orgânico presente no substrato;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), para definir o oxigênio consumido para degradação bioquímica do material orgânico presente no substrato.

A análise do potencial Hidrogeniônico (pH) foi feita de acordo com APHA (2002), utilizando-se do phmetro marca Inolab Level 3.

3.6 Cálculo do Biogás, Potência Útil e Energia Disponível.

A partir do conceito termodinâmico relacionado a trabalho e potência útil, no qual, $01W(Watt) = \frac{01J(joule)}{01(seg.)}$, é possível calcular a potência útil teórica do biogás convertido em energia elétrica, de acordo com a equação 7 da potência útil, adaptada de Barros (2012):

$$P.u = \frac{Q.bg.dia \times PCI.CH4 \times E \times \eta}{T} \quad (7)$$

Onde:

P.u. = potência útil em Megawatts;

Q.bg.dia = quantidade de biogás produzido por dia em m³;

$$Q.b.dia = Q.aves \times 0,14 \times 0,30 \times 0,36 \times \% CH_4$$

Onde :

Q.aves = número de cabeças de aves;

0,14 = massa de esterco.dia.ave⁻¹ (kg);

0,30 = teor % de matéria seca presente no esterco;

0,36 = volume de biogás.dia/kg de ST (m³);

% CH₄ = 0,63% (medição média do experimento E3 6A)

PCI CH₄ = poder calorífico inferior do biogás purificado em MJ/m³ CH₄. (37 MJ / m³);

E = perdas do sistema;

η = eficiência do sistema (adimensional MCI); utilizado 33% (Bove e Lunhi 2006)

T = tempo de operação do sistema (em segundos).

Levando-se em conta a distribuição de propriedades rurais por tamanho e número de cabeças de aves, como mostrado na tabela 4, foram divididas em propriedades enormes com mais de 500 mil aves, grandes com 300 mil aves, média com 100 mil aves, pequena com 50 mil aves, mínima com 30 mil aves e familiar com 10 mil aves e a quantidade de dejetos

produzidos por ave. dia⁻¹, que segundo Lucas Jr e Santos (2005) fica em torno de 0,14 kg, e o potencial para a produção de biogás, que no experimento E3 ficou em torno de 0,36 m³ / kg de sólido, utilizando-se de grupos motores geradores com eficiência teórica em torno de 33% (sem o aproveitamento de calor residual) foi feito o cálculo teórico de potência útil para cada estrato de grupo de propriedades, como mostrado na tabela 15.

Tabela 15: Potência útil teórica por tipo de propriedade

Propriedade	Qtde	Resíduo (kg.dia)	ST (kg.dia)	Biogás (m ³ .dia)	CH ₄ (m ³)	Potência (MW)
Enorme	30	70.000	21.000	7.560	4.763	0,606
Grande	242	42.000	12.600	4.536	2.858	0,363
Media	267	14.000	4.200	1.512	953	0,121
Pequena	322	7.000	2.100	756	476	0,061
Minima	780	4.200	1.260	454	286	0,036
Familiar	1813	1.400	420	151	95	0,012

Multiplicando-se a potência útil gerada por cada grupo, pela quantidade de propriedades, chega-se ao potencial para a geração de 189 MW de eletricidade distribuída, nas áreas rurais onde se encontram as granjas.

Comparativamente, aplicando-se a metodologia para cálculo de biogás proposta por Coelho (2008), mostrada na equação 8, teremos as potencias uteis mostradas na tabela 16, de acordo com programa aplicativo Efluentes 1.0 da CETESB (2006):

$$\text{Metano} \left(m^3 \frac{CH_4}{\text{ano}} \right) = (Et \times P_{biogas} \times \% CH_4 \times Me^{-1}) \quad (8)$$

Onde:

Et: esterco

Pbiogas: produção de biogás [kg biogás / kg de esterco]

% CH₄: concentração de metano no biogás [%]

Me: massa específica do metano [kg / m³] sendo igual a 0,67 [kg / m³], CETESB (2006).

Levando-se em conta os valores observados no experimento E3 e o método para estimativa de vazão de metano mostrado na equação 9, presente no algoritmo do programa aplicativo Efluente (1.0) Cetesb (2006), a tabela 16 mostra os resultados obtidos pelo experimento e pelo programa aplicativo.

Tabela 16: Comparação produção de biogás e potência útil (Experimento E3 6a *versus* Efluentes 1.0 CETESB (2006)).

Grupos de Propriedades por Tamanho	Experimento E3 6a		Aplicativo Efluentes 1.0 CETESB (2006)	
	CH ₄ (m ³)	Potência (MW)	CH ₄ (m ³)	Potência (MW)
Enorme	4763	0,606	4524	0,614
Grande	2858	0,363	2711	0,368
Media	953	0,121	900	0,122
Pequena	476	0,061	449	0,061
Mínima	286	0,036	265	0,036
Familiar	95	0,012	88,5	0,012

Verifica-se que os valores encontrados em volume de metano e potência útil são parecidos, levando-se em conta que a Pbiogas utilizada nos cálculos do programa aplicativo efluentes, foi atualizada de acordo com o experimento E3 6a, que foi de 0,07238 kg CH₄/ kg esterco sólido.

No entanto, vale ressaltar, que para as especificações de grupos motores geradores muitos fabricantes utilizam como referência a vazão por período (hs) expressa em Nm³, para fins de parametrização.

Para estudo de viabilidade econômica por grupos de aviários, foi utilizada a tabela 15 para o cálculo de energia disponível.

A energia disponível é definida como um produto da potência fornecida por um sistema, pelo seu tempo de operação, sendo o fator de capacidade a relação entre a potência média fornecida e a capacidade máxima do suprimento de energia. A equação 9 é a base para o cálculo da energia fornecida. Equação segundo Marques (2001)

$$E = P * FC * 8760 \quad (9)$$

Onde:

E = Energia (MW h);

P = Potência Útil (MW);

FC = Fator de capacidade (%)

8760 = 24 horas x 365 dias.

Levando-se em conta a necessidade de paradas programadas para manutenção do motor de combustão interna e grupo gerador, conservadoramente, para a análise econômica, foi

utilizado FC=70%, valor menor que o normalmente utilizado para usinas termoeletricas movidas a biogás, que ficam em torno de 90% de acordo com a CETESB (2006).

3.7 Emissões de carbono evitadas pela queima e eletricidade gerada.

Levando-se em conta as emissões de GEE, expressas em CO₂ equivalente (CO₂eq), em função da combustão estequiométrica completa do biogás, na câmara de combustão do MCI, bem como do excedente nos queimadores e, pela eletricidade gerada, o cálculo de emissões evitadas em toneladas de CO₂eq seguiu a metodologia do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) 2006 de acordo com a equação 10:

$$ECO_2eq = ECO_2 + 21 \times ECH_4 + 310 E N_2O + \sum_{i=1}^n (PAG \times HCF_i) \quad (10)$$

Onde:

$E CO_2 eq$ = Emissão total em dióxido de carbono equivalente (t);

$E CO_2$ = Emissão total de dióxido de carbono (t);

21 = Potencial de Aquecimento Global do metano em 100 anos;

$E CH_4$ = Emissão total de metano (t);

310 = Potencial de Aquecimento Global do óxido nitroso em 100 anos.

$E N_2O$ = Emissão total de óxido nitroso (t);

PAG = Potencial de Aquecimento Global do fluido refrigerante HFC do tipo i;

HFC = Emissão Total de Fluido refrigerante HFC do tipo "i"

Para o cálculo de emissões evitadas pela eletricidade gerada, foi levado em conta o valor médio de emissões em tCO₂eq, pela geração elétrica na matriz energética no sistema interligado nacional (SIN), que em 2014 foi inventariado em 0,1355 tCO₂eq / MWh, segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2014).

3.8 Cálculos econômicos

Para a análise de viabilidade econômica, foi feita uma simulação computacional, utilizando-se do programa aplicativo Efluentes (1.0) da Cetesb (2006), para a quantificação dos equipamentos utilizados no processo de biodigestão anaeróbia: tanques e gasômetros, tubulações, compressores, filtros de CO₂ / H₂S, queimadores e MCI e, seus respectivos custos

Adicionalmente, para o dimensionamento dos tanques digestores foi utilizado um TRH de 30 dias, com teor de 6% de sólidos totais no substrato, o que representou a adição de 80% de água.

Os custos dos equipamentos foram atualizados de acordo com o Banco Central do Brasil em 72,29% pelo índice IGP DI e são mostrados na tabela 17. Esses custos correspondem aos investimentos necessários em cada potencia útil calculada e mostrada na tabela 16.

Tabela 17: Estimativa de investimentos por tamanho de propriedade
Estimativa de investimentos (mil R\$)

Propriedade	Tanque /Gasômetro	Sistema /Coleta	Filtros			Motor Gerador	Obra eng. e Conexão	Total
			Flare	H ₂ S/CO ₂	Compressores			
Enorme	1.629	22	17	612	175	1.139	407	4.001
Grande	977	22	17	368	105	684	246	2.419
Media	326	22	17	112	32	208	81	798
Pequena	163	22	17	122	35	227	71	657
Minima	101	22	17	36	10	67	28	281
Familiar	33	22	17	14	3	22	12	122

Fonte: Adaptado do Programa aplicativo Efluentes 1.0 CETESB (2006) corrigido segundo o Banco Central do Brasil (BACEN), pelo índice IGP-DI

O cenário de tempo para a simulação econômica foi de 10 anos, levando-se em conta que a energia foi disponibilizada ao sistema interligado, segundo o preço médio do leilão A5 de energia nova da Câmara de Comercialização de Energia (CCEE) de 30 de abril de 2015, pelo valor médio de R\$ 278,45 por MWh. (CCEE, 2015)

Levando-se em conta a busca da viabilidade econômica para a geração de energia elétrica em aviários de postura, as simulações foram feitas nos regimes de tributação Lucro Real e Lucro Presumido.

Segundo a empresa Thymos Energia (2015), a incidência dos impostos sobre esse tipo de fonte de renovável é mostrada na tabela 18.

Tabela 18: Incidência de impostos, taxas e alíquotas – Lucro Presumido

Descrição Imposto	Alíquota	Base Cálculo
Imposto de Renda Pessoal Jurídica (IRPJ)	15%	8% Receita
Contribuição Social Lucro Líquido (CSLL)	9%	12% Receita
Programa de Integração Social (PIS)	0,65%	Receita
Contribuição para Financiamento Seguridade Social (COFINS)	3%	Receita
Descrição Encargos Setoriais		
Taxa Fiscalização Serviços de Energia Elétrica (TFSEE)	0,50%	Receita
Taxa contribuição CCEE	isenção biomassa incentivada	
Taxa Uso Sistema de Transmissão / Distribuição (TUST / TUSD)	isenção biomassa incentivada	
Taxa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)	isenção biomassa incentivada	

Fonte: Thyos Energia (2015)

Para Lucro Real, foram considerados os mesmo encargos setoriais, com mudanças no cálculo e alíquota dos impostos IRPJ com alíquota de 25% e CSLL com alíquota de 9%, todos incidindo sobre o lucro.

Os seguintes cenários foram avaliados na simulação:

- C1: lucro real sem financiamento, com venda total de energia;
- C2: lucro real com financiamento, com venda total de energia;
- C3: lucro presumido sem financiamento, com venda total de energia;
- C4: lucro presumido com financiamento com venda total de energia;
- C5: lucro presumido sem financiamento com uso interno e venda de excedente de energia;
- C6: lucro presumido com financiamento, uso interno e venda do excedente de energia.

Para os cenários C5 e C6 foram considerados os seguintes dados:

- Consumo de energia por lote de 100 mil aves/ano igual a 76.560 MWh, de acordo com publicação da EMBRAPA feita por Giroto (2008);
- Custo do megawatt hora para áreas rurais classificação B2 fixado em R\$ 514,25 MWh, de acordo com dados da Companhia Energética de Minas Gerais. CEMIG (2015), mês de maio de 2015, bandeira vermelha, incluso PIS, COFINS e ICMS.

Os custos fixos e variáveis relacionados à manutenção do grupo motor gerador, sistemas de purificação, queimador e tanques de digestão anaeróbia, foram fixados em 23,7% da receita bruta. Percentual similar ao utilizado por Lindemeyer (2008) em estudo de caso no estado de Santa Catarina.

Para Lora e Haddad (2006), os custos variáveis relacionados ao MCI e grupo gerador ficam entre US\$0,007 a US\$0,015 / kWh, custos estes apropriados dentro do percentual supracitado.

As depreciações dos ativos seguiram os itens I e II da instrução normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998 da Receita Federal.

Para o cálculo do fluxo de caixa descontado, que é a base para a análise financeira das simulações, foi utilizado o modelo mostrado nas fórmulas de 11 a 16:

$$RBVE = (EG \times PE) + (EC \times TE) \quad (11)$$

Onde:

RBVE = Receita bruta da energia vendida (R\$);

EG = Energia gerada por ano (MWh / ano);

PE = Preço da energia (R\$ / MWh);

EC = Energia consumida (MWh / ano);

TE = Tarifa de energia rural (R\$ / MWh).

$$RLVE = RBVE - IP \quad (12)$$

Onde:

IP = Impostos proporcionais (R\$).

$$LB = RLVE - CT - ES \quad (13)$$

Onde:

LB = Lucro Bruto (R\$);

CT = Custos totais (custos fixos e custos variáveis) (R\$);

ES = Encargos setoriais da geração de energia (R\$).

$$LAIR = LB - DT - Dp - DJ \quad (14)$$

Onde:

LAIR = Lucro antes do imposto de renda (R\$);

DT = Despesas totais (despesas fixas e variáveis);

Dp = Depreciação dos ativos (R\$);~

DJ = Despesas com juros (R\$).

$$LL = LAIR - IRPJ - CSLL \quad (15)$$

Onde:

LL = Lucro líquido (R\$)

IRPJ = Imposto de Renda sobre o lucro (R\$);

CSLL = Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (R\$).

$$FCD = LL + Dp + AD - In + LFn + VR \quad (16)$$

Onde:

FCD = Fluxo de caixa descontado (R\$);

Dp = Depreciação dos ativos (R\$);

AD = Amortização de dívidas (R\$);

In = Investimentos (R\$);

LFn = Liberação de financiamento (R\$);

VR = Valor residual do investimento (R\$).

A análise de viabilidade financeira do projeto, foi feita utilizando-se dos conceitos de engenharia econômica, com os cálculos de valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), com taxa mínima de atratividade (TMA) de 15%, financiamento de 75% do capital investido em bancos de fomento pelo Sistema de Amortização Constante SAC, sem carência, com taxa de juros de 4,0% ao ano, pelo programa Inovagro do BNDES.

O VPL é foi calculado em função dos fluxos de caixas descontados trazidos a valor presente, de acordo com a equação 17.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FCD_t}{(1+i)^t} \quad (17)$$

A TIR é a taxa de desconto que iguala a zero os fluxos de caixa descontados no valor presente, como mostrado na equação 18.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{FCDn}{(1+i)^n} = 0 \quad (18)$$

O Período de Retorno do capital investido (PR) ocorre quando o somatório dos fluxos de caixa líquidos iguala a zero o valor do capital investido.

$$PR = \sum_{t=0}^T FC = I_0 \quad (19)$$

Para os investimentos em aproveitamento energético de resíduos, cuja potência útil e energia disponível, apresentaram viabilidade, ou seja, $VPL > 0$ e $TIR > TMA$, foi feita uma análise de sensibilidade, utilizando-se de Simulação de Monte Carlo, para minimizar as incertezas sobre os valores encontrados não atingirem as expectativas de VPL e TIR simuladas. Foram feitas variações na potência útil gerada, preço da energia vendida, percentual de custos totais sobre a receita e o fator de capacidade utilizado nas simulações. A tabela 19 mostra os parâmetros variados em cada simulação.

Tabela 19: Análise de sensibilidade à variação de alguns parâmetros críticos

Potência Instalada (kW)	Parâmetro a variar	Tipo Distribuição	Variação (%)		
			Mínima	Média	Máxima
606 a 12	Potência útil Instalada	Triangular	- 20,00	-10,00	1,00
	Tarifa Energia	Triangular	- 50,00	-25,00	1,00
	Custo Total	Triangular	-10,00	1,00	10,00
	Fator Capacidade	Triangular	- 10,00	1,00	10,00

4 Resultados e Discussões

4.1 Experimento (E1)

4.1.1 Análises Laboratoriais do Substrato Afluente e Efluente

Os resultados das análises de sólidos do afluente da primeira carga são mostrados na tabela 20.

Tabela 20: Análises do Afluente antes da Biodigestão

Amostra	Sólidos (mg/L)			DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
	Totais	Totais Voláteis	Totais Fixos		
1	35,039	12,871	22,167		146458
2	31,485	12,465	19,028	296900	146220
3	34,124	18,194	15,932		95495
Média	33,549	14,510	19,042	296900	129391,0

O valor medido com relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) no substrato antes da biodigestão foi de 6,77, após um período de 30 dias o valor caiu para 4,72. De acordo com Chernicharo (1997), a faixa de pH entre 6,0 e 8,0 é favorável para o crescimento de microrganismos produtores de metano. No experimento, observou-se que após aproximadamente, 30 dias, quando se registrou a redução do pH, a produção de biogás foi interrompida. Neste instante, foi adicionado ao substrato hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Segundo Alves (1984), o hidróxido de cálcio é indicado para a correção do pH de substratos destinados a biodigestão anaeróbia, em função do tempo de resposta rápido e seu baixo custo. A adição no substrato em estudo elevou o pH a 8,43 e por mais dois dias houve atividade fermentativa no reator.

A fração de carbono total (CT) do substrato afluente resultou em 29.8 mg/L e de carbono orgânico total (COT) em 25,23 mg/L e carbono de origem mineral, em 4,57 mg/L

A análise de nitrogênio do afluente para esse experimento em específico não foi feita devido indisponibilidade do bloco digestor TE 006/25 em uso no laboratório no período. Portanto, a relação carbono/ nitrogênio (C/N) da primeira carga de substrato afluente não pôde ser mensurada em função da falta de dados sobre o teor de nitrogênio do substrato.

Os resultados das análises de sólidos do efluente após a biodigestão estão na tabela 21.

Tabela 21: Análises do Efluente após Biodigestão

Amostra	Sólidos (mg/L)			DQO (mg/L)	DBO(mg/L)
	Totais	Totais Voláteis	Totais Fixos		
1	36,013	25,889	10,124	331430	180935
2	35,245	27,268	7,977		202187
3	34,179	21,588	12,591		151159
Média	35,146	24,915	10,231	331430	178093,66

A tabela 22 mostra a redução da carga orgânica após o TRH da biodigestão.

Tabela 22: Comparação Parâmetros Antes e Após a Biodigestão

Experimento E1			
Parâmetro	Entrada	Saída	Redução
Temperatura (°C)	24	23	-
pH	6,8	7,6	-
Sólidos Totais (mg/L)	33,549	35,146	4,54%
Sólidos Fixos (mg/L)	19,042	10,231	-86,12%
Sólidos Voláteis (mg/L)	14,51	24,915	41,76%
DQO (mg/L)	296900	33143	-126,22%
DBO (mg/L)	129391	178093	27,35%
Nitrogênio Total (mg/L)	-	1255	-
Carbono Orgânico Total (mg/L)	25,2	-	-

Verifica-se que concentração de ST do efluente é maior que a do afluente do biodigestor, e isso ocorreu devido à adição de 500 gramas de lodo de ETE após a terceira semana, conforme supracitado, tendo sido utilizado para inocular os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica no digestor. A explicação se comprova pelo teor de STV presentes no efluente, que tem 10,405 mg/L a mais que no afluente, uma vez que esta fração corresponde à parte orgânica de sólidos presentes na amostra.

A adição de lodo de ETE após a amostragem e as análises iniciais do substrato afluente comprometeram os resultados da redução da carga orgânica. Isso é verificado pelo aumento de ST, STV e da carga de orgânica em termos de DBO.

4.1.2 Produção de Biogás

A produção do biogás e sua quantificação volumétrica (L) e mássica (g) foram feitas por meio da medição vertical do deslocamento de coluna d'água no gasômetro. A figura 37 mostra os resultados da produção de biogás do experimento E1.

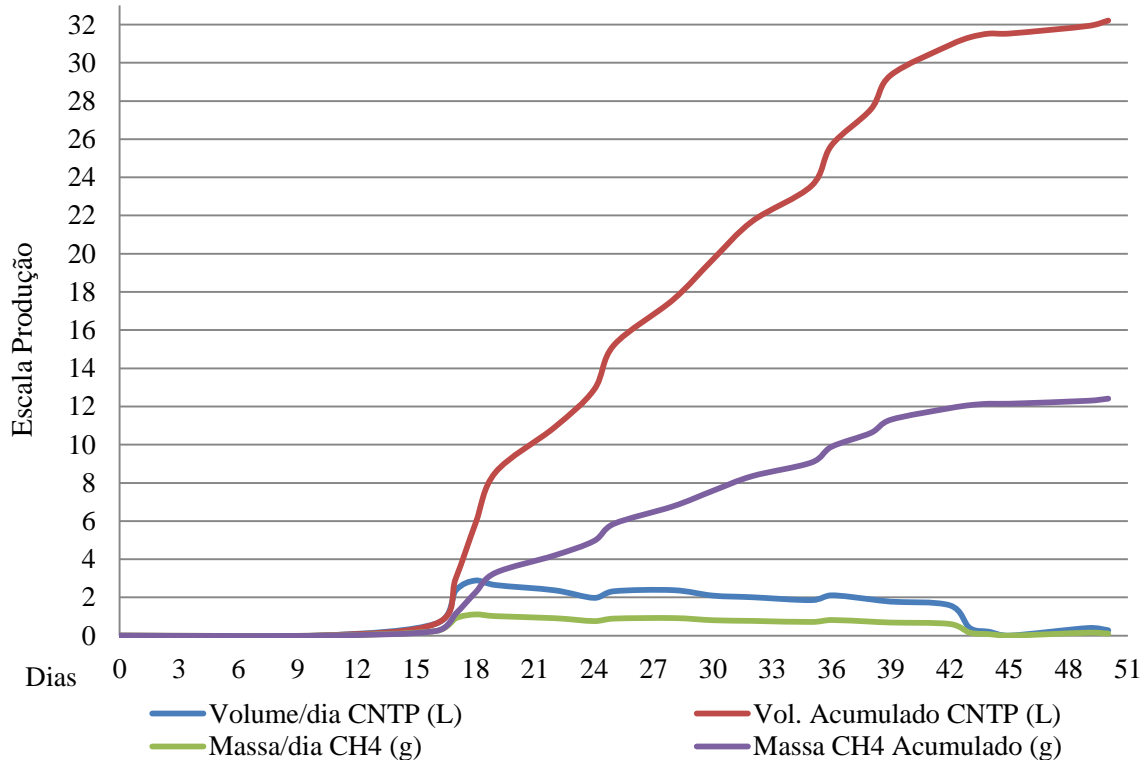


Figura 37: Volume de produção de biogás (L) e massa de metano (g) na CNTP

A tabela 23 mostra a produção de biogás relacionada ao experimento E1, por litro de substrato, quilograma de resíduo e sólido e, a comparação com a literatura.

Tabela 23: Comparação da produção de Biogás

Resultados	Biogás (m ³)					
	E1	Caetano (1991)	Steil (2002)	Primiano (2002)	Alfa (2014)	Farias <i>et. al.</i> (2012)
Substrato (L)	0,00215	0,28	0,024	0,019 a 0,024	0,017	0,0074
Resíduo (kg)	0,03598	0,12	-	0,1 a 0,12	0,035	
ST (kg)	0,003	-	-	0,31 a 0,37	0,51	
STA (kg)	0,0351	0,42	0,038	-		0,174
STV (kg)	0,143	0,52	0,54	0,46 a 0,56		0,241

Fonte: dados do experimento e literatura.

Os valores estão diferentes quando comparados a literatura, isso pode ser explicado em função TRH distintos, adição de biomassa residual com material orgânico ao dejetos, nutrientes presentes nos dejetos e em função de rações distintas e biorreatores mais eficientes.

Durante a primeira carga do biodigestor, alguns problemas como a perda de gás, constantes mudanças de bancada, falta de controle térmico e sistema de homogeneização manual, corroboraram para que os resultados não estivessem aderentes à literatura. Os valores encontrados no experimento E1 foram desconsiderados em função dos problemas ocorridos.

4.1.3 Análises de Biogás

Os resultados foram: 3% de H₂S, 13% de CH₄, 500 ppm de CO e O₂ inconclusivo. Os resultados diferem dos verificados por Monteiro *et al.* (2011), mostrados na tabela 4. Isso pode ser explicado em função do biogás coletado estar em fase inicial de produção (aproximadamente duas semanas). Segundo Galbiatti (2010), até o 43º dia após a carga dos biodigestores a uma alta produção de CO₂ tendendo a sua redução após 71º dia. Vale ressaltar que o medidor portátil utilizado, modelo DG-500 utilizados nas medições, são indicados para medir gases em espaço confinado e áreas de risco, não sendo adequado para uma análise precisa do biogás.

4.2 Análises Experimento (E2)

4.2.1 Análises Laboratoriais do Substrato Afluente e Efluente

Os resultados das análises de laboratório são mostrados na tabela 24.

Tabela 24: Análise do Afluente antes da Biodigestão

Amostra	Sólidos (mg/L)			DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
	Totais	Totais Voláteis	Totais Fixos		
1	66,972	38,675	28,297	48810	24871
2	68,773	43,781	24,992		
3	67,874	43,537	24,337		
Média	67,873	41,997	25,875	48810	24871

O valor de pH medido no substrato foi de 5,33, e vale ressaltar que a medição foi feita uma semana após a carga do biodigestor, isso corroborou para o fato de não ter havido produção de biogás nesse período. A acidez foi corrigida, adicionando-se 150 g de Ca(OH)₂, o valor do pH subiu para 8,5, dentro do parâmetro mencionado na literatura, conforme preconizado por

Chernicharo (1997) e Demirer e Chen (2004). Apesar da correção da acidez, não foi registrada qualquer produção de biogás; então, foi adicionado cerca de 1,0 (L) de lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Itajubá-MG, operada pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais).

Não foi feita a análise de carbono orgânico, pois o analisador não estava disponível para uso. A análise de nitrogênio total do afluente seguiu o método Kjeldahl com o uso do bloco digestor TE 006/25 e resultou em 933 mg/L. A relação carbono/ nitrogênio (C/N) do afluente não pode ser mensurada em função da falta de dados sobre o teor de carbono presente no substrato. Os resultados das análises do efluente após a biodigestão estão na tabela 25

Tabela 25: Comparação Parâmetros Antes e Após Biodigestão

Experimento E2			
Parâmetro	Afluente	Efluente	Redução
Temperatura (°C)	24	35	-
pH	5,3	6,5	-
Sólidos Totais (mg/L)	67,873	52,399	-22,80
Sólidos Fixos (mg/L)	25,875	20,169	-22,05
Sólidos Voláteis (mg/L)	41,998	32,230	-23,26
DQO (mg/L)	48810	6198	-87,30
DBO (mg/L)	24871	3380	-86,41
Nitrogênio Total (mg/L)	993	1336	34,54
Carbono Orgânico Total (mg/L)	-	-	-

No experimento E2, houve reduções significativas do teor de sólidos e carga orgânica presentes no substrato. No entanto, a redução não ocorreu de forma satisfatória, quando comparado aos valores apontados por Augusto (2007), Gomes e Cappi (2010) que foram da ordem de 58%, 72% e 24% para ST, STV e STF, respectivamente e de Chernicharo (2007), que foi da ordem entre 44% a 75%. Porém, mais próximos ao valor mínimo apontado por Sakar (2009), situado entre 30% a 75%. Ressalta-se que ainda há potencial de redução de sólido no substrato isso é explicado pelas diferenças TRH que em outros experimentos ficaram acima de 135 dias em biodigestão.

As reduções de carga orgânica medidas em DQO e DBO foram significativas ficando dentro dos valores apontados por Augusto (2007), de 80% de DQO e de 83% de DBO e um pouco acima dos valores de redução de DBO apontados por Chernicharo (2007) de 40% a 70% em lagoas anaeróbias e de 55% a 75% em reatores anaeróbios. No entanto, os valores ainda estão muito altos, em desacordo com a resolução CONAMA n.º 430/2011. O mesmo se

aplica ao nitrogênio, ainda presente no efluente, que teve seu teor aumentado em 34%. O aumento no teor do nitrogênio é esperado, em função da redução dos sólidos totais e carga orgânica.

4.2.2 Produção de Biogás

A figura 38 mostra os resultados da produção de biogás do experimento E2 em volume e massa, diário e acumulado.

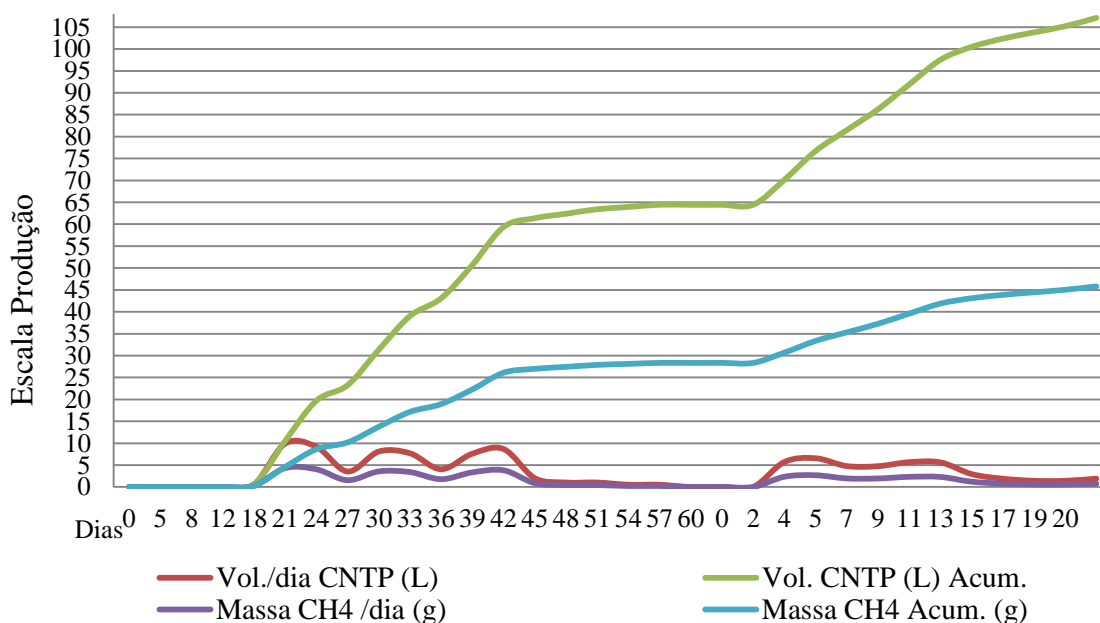


Figura 38: Volume de Produção Biogás Acumulado (L) e Massa Metano Acumulada (g) CNTP

A tabela 26 mostra a produção de biogás por litro de substrato, quilograma de resíduo e sólido e, a comparação com a literatura.

Tabela 26: Comparação da produção biogás

Resultados	Biogás (m ³)					Farias <i>et. al.</i> (2012)
	E2	Caetano (1991)	Steil (2002)	Primiano (2002)	Alfa (2014)	
Substrato (L)	0,00714	0,28	0,024	0,019 a 0,024	0,017	0,0074
Resíduo (kg)	0,0357	0,12	-	0,1 a 0,12	0,035	
ST (kg)	0,12	-	-	0,31 a 0,37	0,51	
STA (kg).	0,0915	0,42	0,038	-		0,174
STV (kg)	0,283	0,52	0,54	0,46 a 0,56		0,241

Fonte: dados do experimento e literatura.

As diferenças podem ser explicadas em função de TRH diferentes, adição de biomassa residual com matéria orgânica ao dejetos, nutrientes presentes nos dejetos, rações distintas e volumes de resíduos / substratos em biodigestão. No entanto, em comparação com o experimento de Faria *et. al.*(2004), os valores foram parecidos excetuando-se a produção por STA e produção maior por STV. Comparado a Alfa *et. al.* (2014), a produção de biogás por kg de resíduos foram similares.

Alguns problemas ainda ocorreram no segundo experimento, houve perda de gás na válvula do termopar e defeito no controle térmico, que não manteve a temperatura do substrato em torno de 36°C. Estes fatores corroboraram para que os resultados não estivessem aderentes à literatura. Porém, houve um ganho de produção com o novo biodigestor e seus sistemas, que podem ser comprovados pela quantidade gerada. Após a mudança do biodigestor para Itanhandu-Mg, foi possível corrigir os problemas citados, o que pode ser evidenciado pela temperatura mais estável em torno do esperado e pela quantidade de biogás produzida de 43 litros com TRH de 20 dias.

4.3. Experimento E3

4.3.1 Análises Laboratoriais do Substrato Afluente e Efluente

Os resultados das análises de laboratório do experimento E3 são mostrados na tabela 27.

Tabela 27: Análise Afluente antes da Biodigestão

Amostra	Sólidos (mg/L)			DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
	Totais	Totais voláteis	Totais fixos		
Substrato 6A	12.230	6.514	5.716	2.222,18	8107,7
Substrato 9A	15.395,99	9.040,85	6.351,43	2.985,28	2241,18
Substrato 12A	22.726	13.380	9.346	4.517,21	11165,9

Os valores do pH antes da biodigestão eram 6,92, 7,1 e 7,34, para os substratos 6a, 9a e 12a respectivamente. Segundo Chernicharo (1997), o pH ideal é entre 6,0 e 8,0. O que corroborou para que o pH ficasse estável durante todo o experimento, foi provavelmente a presença de calcário calcítico em pó e em grãos, na ração das aves. Segundo o técnico agrícola da granja, a adição de calcário se faz necessário para dar consistência à composição

da casca dos ovos. Já o calcário em grãos é adicionado quando as aves estão mais velhas, para facilitar a digestão dos nutrientes pelo aparelho digestivo das aves.

A fração de carbono orgânico total (COT) ficou em 8228 mg/L , 11696 mg/L e 14700 mg/L, para os substratos 6a, 9a e 12a, respectivamente .

A análise de nitrogênio total do afluente seguiu o método Kjeldahl com o uso do bloco digestor TE 006/25 e resultou em 716,8 mg/L, 1030,1 mg/L e 4368 mg/L para os substratos 6a, 9a e 12a, respectivamente. Portanto, a relação carbono/ nitrogênio (C/N) do experimento E3 resultou em 11,55/1, 11,35/1 e 3,37/1 para os substratos 6a, 9a e 12a, respectivamente. A relação C/N dos substratos ficaram abaixo do ideal que segundo Nogueira (1986), Santos *et. al.* (2004), Augusto (2007), Santos *et. al.* (2009) e Barros (2012) fica entre 25 a 30/1. No entanto, sem a adição de material orgânico adicional ou qualquer outro componente que aumentasse o nível de carbono na mistura, houve produção de biogás em todos os substratos, com menor produção para o substrato com E312a. Nos substratos E3 6A e E3 9A, a relação C/N foi maior que a verificada no experimento de Alfa *et. al.* (2014) 0,51/1; (Ataga, 2004 apud Augusto, 2007) 4/1 e Silva *et. al.* (2009) 5,8/1, exceto pelo substrato E3 12a com relação C/N menor.

Os resultados das análises do efluente após a biodigestão estão na tabela 28

Tabela 28: Comparação Parâmetros Antes e Após Biodigestão

Parâmetro	E3 6 ^a (mg/L)			E3 9 ^a (mg/L)			E3 12 ^a (mg/L)		
	Entrada	Saída	Red. (%)	Entrada	Saída	Red. (%)	Entrada	Saída	Red. (%)
Temp.(°C)	25	36	-	25	36	-	25	36	-
pH	6,92	7,99	-	7,1	7,98	-	7,34	7,95	-
ST (mg/L)	12230	6904	-43,5	15395,9	9135	-40,6	22726	18323	-19,3
STF (mg/L)	5716	3138	-45,1	6351,4	3885	-38,8	9346	6736	-27,9
STV (mg/L)	6514	3766	-42,1	9040,8	5250	-41,9	13380	11587	-13,4
DQO (mg/L)	2222,1	1285	-42,1	2985,2	1927,3	-36	4517,2	2346,5	-48,0
DBO (mg/L)	8107,7	1630,9	-79,8	2241,18	1582,2	-41,6	11165,9	10781,9	-3,5
N Total (mg/L)	716,8	582,4	-18,7	1030,09	649,6	-36,9	4368	1568	-64,1
COT (mg/L)	8282	2552	-69	11696	7310	-62	14700	14200	-3,40

No experimento E3, para os substratos 6A e 9A houve reduções significativas do teor de sólidos e carga orgânica presentes no substrato, muito próximas aos valores apontados por Augusto (2007), Gomes e Cappi (2010) da ordem de 58%, 72% e 24% para ST, STV e STF, respectivamente e de Chernicharo (2007), que foi da ordem entre 44% a 75%. Para o

substrato 12^a, os valores de redução de sólidos ficaram abaixo das referências. Ressalta-se que ainda há potencial de redução de sólido no substrato isso é explicado pelas diferenças TRH que em outros experimentos ficam acima de 135 dias em biodigestão.

As reduções de carga orgânica medidas em DQO e DBO foram significativas, porém, ficaram abaixo dos valores apontados por Augusto (2007), de 80% de DQO e de 83% de DBO e próximos dos valores de redução de DBO apontados por Chernicharo (2007) de 40% a 70% em lagoas anaeróbias e abaixo dos 55% a 75% observados em reatores anaeróbios. Vale ressaltar que nos experimentos de Augusto (2007) o TRH foi maior, o que ocasionou reduções mais significativas. No entanto, para o experimento E3, os valores ainda estão muito altos, em desacordo com a resolução CONAMA n.º. 430/2011 significa que ainda há material orgânico presente no resíduo e que novos tratamentos devem ser feitos para a sua redução

O mesmo se aplica ao nitrogênio, ainda presente no efluente, que teve seu teor diminuído em média de 40%, diferentemente do ocorrido com os experimentos E1 e E2. Havia uma expectativa de aumento no teor do nitrogênio em função da redução dos sólidos totais, carga orgânica e diminuição de carbono. No entanto, a redução de N deve-se a um provável aumento no teor de amônia livre no substrato, percebido pelo forte odor amoniacal e aumento do pH. Semelhante ao ocorrido nos experimentos de Costa *et. al.*(2006), no qual ocorreu a volatilização de amônia, levando a quedas significativas nos teores de nitrogênio do composto final. Segundo Chernicharo (1997) e Chen *et. al.* (2008), em altas concentrações os amoníacos são tóxicos aos microrganismos anaeróbios, em pH acima de 7,2.

4.3.2 Produção de Biogás

A figura 39 mostra a produção diária de biogás em litros por teor de ST e, a figura 40 o volume acumulado em litros e a massa de CH₄ acumulada em gramas, todos nas condições normais de temperatura e pressão.

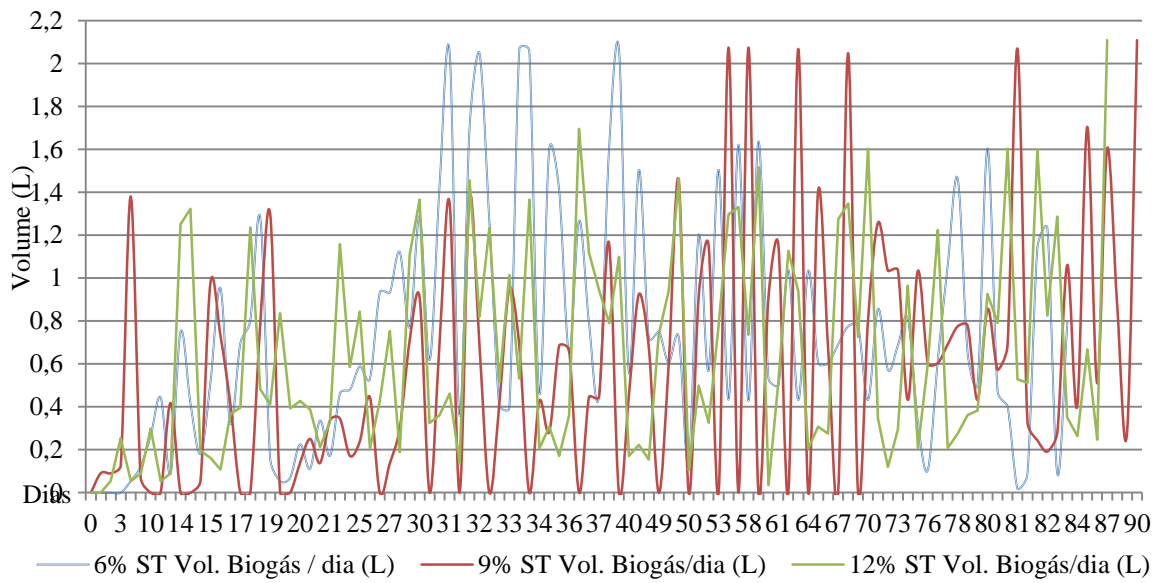


Figura 39: Volume de produção diária de biogás (L) em função percentual de ST.

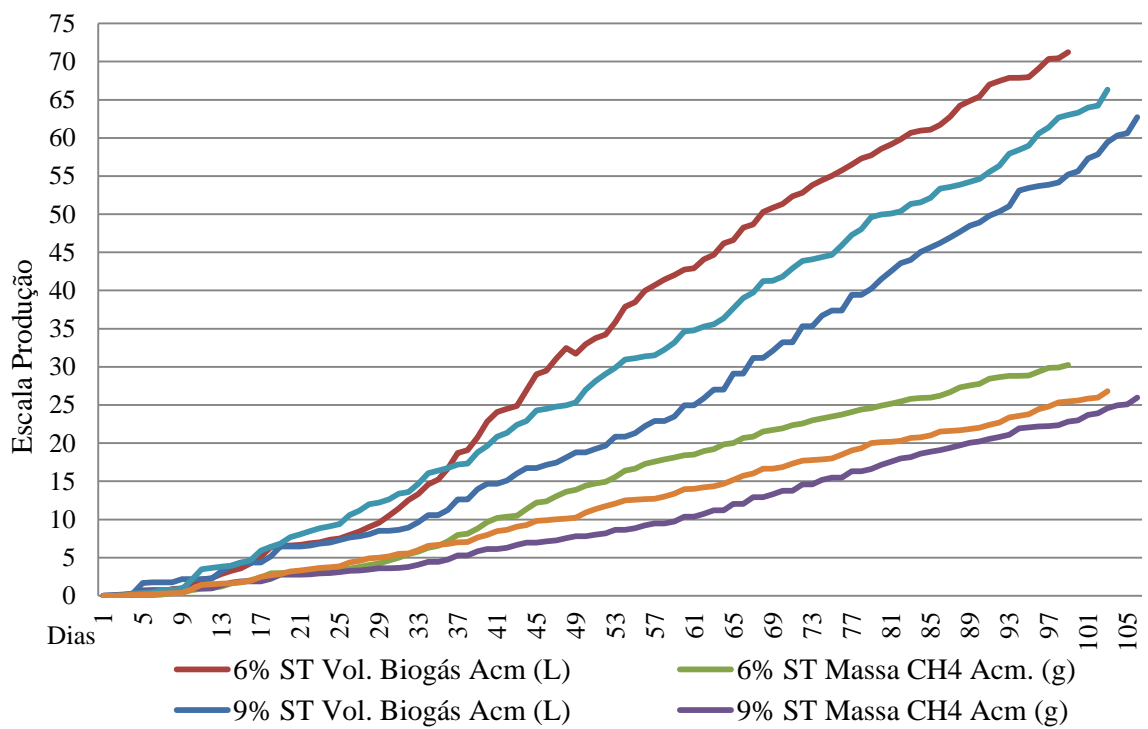


Figura 40: Produção acumulada de biogás (L) e CH4 (g) por % ST na CNTP

A tabela 29 mostra a quantidade de biogás produzida por substrato, resíduos e por sólidos, totais, adicionados e voláteis e, comparação com a literatura.

Tabela 29: Comparação da produção de biogás
Biogás (m³)

Resultados	E3 A6	E3 A9	E3 A12	Caetano (1991)	Steil (2002)	Primiano (2002)	Alfa (2014)	Farias <i>et. al.</i> (2012)
Substrato (l)	0,022	0,019	0,020	0,28	0,024	0,019 a 0,024	0,017	0,0074
Resíduo (kg)	0,108	0,063	0,051	0,12		0,1 a 0,12	0,035	
ST (kg)	0,36	0,21	0,17			0,31 a 0,37	0,51	
STA (kg)	0,35	0,20	0,16	0,42	0,032			0,174
STV (kg)	0,72	0,42	0,34	0,52	0,59	0,46 a 0,56		0,241

Fonte: dados do experimento e literatura.

Em condições mais controladas, esse experimento apresentou uma produção de biogás maior, comparado aos demais experimentos. Os valores de produção por substrato ficaram fora dos apontados por Caetano (1991); porém, muito próximos aos valores apontados por Steil *et. al.* (2002) e Primiano (2002 *apud* Augusto, 2007). Os valores por esterco (resíduo) ficaram fora da literatura nas diluições de 9% e 12% apontados por Caetano (1991), Steil *et. al.* (2002) e Primiano (2002 *apud* Augusto, 2007); isso pode ser explicado em função do TRH utilizado pelos autores que foi de 4,5 meses de biodigestão. Porém, os valores verificados no experimento, foram superiores aos verificados por Alfa (2014), exceto, pela produção por ST. E em todas as diluições, muito superiores aos valores apontados por Farias (2004). Para todos os índices o substrato A6 foi o que mais se aproximou das referências, até mesmo ultrapassando os valores apontados por algumas, levando-se em conta os diferentes tempos de retenção, nutrientes de rações e adição de material orgânico adicional ao substrato.

Para fins de estudos de fornecimento de potência útil e energia disponível, foi utilizado o valor por ST verificado no substrato A6.

4.3.3 Análises Produção de biogás por sólido total e temperatura de substrato

Foi feita uma análise correlacionando a temperatura do substrato, o teor de sólidos da mistura e um possível aumento na produção de biogás. A tabela 30 mostra os fatores e seus níveis e a quantidade de resultados em cada nível.

Tabela 30: Fatores e resultados

Fatores		Respostas
Faixa Temp. (°C)	% ST	N. resultados
15 a 20	6	4
	9	5
	12	4
21 a 25	6	5
	9	5
	12	9
26 a 30	6	20
	9	10
	12	17
31 a 35	6	18
	9	16
	12	36
36 a 40	6	48
	9	45
	12	53

Com o auxílio do programa aplicativo minitab14, o resultado do somatório das médias de produção de biogás em cada faixa de temperatura com seus respectivos teores de sólidos, cujos valores são apresentados nas figuras 41 e 42.

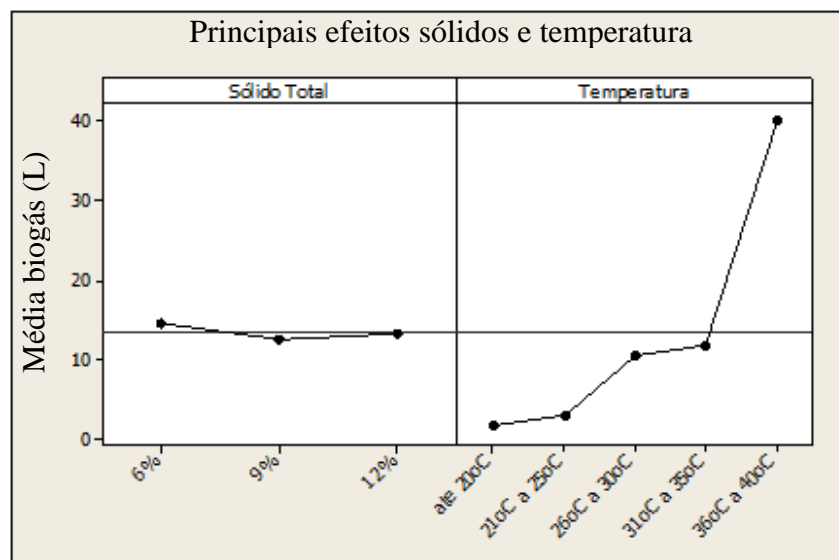


Figura 41: Média produção biogás (L) pelos fatores: sólidos e temperatura.

Verifica-se que as médias de produção de biogás são um pouco maiores para o substrato com 6% de sólidos. As médias de produção de biogás para temperaturas entre 15 graus a 35 graus mantiveram-se abaixo dos 13,7 litros.

A figura 44 mostra a produção de biogás por cada tipo de substratos e sua relação com a temperatura.

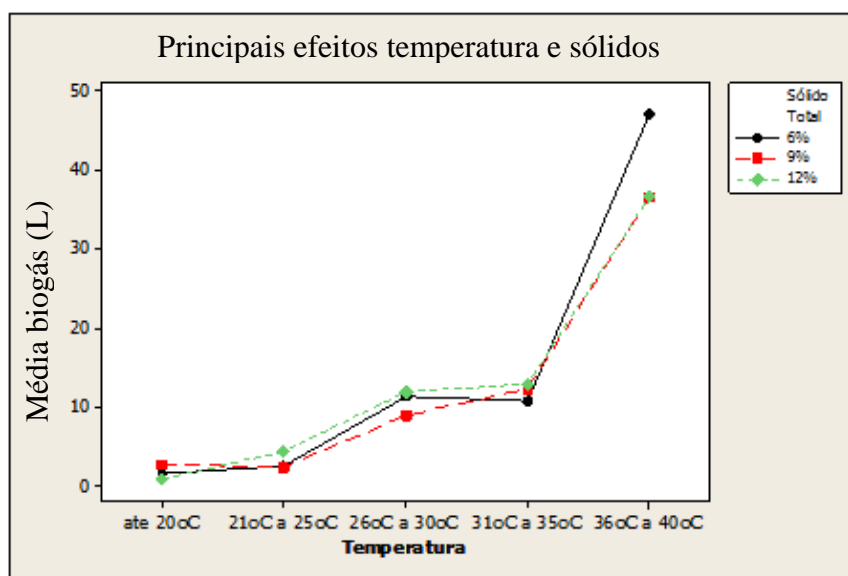


Figura 42: Produção média biogás por sólido *versus* temperatura

Analisando a tabela 30, fica evidenciado que na faixa de temperatura entre 36°C a 40°C, houve mais ocorrências / frequências de resultados, com destaque para o substrato com teor de 12% de sólidos. Já na figura 41, o substrato com teor de 6% de sólidos, apresentou maior produção de biogás, ainda que com menos ocorrências de resultados. De acordo com alguns autores, Lucas Jr. (2001), Caetano (1985) (1991) e Nogueira (1986), na maior parte de seus estudos, obtiveram a melhor produção da fase mesofílica com temperatura em torno de 36°C, com teor de ST variando entre 4 e 8%. Neste caso, este experimento foi iniciado em temperatura psicrófila, com baixa produção de biogás e mantido e finalizado em fase mesofílica. Em seus estudos, com reatores UASB, Luostarinen *et. al.* (2011) e Zhao (2011) e Zuo e Xing (2007) citam a produção na fase mesofílica em torno dos 20°C aos 40°C, com melhor produção aos 36°C, em média.

4.3.4 Análises da Composição do Biogás

A tabela 31 mostra o resultado das primeiras medições, logo após a carga do biodigestor com substrato A6 (6% ST).

Tabela 31: Composição do biogás em início de digestão anaeróbia.

Período	CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	Balanco
Início	7,69	70,98	2,96	18,36
3º dia	15,83	76,19	1,56	6,43
5º dia	14,70	68,37	3,27	13,67
7º dia	30,47	52,30	3,13	14,10
14º dia	38,77	55,33	0,30	5,60

Verifica-se que o teor de metano é baixo no início do processo e há uma alta concentração de dióxido de carbono na mistura. Isso ocorre devido ao substrato estar em fase de início de decomposição anaeróbia. Segundo Barros (2012), na fase anaeróbia não metanogênica ocorre um pico de produção de CO₂ e H₂, sem produção de metano. Na fase metanogênica instável, o teor de CH₄ aumenta de forma constante, com a diminuição do H₂ que é consumido pelas bactérias metanogênicas, sequencialmente, o CO₂ e N₂ são reduzidos a valores finais, com aumento do CH₄ na mistura. Isso pode ser evidenciado na tabela 24 a partir do sétimo dia. Vale ressaltar que a mistura de todos os gases presentes no biogás é mostrada na coluna Balanco. Isso significa, que quanto menor o percentual do balanco, mais precisa é a leitura das composições individuais dos gases presentes na mistura.

A tabela 32 mostra as concentrações mínima, máxima e média de metano, dióxido de carbono e oxigênio presentes no biogás do experimento.

Tabela 32: Concentração de metano e outros gases

%	Substrato 6% ST				Substrato 9% ST				Substrato 12% ST			
	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bal.	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bal.	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bal.
Mínima	49,2	19,6	0,1	3,3	43,9	6,7	3,0	19,6	66,2	7,5	0,9	7,6
Média	62,5	26,6	1,6	9,1	62,9	8,75	5,6	22,6	72,2	11,8	2,7	13,1
Máxima	70,9	32,3	7,6	23,1	68,8	14,8	16,9	29,9	77,6	15	5,8	20,5

Os valores medidos na composição do biogás produzido pelos substratos 6a e 9a possuem pouca diferença entre si, e estão muito próximos aos valores da literatura. Coelho (2008) estimou o percentual de metano no biogás a partir de dejetos de aves de postura em 60%. O biogás produzido no substrato A12 apresentou maior concentração de metano. De acordo com a literatura, o biogás produzido em biodigestores possui concentração maior de metano quando comparado aos gases produzidos em aterros sanitários. Os valores estão de acordo com os apontados por Monteiro (2011), que identificou o percentual de metano a partir de biodigestores entre 60% a 70%.

4.4 Cálculo de Energia Disponível

A tabela 33 mostra a energia disponível gerada por ano, que cada agrupamento de propriedades rurais pode disponibilizar para venda, uso ou ambos.

Tabela 33: Energia Gerada por propriedades e total

Propriedade	Qtde	Energia	Energia
		(MWh/Ano) Propriedade	(MWh/Ano) Total
Enorme	30	3.715	111.437
Grande	242	2.229	539.356
Media	267	743	198.358
Pequena	322	351	119.609
Mínima	780	223	173.842
Familiar	1813	74	134.690
		Total	1.277.293

Segundo a EPE (2014), foi gerada no país 570,02 TW h de energia elétrica no ano de 2013, sendo a maior parte de origem hidroelétrica. Com utilização da biomassa residual da avicultura de postura, há potencial para a geração de energia distribuída em áreas rurais, para ser utilizada ou vendida à concessionária. Energia renovável, limpa, de fácil despacho, e próxima a locais de consumo. Neste trabalho, conceitualmente foi possível gerar 1,27 TWh/ano de energia elétrica, que corresponde a 0,22% do que foi produzido no Brasil em 2013. Levando-se em conta um consumo médio familiar de 150 kWh /mês, com a energia gerada por essa biomassa, seria possível atender a 8,51 milhões de unidades de consumo durante 01 mês, ou 709.607 mil lares durante 1 ano.

4.5 Emissões em TCO₂eq Evitadas

Aplicando-se a metodologia do item 3,7 chega-se a ao total de 8.023.074 TCO₂eq / ano, evitado pela combustão estequiométrica completa do CH₄ no MCI e queimadores e a 38.439 TCO₂ eq / ano, pela geração de energia elétrica evitada ao sistema interligado. A tabela 35 mostra as emissões evitadas em cada tipo de propriedade e, no grupo de propriedades simuladas.

Tabela 34: Emissões em T CO₂ eq. pela queima de metano e eletricidade gerada

Propriedade	T CO ₂ eq / Ano / Prop. (Queima)	T CO ₂ eq / Ano / total (Queima)	T CO ₂ eq / Ano / Prop. (eletric.)	T CO ₂ eq / Ano/ total (eletric.)
Enorme	23.332,39	699.971,57	647,13	19.413,95
Grande	13.999,43	3.387.862,40	388,28	11.648,37
Media	4.666,48	1.245.949,39	129,43	3.882,79
Pequena	2.333,24	751.302,82	64,71	1.941,40
Mínima	1.399,94	1.091.955,65	38,83	1.164,84
Familiar	466,65	846.032,30	12,94	388,28
Total		8.023.074,13	Total	38.439,62

De acordo com a EPE (2014), as emissões em TCO₂eq, geradas pela eletricidade produzida e interligada ao SIN no ano de 2013, foi de 115 kg CO₂ / MWh. Levando-se em conta que a geração de energia no ano foi de 570,02 TWh, as emissões evitadas pelo aproveitamento energético dos resíduos da avicultura de postura, tanto pela queima do metano no motor de combustão interna, como pela eletricidade gerada / evitada, poderia reduzir em 9,1 % as emissões de CO₂ da matriz elétrica nacional.

4.6 Análises Econômicas

As tabela 35 e 36 mostram os valores VPL e TIR calculados em cada potência útil, de acordo com o regime tributário (lucro real ou presumido) e a presença ou não de financiamento.

Vale ressaltar que em duas simulações correspondentes ao cenário c5 e c6, foi levado em conta o uso da energia gerada para atender as necessidades de energia dos próprios empreendimentos, com a venda do excedente ao concessionário.

Tabela 35: Comparação TIR e VPL Regime Lucro Real *versus* Lucro Presumido e Presumido com Uso de Energia

Tributação.	Lucro Real				Lucro Presumido			
	Não		Sim		Não		Sim	
Financiamento.	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)
Potência (kW)								
606	12,4%	-574735	22,7%	660919	16,8%	399859	34,1%	1544951
363	12,1%	-375319	22,3%	371756	17,04%	277551	34,9%	968873
121	12,3%	-117372	22,7%	129080	12,7%	112051	35,4%	330677
61	6,2%	-291554	9,1%	-88648	9,3%	-198214	13,8%	-18217
36	10,0%	-74680	4,1%	-28789	12,9%	-34412	19,3%	13081
12	6,9%	-50202	10,5%	-12524	3,5%	-48555	16,1%	3024

Tabela 36: Comparação TIR e VPL Regime Lucro Real *versus* Lucro Presumido e Presumido com Uso de Energia – Continuação

Lucro Presumido Uso Interno			
Não		Sim	
TIR(%)	VPL(R\$)	TIR(%)	VPL(R\$)
17,5%	567648	36,4%	1712741
17,5%	347840	36,42%	1037270
18,2%	145534	37,7%	364160
9,9%	-177281	15,2%	3502
13,6%	-22059	24,0%	54926
10,9%	-27011	17,3%	6413

Analisando as tabelas 35 e 36, verifica-se que os investimentos no regime tributário de lucro real, sem financiamento, com uso de capital próprio, a TIR ficou muito abaixo da TMA (15%) e VPL negativo em todas as potências simuladas e, devem ser desconsiderados, pois não oferecem retorno adequado.

As figuras 43 e 44 mostram a TIR e VPL mais significativos de acordo com regime tributário e financiamento.

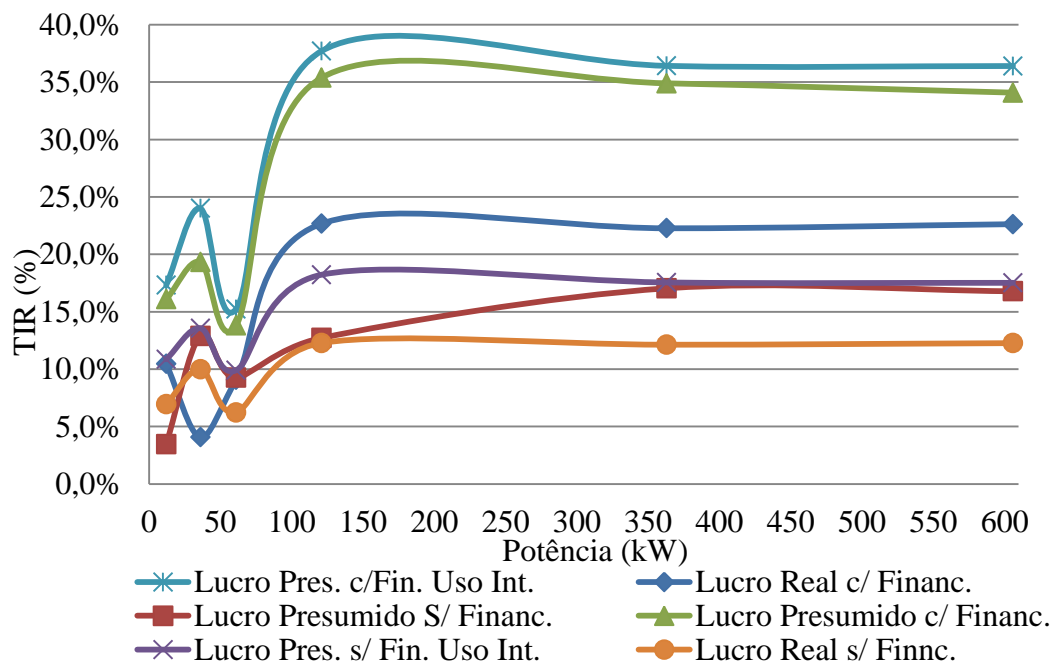


Figura 43: TIR por potência útil e modalidade tributária

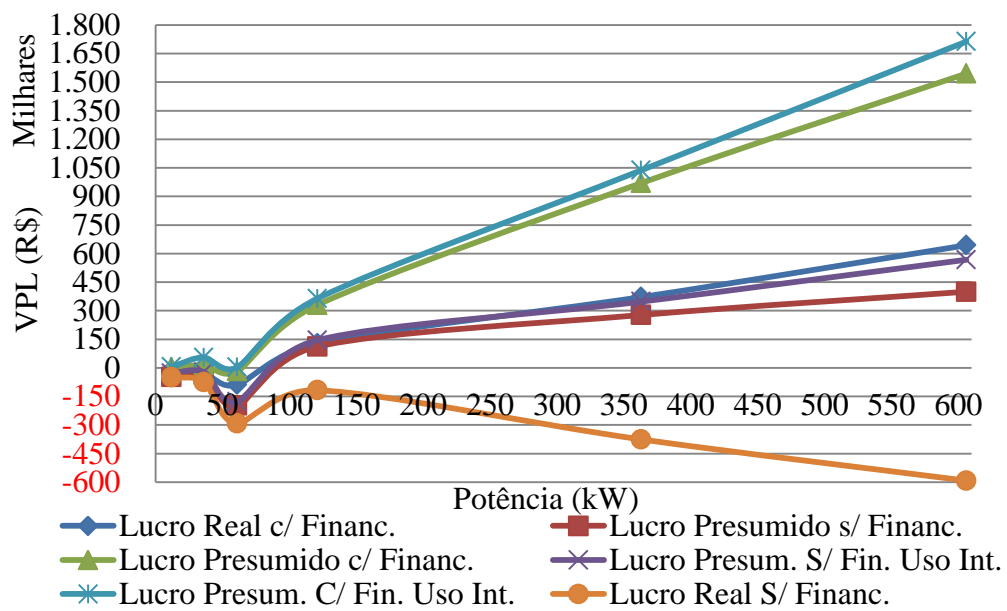


Figura 44: VPL por potência útil e modalidade tributária

Observando o gráfico das figuras 43 e 44 e, a tabela 36, verifica-se que os melhores retornos, com TIR e VPL maiores ocorrem no regime de lucro presumido com financiamento, uso interno da energia elétrica gerada e venda do excedente para a concessionária. No entanto, para a potência de 61 kW, ocorreu uma variação e depressão da TIR e VPL, isso é explicado em função dos investimentos apresentarem uma variação e incremento de 134% em relação a potência anterior, com um aumento de receita de 69%. O incremento da receita foi muito inferior aos investimentos. Ainda assim, a TIR e VPL para essa faixa de potência, na modalidade lucro presumido com uso interno de energia e venda do excedente, tem viabilidade econômica.

A tabela 37 mostra o tempo de retorno em anos, para cada investimento em geração.

Tabela 37: Tempo de retorno para os investimentos em cada potência

M. Trib..	Lucro Real		Lucro Presumido		Lucro Presumido. Uso Interno	
	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Finan.	Temp. Retorno	Temp. Retorno	Temp. Retorno	Temp. Retorno	Temp. Retorno	Temp. Retorno
606	7,3	13,6	5,7	10,9	5,5	10,4
363	12,1	13,7	5,6	10,6	5,5	10,4
121	7,3	13,6	5,5	10,5	5,2	10,1
61	11,2	20,0	8,0	17,1	8,6	16,4
36	8,5	15,8	7,2	12,4	6,8	13,1
12	10,6	19,7	8,3	15,0	8,1	15,4

Na tabela 37 observa-se que o tempo de retorno foi menor nas modalidades de lucro presumido sem financiamento, isso é explicado pela ausência de financiamento, que eleva o tempo de retorno para além do prazo de pagamento do capital, que na simulação é de 10 anos. No entanto, o tempo de retorno não deve ser o único indicador para a análise de viabilidade de investimentos. Na simulação os melhores retornos $TIR > TMA$ e $VPL > 0$ apresentaram tempo de retorno maior.

Levando-se em conta os riscos e incertezas relacionados à geração de energia elétrica, com a variação dos parâmetros mostrados na tabela 20 e a Simulação de Monte Carlo, feita para todas as potências que apresentaram viabilidade na modalidade tributária lucro presumido com financiamento, uso interno e comercialização do excedente, temos as seguintes probabilidades dos resultados atingirem os valores esperados:

- 606kW, probabilidade de $VPL > 0$ e $TIR > TMA$ ficou em 57% e 62% respectivamente;
- 363kW, probabilidade de $VPL > 0$ e $TIR > TMA$ ficou em 77% e 78% respectivamente;
- 121kW, probabilidade de $VPL > 0$ e $TIR > TMA$ ficou em 66 % para ambos;
- 61kW, probabilidade de $VPL > 0$ e $TIR > TMA$ ficou em 0,6% e 0,5 % respectivamente;
- 36kW, probabilidade de $VPL > 0$ e $TIR > TMA$ ficou em 5% para ambos;
-
- 12kW, probabilidade de $VPL > 0$ e $TIR > TMA$ ficou em 8% e 9% respectivamente.

Portanto, levando-se em conta o mercado ACR, com as tarifas médias praticadas no último leilão A5 da CCEE para biomassa e fontes incentivadas, é viável economicamente a utilização energética da biomassa residual da avicultura de postura para a geração de energia elétrica, em cada grupo de propriedades simuladas, porém, para minimizar os riscos e incertezas apenas para as granjas com mais de 100.000 aves apresentam boa probabilidade de certeza quanto ao retorno esperado. Isso é explicado, pois como apresentaram melhores retornos com TIR e VPL maiores, esses investimentos admitem maior variação na potência útil gerada, tarifas de energia, custos de operação e fator de capacidade.

5 Conclusão

Muitos estudos relacionados à produção de biogás por meio dos resíduos agrossilvopastoris e dejetos de animais foram feitos. Na literatura, há publicações sobre biogás a partir de suinocultura, avicultura de corte, bovinocultura e poucos estudos sobre biogás a partir de resíduos de aves poedeiras, sem adição de outros materiais orgânicos e / ou lignocelulósicos ao substrato. Neste sentido, o presente trabalho buscou através da experimentação analisar a viabilidade para a produção de biogás a partir exclusivamente, deste tipo de resíduo (de aves poedeiras), sobre determinadas condições de temperatura e percentual de sólidos totais presente nos substratos. Os experimentos de biodigestão anaeróbia foram feitos inicialmente na cidade de Itajubá e depois em Itanhandu, com a utilização de aparatos biodigestores com capacidade para 20 e 3,3 (L), alimentados com dejetos frescos, colhidos sempre do mesmo galpão automatizado de produção, ocupados com o mesmo tipo de ave poedeira, Hysex Brown, alimentadas com dois tipos de rações. Para agilizar a partida dos biodigestores, foi adicionado lodo de ETE como inóculo e aditivo de microrganismos anaeróbios produtores de metano. Foram feitos ao todo cinco experimentos, sendo os dois primeiros com 6% de ST e os três últimos com 6, 9 e 12% de ST.

O objetivo principal do experimento e estudo foi mensurar e quantificar o volume de biogás produzido, por quilograma de resíduo, ST, STA e STV e, em função do volume e qualidade do biogás, a viabilidade técnica e econômica para a sua conversão teórica em energia elétrica, por meio de motores de combustão interna e grupo gerador. A melhor produção foi de 0,36 m³ de biogás /Kg ST, com teor médio de metano de 63%.

Objetivos Específicos:

- Mensurar o volume e a composição de biogás que pode ser gerado por massa de resíduo, massa de sólido total e massa de sólido volátil;

Os volumes de biogás produzidos foram pequenos nos dois primeiros experimentos, comparados à literatura: 0,036 m³/kg resíduo, 0,03 m³/kg ST, 0,0351 m³/kg STA e 0,143 m³/kg STV no experimento 1 e; 0,036 m³/kg resíduo, 0,12 m³/kg ST, 0,0915 m³/kg STA e 0,283 m³/kg STV no experimento 2. No terceiro experimento, em condições mais controladas, houve maior produção de biogás em especial para o substrato com 6% ST: 0,108 m³/kg resíduo, 0,36 m³/kg ST, 0,35 m³/kg/STA e 0,72 m³/kg STV. O substrato com 9% ST: 0,063 m³/kg resíduo, 0,21 m³/kg ST, 0,20 m³/kg STA e 0,42 m³/kg ST. O substrato com 12% :

0,051 m³ /kg resíduo, 0,17 m³/kg ST , 0,16 m³/kg STA e 0,34 m³/kg STV. A partir do terceiro experimento, a produção de biogás ficou próxima aos resultados encontrados na literatura, com maior produção para o substrato com 6% ST. Portanto, a partir do E3, conclui-se que não é a quantidade de matéria orgânica, expressa pelo maior teor de ST , DQO e DBO presente no substrato, que produz maior quantidade de biogás;

Na relação produção biogás x temperatura, a maior produção foi registrada na faixa de 36°C aos 40°C, tanto em registros de frequências de leituras, quanto em produção. Foram 48 registros para o substrato E3 6A (6%ST), 45 para o substrato E3 9A (9%ST) e 53 para o substrato E3 12A (12%ST);

No experimento E3, as análises de composição do biogás, com o objetivo de quantificar o teor de metano, mostraram uma composição muito próxima aos valores verificados na literatura. Para o E3 6A os teores máximo, médio e mínimo de CH₄ foram: 70,9%, 62,5% e 49,2%; para o E3 9A foram: 68,8%, 62,9% e 43,9% e para o E3 12A foram: 77,6%, 72,2% e 66,2%. Embora, o teor de metano tenha sido maior no E3 12A, a produção menor de biogás (47%) comparado ao E3 6A, inviabiliza o uso desse substrato. A presença de dióxido de carbono CO₂ em maior percentagem no E3 6A e menores nos E3 9A e E3 12A, é explicada em função do menor percentual de CH₄, comparado aos demais. Ou seja, o poder calorífico do biogás do substrato E3 6A é menor comparado aos demais, porém, é compensado pela maior produção de biogás;

- Calcular a potência útil convertida, a energia elétrica gerada e a viabilidade econômica do uso energético do supracitado resíduo;

Os aviários de postura foram agrupados pelo número de cabeças de aves criada em: enormes (500 mil), grandes (300 mil), média (100mil), pequena (50 mil), mínima (30 mil) e familiar (10 mil) e, a partir da massa de resíduos produzidos por dia, foram calculadas as potências e energia disponível. As potências (kW) encontradas foram: 606, 363, 121, 61, 36 e 12. Com FC de 70% as energias disponíveis (MWh ano) foram: 3.715, 2229, 743, 371, 223 e 74 respectivamente. Caso todos os aviários de postura utilizassem o resíduo para fins energéticos, seria possível agregar a matriz elétrica nacional 1,277 TW h ano, o que representaria 0,22 % de energia produzida em 2013;

As simulações para viabilidade econômica, foram feitas em seis cenários distintos, C1 a C6, com e sem financiamento público. O cenário mais promissor foi o C6, modalidade tributária de lucro presumido, uso interno da energia e venda do excedente, com

financiamento do capital investido. Nesse cenário, para todos os tamanhos de aviários, as simulações apresentaram viabilidade econômica com TIR acima da TMA e VPL positivo. Os resultados foram: granjas enormes 36,4% e R\$ 1.639.376 respectivamente; granjas grandes 35,9% e R\$ 1.019.204 respectivamente; granjas médias 37,7% e R\$ 364.160 respectivamente; granjas pequenas: 15,2% e R\$ 3.502 respectivamente; granjas mínimas 24 % e R\$ 54.926 respectivamente e granjas familiares 17,3% e R\$ 6.413 respectivamente. Adicionalmente foi feita uma simulação de Monte Carlos, variando alguns os parâmetros preço da tarifa, energia produzida, fator de capacidade e percentual de custos totais (operação e manutenção), com vistas a minorar riscos da TIR ser menor que TMA e VPL menor que zero. As probabilidades encontradas foram: 606kW, probabilidade de VPL>0 e TIR > TMA ficou em 57% e 62%; 363kW, probabilidade de VPL>0 e TIR > TMA ficou em 77% e 78% ; 121kW, probabilidade de VPL>0 e TIR > TMA ficou em 66 % para ambos; 61kW, probabilidade de VPL>0 e TIR > TMA ficou em 0,6% e 0,5 %; 36kW, probabilidade de VPL>0 e TIR > TMA ficou em 5% para ambos, respectivamente. Os riscos relacionados a não se atingir os resultados positivos com TIR e VPL altos são menores para os aviários que possuem entre 100 mil a 50° mil aves;

- Adicionalmente analisar as frações de sólidos totais (ST), totais fixos (STF), totais voláteis (STV), DQO, DBO, do afluente antes e após a digestão anaeróbia e suas reduções, bem como o potencial de Carbono Orgânico Total (COT) presente no resíduo e a relação carbono /nitrogênio;

Levando-se em conta a quantidade de resíduos produzidos por este segmento, da ordem de 24000 toneladas dia, que se dispostos inadequadamente ou utilizados sem tratamento como fertilizantes, podem ser prejudiciais ao ambiente, contaminar corpos d'água, causar eutrofização e disseminar patógenos, a biodigestão anaeróbia contribui para a redução de sólidos totais, carga orgânica e agentes patogênicos presentes no resíduo. No experimento E2, as reduções de ST, DQO e DBO foram de 22,8%, 87,30% e 86,41% respectivamente. No Experimento E3, as reduções de ST, DQO e DBO foram de 43,5%, 42,1% e 79,8% para o substrato 6A; 40,6%, 36% e 41,6% para o substrato 9A e 19,3%, 48% e 3,5% para o substrato 12A. Os efluentes ainda apresentam cargas orgânicas e sólidas totais altas, necessitando de aumento no TRH e / ou, tratamento aeróbio para sua redução antes da disposição final. Vale ressaltar que os valores de DBO, ainda estão acima dos estabelecidos pela resolução 430/2011 CONAMA, para lançamento de efluentes, que é de 120 mg/L. Os valores após o TRH do experimento E1 apresentaram aumento no teor de ST, DQO e DBO, devido a adição de 500

gramas de lodo de ETE, após a análise inicial do substrato, portanto foi desconsiderado os resultados relacionados à redução destes parâmetros, na biodigestão anaeróbia desse efluente.

O teor de nitrogênio presente no substrato E2, teve um incremento de 34,51%, isso ocorreu devido a redução de sólidos e provável redução do carbono orgânico presente no substrato. No Experimento E3, houve redução do teor de nitrogênio da ordem de 18,7% , 36,9% e 64,1% para os substratos E3 6A, 9A e 12A respectivamente. Isso ocorreu devido à provável volatilização de amônia na forma de NH_3 no efluente. Em todos os casos, o teor de nitrogênio ainda está alto, em desacordo com a resolução 430/2011 CONAMA, que definiu o nível de nitrogênio amoniacal em 20 ml/L, para lançamento de efluentes. Há necessidade de tratamento adicional ao efluente para a disposição, ou possível uso agrícola como biofertilizante;

No experimento E3, foi possível mensurar o teor de carbono orgânico presente no substrato, sua redução e a relação C/N. A redução no teor de COT foi de 69% para o substrato 6A, 62% para o 9A e 3,4% para o 12A. Isso indica que os microrganismos anaeróbios consumiram o carbono no processo de biodigestão, com sua conversão em metano. A relação C/N ficou em 11,55/1 no substrato 6A, 11,33/1 no substrato 9A e 3,36/1 no substrato 12A. Mesmo com a relação C/N desfavorável, houve produção de biogás muito próximos aos valores da literatura;

- Análise de emissões de CO_2 evitadas devido à queima do biogás e emissões de CO_2 evitadas pela produção de energia elétrica:

As emissões anuais evitadas pela queima do metano e eletricidade gerada foram de 8,02 milhões de TCO_2eq e 38,4 mil TCO_2eq respectivamente, o que representaria uma redução de aproximadamente 9% das emissões da matriz energética nacional interligada.

5.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

Como recomendações para trabalhos futuros, levando-se em conta a necessidade da adição de grandes volumes de água ao substrato, buscar alternativas para uso de águas residuárias de estações de saneamento e /ou residuárias industriais, desde que não possuam contaminantes tóxicos aos microrganismos anaeróbios, de forma a economizar recursos hídricos. Utilizar sistemas de biodigestão em reatores anaeróbios eficientes bi ou trifásicos, para melhorar a redução de sólidos e carga orgânica, com TRH menores. Consorciar com

rejeitos orgânicos de RSU e lignocelulósicos de biomassa, para aumentar o teor de carbono no substrato, buscando a melhor relação C/N, maior produção de biogás e aumento do percentual de metano na mistura. Para a conversão em energia elétrica, simulações com cogeração e aproveitamento do calor residual, para aumentar a eficiência do modelo.

6 Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Regulamento Técnico ANP nº 157/2014/SBQ/RJ, que estabelece a especificação do Biometano de origem nacional a ser comercializado em todo o território nacional.** 2014. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?dw=72846>> Acesso em 01/05/2015.
- AIRES, A.M.; LUCAS, J.R. **Biodigestão Anaeróbia da Cama de Frangos de Corte para Produção de Biogás (Revisão).** UNESP, Jaboticabal. 2009. Disponível em <<http://pt.engormix.com/MA-Avicultura/administracao/artigos/biodigestao-anaerobia-cama-frangos-t180/124-p0.htm>> Acesso em 15 de junho 2011.
- ALBERTE, E.P.V.; CARNEIRO, A.P. e KAN, L. **Recuperação de Áreas Degradadas por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos.** Diálogos & Ciência - Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Ano III. Feira de Santana, BA: 2005.
- ALFA, I.M.; DAHUNSI, S.O; IORHEMEN, O.T; OKAFOR, C.C.; AJAY, S.A. **Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass.** Bioresource Technology 157 (2014) 270–277.
- ALVES, M. S.; MELO, C. F. M.; PRAKASAN K. **Efeito da Adição de NH₄ OH e Ca(OH)₂ na Produção de Biogás Obtido a Partir de Dejetos Bubalinos.** Simpósio de Trópico Úmido - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Belém, Pará. 1984.
- ANTONOPOULOU, G.; GAVALA, H.; SKIADAS, I.; ANGELOPOULOS, K.; LYBERATOS, G. **Biofuels generation from sweet sorghum: fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass.** Bioresource Technology. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação.** 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 71p., 2004a.
- _____. **NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: ABNT, 16p., 2004b.
- _____. **NBR 10.006: Procedimento de obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: ABNT, 3p., 2004c.
- _____. **NBR 10.007: Amostragem de resíduos.** Rio de Janeiro: ABNT, 21p., 2004d.
- _____. **NBR 13.463: Coleta de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: ABNT, 3p., 1995.
- _____. **NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 12p., 1997.
- _____. **NBR 10664:1989. Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico – método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 7p., 1989.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** New York: APHA, WWA, WPCR, 20.ed., 2002
- AUGUSTO, K.V.Z. **Caracterização Quantitativa e Qualitativa dos Resíduos em Sistemas de Produção de Ovos: Compostagem e Biodigestão Anaeróbia.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Jaboticabal/SP, 2007.

AUGUSTO, K. V. Z. **Manejo de Dejetos em Granjas de Postura Comercial**. Trabalho apresentado na Conferência Apinco de 2005 e publicado pela revista Avicultura industrial nº05'2005.

BARROS, REGINA MAMBELI. **Tratado Sobre Resíduos Sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta 2012.

BELUSSO, D.; HESPANHOL, A.N. A. **Evolução da Avicultura Industrial Brasileira e seus Efeitos Territoriais**. Revista Percurso - NEMO Maringá, v. 2, n. 1 , p. 25-51, 2010.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, SP: EESC/USP, 1999. 109 p. ISBN 978-85-85205-27-X

BRASIL **Lei nº 12.305, de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 03 de agosto de 2010. Seção 1.

_____. **Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para Implantação de Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 23 de dezembro de 2010. Seção 1, Edição Extra.

_____. **Lei no. 6894 de 16 de dezembro de 1980**. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 17 de dezembro de 1980. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6894.htm > Acesso em 02/04/2014

_____. **Lei no. 6934 de 13 de julho de 1981**. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes, ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 de julho de 1980. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1980-1988/L6934.htm > Acesso em 03/04/2014

_____. **Lei no. 9974 de 06 de junho de 2000**. Altera a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília DF, 07 de julho de 2000. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9974.htm > Acesso em 03/04/2014

_____. **Lei no. 7802 de 11 de junho de 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 11 de julho de 1989. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm > Acesso em 02/04/2014

_____. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes,

corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 de janeiro de 2004.. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm > Acesso em 02/04/2014.

_____. **Decreto no. 4074 de 04 de janeiro de 2002**. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 de janeiro de 2002. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm > Acesso em 02/04/2014

BUAINAIN, Márcio (coord). **Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil: características, desafios e obstáculos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.

CAETANO, L. **Proposição de um Sistema Modificado para Quantificação de Biogás**. Dissertação apresentada a Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura. Botucatu-SP. 1985

CAETANO, L. **Metodologia para estimativa da produção contínua de biogás em biodigestores modelo indiano**. 1991. 112f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

CCEE. **Leilão A5 de Energia Nova**. Disponível em < http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_afLoop=107153410309248#%40%3F_afLoop%3D107153410309248%26_adf.ctrl-state%3Dcdm30ppg0_89 > Acesso em 03/06/2015.

CARDOSO FILHO, E. P. **Fatores que influenciam na digestão anaeróbia de efluentes líquidos**. CETESB, 2001.

CARVALHO, A. M.; DA SILVA, C. H. F.; LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R.; VENTURINI, O.J.; ANDRADE ; COBAS, R.V. **Microturbinas a Gás, Motores Stirling e Células a Combustível para Geração Distribuída**. CITENEL, 2007. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it96.pdf>> Acesso em 20/04/2015

CASSINI, S. T. **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro, ABES, Rima 2003, 210 p.:Il. Projeto Prosab, 2003.

CENTRO DE PESQUISA ECONOMICAS APLICADAS. **Perspectivas para o Agronegócio 2015**. CEPEA, 2014. Disponível em < http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_Perspectivas%20Agroneg2015_relatorio.pdf > Acesso em 04/02/2015

CEMIG. **Valores de tarifa e serviços**. Disponível em <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx> acesso em 02/06/2015

CETESB; Secretaria do Meio Ambiente. **Biogás: projetos e pesquisas no Brasil**; organização Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer; responsável técnico João Wagner Silva Alves. - São Paulo: SMA, 2006. 184 p.: il.; 25 cm

CHEN, Y.; CHENG, J.J.; CREAMER, K.S. **Inhibition of anaerobic digestion process: a review**. Bioresource Technology, v.99, n.10, p.4044–4064, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2ª ed., Belo Horizonte: DESA/UFMG, 245p. 1997.

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN HAANDEL, A.C.; FORESTI, E.; CYBIS, L.F. **Aplicabilidade da Tecnologia Anaeróbia para o Tratamento de Esgotos Domésticos**. 2ª ed., Belo Horizonte: DESA/UFMG. 2007.

COELHO, S.T.; VELAZQUEZ, S.M.M.S.; MARTINS, O.S.; ABREU, F.C. **A Conversão da Fonte Renovável Biogás em Energia – V – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – Brasília – 2006**.

COELHO, S.T.; MONTEIRO, M.B; KARNIOL, M.R.; ROCHA, M.; GHILARDI, A. **Atlas de bioenergia do Brasil. São Paulo**. CENBIO – Centro Nacional de Referência Biomassa – São Paulo, 2008. Disponível em <
http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/livro_atlas_de_bioenergia_2008.pdf>
Acesso em 10/09/2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 465, de 5 de dezembro de 2014**. Dispõe sobre os requisitos e critérios técnicos mínimos necessários para o licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens de agrotóxicos e afins, vazias ou contendo resíduos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 de dezembro de 2014, p.110-111. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=710>> Acesso em 23 de junho de 2015.

_____ **Resolução no. 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. P.89. Disponível em <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646?>> Acesso em 01/06/2014.

_____ **Resolução nº. 316 de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial da União Publicação**. Brasília, DF, 2º de novembro de 2002., Pgs 92-95 Disponível em <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>> .Acesso em 04 de abril de 2014

COSTA, D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. 2006. 194f. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. 2006.

COSTA, M.S.; COSTA, L.A.M.; SILVA, A.C.J.; DECARLI, L.D.; MATTER, U.F. **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.3, p.692-698, 2006.

DANTAS DE LIMA, J. **Recuperação Ambiental De Áreas Degradadas Por Resíduos Sólidos Urbanos e Usos Futuros da Área**. Seminário de Licenciamento Ambiental De Destinação Final de Resíduos Sólidos. Brasília: 2005.

DEMIRER, G. N.; CHEN, S. **Effect of retention time and organic loading rate on anaerobic acidification and biogasification of dairy manure**. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v.79, n.12, p.1381-1387, 2004.

DUARTE, K. F. **Resíduos da produção avícola utilizados como fonte de energia – 2010**. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=3745>
Acesso em 14 de junho de 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. **Balço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 / Empresa de Pesquisa Energética.** – Rio de Janeiro : EPE, 2014. Brazilian Energy Balance, 2014, Year, 2013. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FABBRI, C.; VALLI, L.; GUARINO, M.; COSTA, A.; MAZZOTTA, V. **Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens.** Biosystems Engineering. 2007.

FANTOZZI, F.; BURATTI, C. **Biogas production from different substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester.** Bioresource Technology. 2009.

FANTOZZI, F.; BURATTI, C. **Anaerobic digestion of mechanically treated OFMSW: Experimental data on biogas/methane production and residues characterization.** Bioresource Technology. 2011.

FARIAS, R.M.; ORRICO JR. M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; GARCIA, R.G.; CENTURION, S.R.; FERNANDES, A.R.M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo.** Ciência Rural, Santa Maria, RS, V42, no.6, pg 1089-1094, junho, 2012.

FIGUEROA, E.A.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; WIETHÖLTER, S. **Efeito do Esterco de Ave Poedeira no Rendimento de Grãos de Trigo.** 1º Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Uso dos Resíduos da Produção Animal como Fertilizante – SIGERA - Florianópolis, SC, março, 2009. Disponível em < <http://www.sbera.org.br/sigera2009/downloads/obras/015.pdf> >. Acesso em 02 de junho de 2015.

LIMA, F. P. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás.** Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 139p. 2005.

LORA, E.E.S.; NASCIMENTO, M.A.R.; COBAS, V.R.M.; TEIXEIRA, F.N. **Geração Termelétrica Planejamento, Projeto e Operação.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004

LUCAS Jr. J.; SANTOS, T.M.B. **Aproveitamento de Resíduos da Indústria Avícola para Produção de Biogás.** Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola 12 de abril de 2000 – Concórdia, SC.

GALBIATTI, J.A.; CAMELO, A.D.; SILVA, F.G.; GERARDI E.A.B.; CHICONATO, D.A. **Estudo Qualiquantitativo do Biogás Produzido por Substratos em Biodigestores Tipo Batelada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.4, p.432–437, 2010 Campina Grande, PB, AEA/UFCG.

GARCES JUNIOR, W. B.; DOMINGUES, E. G. **Análise de viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás como energia renovável em granjas de suínos.** Goiânia: IFGO, 2010.

GASPAR, M.B.L. **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor.** Um estudo de Caso da Região de Toledo- PR. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis 2003

GERARDI, M.H. **The Microbiology of Anaerobic Digesters.** 1ªed. John & Wiley Sons Inc, New Jersey, 182p. 2003.

GOMES, C. M. **Análise Termodinâmica, Exergética e Termoeconômica de uma Instalação Termelétrica em Ciclo Combinado com Cogeração do Vapor.** Dissertação de Mestrado – Unicamp – Campinas – 2001

GIROTTTO, F. A. **Custo de Produção de Ovos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 45 p.; ISSN 0101-6245; 127. 2008. Disponível em : <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/436283/1/doc127.pdf>. Acesso em 03/02/2015.

GOMES, F. O. C.; CAPPI, N.; SANTOS, P.T.M.B; SILVA, P. **Teores de Fósforo, Nitrogênio e Sólidos em Dejetos de Poedeiras Alimentadas com Milho com Diferentes Granulometrias.** 5º Simpósio Sobre Recursos Naturais e Sócios Econômicos do Pantanal. Corumbá-MS. 2010. Disponível em < <http://www.cpap.embrapa.br/agencia/simpan5/PDF/expandidos/087RE.pdf>> Acesso em 02/11/2014.

HANSEN, K.H.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B.K. **Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia.** Water Research, v.32, n.1, p.5-12, 1998.

IEA. **Bioenergy, 2006 - Task 24: Energy from biological conversion of organic waste, Biogas upgrading and utilization.**

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** v. 5 – cap. 3. Estocolmo: 2006. 40p.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Relatório de Pesquisa.** Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA – Brasília 2012.

GALINKIN, M.; BLEY JR. C. **Agro Energia da Biomassa Residual: perspectivas energéticas e socioambientais.** 2ª ed. rev. – Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora,2009.

KARAPIDAKIS, E. S.; TSAVE, A. A.; SOUPIOS, P. M.; KATSIGIANNIS, Y. A. **Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills.** Journal of Environmental Science and Technology, v.7 (3), p. 599-608, jun.2010.

KRONOS ECOCHEM. **Hydrogen Sulfide Elimination from Biogas.** Technical Information 5.01. Leverkusen, Alemanha, 2014. Disponível em < [http://www.kronosecochem.com/ehome_en.nsf/Multi%20Media%20Files/ADB0C38C533E747385257BB900581CA0/\\$File/KRONOS%20ecochem%20TI%205_01_EN.pdf?OpenElement](http://www.kronosecochem.com/ehome_en.nsf/Multi%20Media%20Files/ADB0C38C533E747385257BB900581CA0/$File/KRONOS%20ecochem%20TI%205_01_EN.pdf?OpenElement)> Acesso em 10/10/2015.

KUMAR, S.; GAIKWAD, S.A.; SHEKDAR, A.V.; KSHIRSAGAR, P.S.; SINGH, R.N. **Estimation method for national methane emission from solid waste landfills.** Atmospheric Environmental, v.38, p. 3481-3487, 2004.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. **Aproveitamento de Dejetos de Animais para a Geração de Biogás.** Revista de Política Agrícola, ano XV, n.3 Brasília, Julho/agosto/Setembro – 2006.

LINDEMEYER, R.M. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do uso do Biogás como Fonte de Energia Elétrica.** Relatório de Conclusão de Estágio apresentado à disciplina de Estágio Supervisionado. CAD 5236. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008

LIU, T.; SUNG, S. Ammonia inhibition on thermophilic acetoclastic methanogens. **Water Science and Technology.** v.45, n.10, p.113–120, 2002.

- LI, Y.; PARK, S.Y.; ZHU, J. **Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.15, p. 821-826, 2011.
- LORA, E.E.S. NASCIMENTO, M.A.R. **Geração Termelétrica: planejamento, projeto e operação** - Rio de Janeiro: Interciência, 2004. Volume 1.
- LORA, E.E.S.; HADDAD, J. **Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J. **Biocombustíveis: volume 1** - Rio de Janeiro: Interciência, 2012.
- SELIM, ANDRÉ BARONI. **Influência das forças de inércia e do balanceador de massas na dinâmica do motor de combustão interna** / André Baroni Selim. --Campinas, SP: [s.n.], 2010. Orientador: Airtton Nabarrete. Dissertação de Mestrado (Profissional) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- SILVA, F.M.; LUCAS JÚNIOR, J. **Biogás - produção e utilização**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, s.d. 8 p. (Boletim Técnico). 2005.
- LUOSTARINEN, S.; NORMAK, A.; EDSTRÖM, M. **Overview of biogas technology**: In: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management, 2011. p.49.
- MARQUES, M.; HADDAD, J.MARTINS, A.R.S. **Conservação de Energia : eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá, MG: FUPAI, 2001.
- MENDES, A.A. **Panorama da Avicultura Nacional e Perspectivas do Setor**. Sanidade Avícola, Fortaleza Nacional – Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA, Brasília, 2014. Disponível em <
http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/PNSA/Reuni%C3%A3o%20PNSA_%20Sanidade%20Av%C3%ADcola-Fortaleza%20Nacional_/2%20Dr_%20Ariel%20-20Panorama%20da%20avicultura%20nacional%20e%20perspectivas%20para%20o%20setor.pdf> Acesso em 04/03/2015.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano - SRHU/MMA. **Planos Estaduais de Resíduos Sólidos - Orientações Gerais**. Disponível em <
http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/orientacoes_mma_elaboracao_planos_estaduais.pdf> Acesso em 02 de abril de 2014.
- Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. **Fator de Emissão Médio em TCO₂eq pela geração de eletricidade no Sistema Interligado Nacional SIN. 2014**. Disponível em <
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>>. Acesso em 01/06/2015.
- MORENG, R.E.; AVENS, J.S. **Ciência e produção de aves – aquecimento, criação, alojamento, equipamentos e produção de aves**. 143-178, 1990.
- MONTEIRO, J.H.P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 200p. 2001.
- MONTEIRO, E.; MANTHA, V.; ROUBOA, A. **Prospective Application of Farm Cattle Manure for Bioenergy Production in Portugal**. Renewable Energy. 2011
- MONTGOMERY, D. C. **Design of analysis of experiments**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

- NEVES, L.M.G.F. **Anaerobic co-digestion of organic wastes**. 2009. 162f. Tese Doutorado em Engenharia Química e Biológica. Escola de Engenharia - Universidade do Minho, Braga – Portugal, 2009.
- NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão: a alternativa energética** – São Paulo: Nobel, 1986.
- NOLASCO, A.M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.: caracterização e perspectivas**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.2000.
- N. GUERMOUD, F.; OUADJNIA, F.; ABDELMALEK, F.; TALEB, A. **Municipal Solid Waste in Mostaganem city (Western Algeria)**. Waste Management, Vol. 29. Feb.2009.
- OLIVEIRA, L. R. P. **Biodigestor**. In: VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura – Avesui Centro-Oeste, 2005. Goiânia/GO, 2005. p. 4-8.
Disponível em www.cnpsa.embrapa.br/index.php?ids=Sn6170p11&idl=&pg=8&area=2
Acesso em 01/12/2014
- ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JÚNIOR., J. **Biodigestores Rurais Modelos Indiano, Chinês e Batelada**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35 p. (Boletim Técnico).
- PALHARES, J.C.P., KUNZ, A. **Manejo Ambiental na Avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011.
- PARAJULI, PRAKASH. **Biogas Measurement Techniques and the Associated Errors**. Tese de Mestrado. University of Jyväskylä - Department of Biological and Environmental Science Renewable Energy Program. 2011.
- PEREIRA SOARES, S.M. **Técnicas de Restauração de Áreas Degradadas**. Universidade Federal de Juiz De Fora - Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada Ao Manejo e Conservação dos Recursos Naturais. Juiz de Fora: 2008. 10p.
- PRICE, E. C.; CHEREMISINOFF, P. N. **Biogas Production and Utilization**. Energy Technology Series . Ann Arbor Science. Publisher Inc. – Michigan 1981.
- PRIMIANO, I. P. **Biodigestão anaeróbia de dejetos da avicultura de postura: uso de inóculo em biodigestores batelada**. 2002. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2002
- QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos**. Laboratório de Produtos Florestais – PF/IBAMA. Brasília, 2004. 10p.
- RODRIGUES, D.L.; AQUINO, C. F. **Produção de biogás a partir dos esgotos utilizando reatores anaeróbios do tipo rafa seguido por lodos ativados numa estação de tratamento de esgoto**. Omnia Exatas, v.4, n.2, p.103-109, 2011.
- ROMEIRO, C. E.; SOUZA, C.E.; LOPES, F.W. **Discussões Sobre a Recuperação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos**. 1º Simpósio Mineiro de Geografia. Universidade Federal de Alfenas, 2014.
- SAKAR, S., YETILMEZSOY, K., KOKAK, E. **Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment – a literature review**. Waste Management & Research .Istanbul. 2009. Disponível em < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19220987> > Acesso em 01/02/2015.
- SALOMON. K.R.; LORA, E.E.S. **Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil**. Biomass and Bioenergy. 2009.

SALOMON, K.R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidades** UNIFEI. 2007.

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

SANTOS, T.M.B.; LUCAS JUNIOR, J.; SILVA, F.M. **Avaliação do Desempenho de um Aquecedor para Aves Adaptadas para Utilizar Biogás como Combustível**. Revista Engenharia. Agrícola. Jaboticabal, v.27, n.3, p.658-664, set./dez.2007

SANTOS F.G. dos, **Efeito do revolvimento e de adição de S sobre a compostagem de esterco de aves poedeiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

SANTOS, T.V. **Análise Físico-química do Processo de Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Aves para Produção de Biogás**. Trabalho de Final de Curso – UNIFEI 2014.

SANTOS, M.T.L. **Contribuição para o estudo da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos**. 2010. 177f. Tese (Doutorado em Engenharia Sanitária) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2010.

SCHOLZ, M.; MELIN, T.; WESSLINGN, M. **Transforming biogas into biomethane using membrane technology**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 17 (2013) 199–212

SILVA, A. R. **Considerações Sobre a Avicultura de Postura Paranaense e sua Inserção no Brasil e Mundo**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento Departamento de Economia Rural – Estado do Paraná. Disponível em < www.seab.pr.gov.br > Acesso em 22 de maio de 2011.

SOUZA, C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 f. Tese (Doutorado em Zootecnia – Área de Concentração em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, C. F.; LUCAS JR. J.; FERREIRA, P.M. **Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Suínos sob Efeito de Três Temperaturas e Dois Níveis de Agitação do Substrato – Considerações Sobre a Partida**1. Revista Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. **Avaliação do uso de inóculos na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-149, 2002.

TEIXEIRA, M.G. **Aplicação de conceitos da ecologia Industrial para a produção de Materiais ecológicos: O exemplo do resíduo de madeira**. Dissertação de Mestrado, UFBA, 2005. 159 p.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA, **Relatório Anual**. UBABEF, 2014. Disponível em < <http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/8ca705e70f0cb110ae3aed67d29c8842.pdf> > Acesso em 01/03/2015

UNITED NATIONS ORGANIZATION. **Bioconversion of Organic Residues for Rural Communities**. Papers Presented at the Conference on the State of the Art of Bioconversion of Organic Residues for Rural Communities, Held at the Institute of Nutrition of Central

America and Panama, Guatemala City, Guatemala, 13 - 15 November 1978 – United Nations University of United Nations Organization.

VARNERO, M. T.; CARÚ, M.; GALLEGUILLHOS, K., Achondo P. **Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica.** Información Tecnológica Vol. 23(2), p. 31-40, 2012

VELOSO, S. C. A. B. **Limpeza e Purificação de Biogás.** Tese de mestrado - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2009

WALKER, M.; ZHANG, Y.; HEAVEN, S.; BANKS, C. **Potential Errors in the Quantitative Evaluation of Biogas Production in Anaerobic Digestion Processes.** Bioresource Technology, Vol. 100, p 6339-6346, 2009.

WARD A.J.; HOBBS, P.J.; HOLLIMAN, P.J.; JONES, D.L. **Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources.** Bioresource Technology, v.99, n.17, p.7928-7940, 2008.

ZHAO. C. **Effect of Temperature on Biogas Production in Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater UASB System in Hammarby Sjöstadverket.** Tese de doutorado, Department of Land and Water Resources. Engineering Royal Institute of Technology (KTH) 2011.

ZUO, J.E.; XING, W. **Psychrophilic methanogens and their application in anaerobic wastewater treatment.** Chinese Journal of Applied Ecology. 18(9): 2127-2132. 2007.

ANEXO I

Lista de materiais utilizados no biodigestor de 20 (L) – Figuras 14a.

- 1) Bombona de polietileno de alta densidade com capacidade para 20 (L);
- 2) Tubos de PVC rosca Ø 20 mm;
- 3) 02 Joelhos PVC rosca Ø 20 mm;
- 4) 02 tampões CAP rosca Ø 20 mm;
- 5) 01 válvula para câmara de ar Ø 3/8”;
- 6) 01 alavanca manual para agitação;
- 01 tubo de cola a base de silicone.

Lista de materiais utilizados no biodigestor de 20 (L) – Figura 14b.

- Bombona de polietileno de alta densidade com capacidade para 20 (L);
- Cano de PVC soldável Ø25 mm;
- 02 Flanges de rosca / solda Ø 25 mm;
- 01 Flange de rosca Ø 25 mm;
- 01 Flange de rosca Ø 20 mm;
- 02 Joelhos de rosca Ø 25 mm;
- 02 Abraçadeiras para mangueiras Ø 25 mm;
- 01 Tampão CAP de rosca Ø 20 mm;
- 01 Tampão CAP de rosca Ø 25 mm;
- 01 União rosca / solda Ø 25 mm;
- 01 Niple de rosca Ø 20 mm;
- 01 Conexão em T de rosca Ø 25 mm;
- 01 Registro de esfera Ø 20 mm;
- 01 Válvula para câmara de ar Ø 3/8”;
- 01 Tubo de cola a base de silicone.
- 01 Tubo de cola para PVC;
- 01 Termopar tipo K – MTK 01.

ANEXO II

Lista de material circuito de circulação forçada e termo controlador. Figura 17

- 01 bomba centrífuga pequena com entrada e saída de 25 mm com motor de 34 watts;
- 02 termopares tipo K – MTK 01 faixa – 40^oC a 240^oC;
- 01 termo regulador analógico 1^oC a 200^oC;
- 01 resistência de imersão blindada 50 watts;
- 01 temporizador.

Lista de material Gasômetro deslocamento de fluido 10 (L). Figura 19, 20a e 20b

- 02 Galões de polietileno de água com capacidade para 10 (L);
- 01 Cano de alumínio de 7 mm;
- 02 tampões CAP de cola de 50 mm;
- 04 válvulas para câmaras de ar;
- 01 tubo de cola epóxi de 100 g;
- 01 termopar tipo k – MTK01.
- 02 fitas métricas – escala até 40 cm.

Lista de material biodigestor em PET 3,3 (L). Figuras 23 e 24.

- 03 garrafas PET de 3,3 (L);
- 06 válvulas para câmara de ar;
- 01 recipiente plástico 15 (L);
- 01 aquecedor imersão com termostato 50 watts.

Lista de material gasômetro tubular em PVC de 2,1 (L). Figura 25.

- 03 tubos de PVC Ø 5 cm;
- 03 tampões cap de PVC Ø 5 cm;
- 01 tubo de PVC Ø 15 cm;
- 01 tampão cap Ø 150 cm;
- 03 termopares tipo k – MTK01.
- 09 válvulas de câmara de ar.

